تلوث البيئة وحمايتها

السنة: الرابعة.

القسم: الجغرافية

الاختصاص: جغرافية طبيعية

منشورات جامعة دمشق
كلية الآداب والعلوم الإنسانية

تلوث البيئة وحمايتها

الدكتور
علي حسن موسى
أستاذ في قسم الجغرافية

١٤٣٩ - ١٤٤٠هـ
٢٠١٧ - ٢٠١٨م

جامعة دمشق

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

المحتويات

الصفحة

المقدمة ١١

الباب الأول: البيئة وأنواعها ١٣

الفصل الأول: مفهوم البيئة ونظمها ونماذجها ١٥

١ – ١ – مفهوم البيئة ١٧

١ – ٢ – علم البيئة ٢١

١ – ٣ – النظم البيئية ٢٢

١ – ٤ – أنواع البيئات ٢٦

الفصل الثاني: الدورات الطبيعية لأهم مكونات البيئة ٤٩

٢ – ١ – الدورة المائية ٥١

٢ – ٢ – دورة الآزوت ٥٣

٢ – ٣ – دورة ثاني أكسيد الكربون ٥٧

٢ – ٤ – دورة الأكسجين ٥٩

٢ – ٥ – دورة الفوسفات ٥٩

٢ – ٦ – دورة الكبريت ٦٢

الفصل الثالث: التوازن البيئي ٦٥

٣ – ١ – مفهوم التوازن البيئي ٦٧

٣ – ٢ – مصادر الإخلال بالتوازن البيئي ٦٨

٣ – ٣ – آليات الإخلال بالتوازن البيئي ٧٤

الصفحة

الباب الثاني: التلوث الجوي ٧٩

الفصل الأول: الغلاف الجوي ٨١

١ – ١ – تحديد الغلاف الجوي..... ٨٣

١ – ٢ – تركيب الجو ٨٤

١ – ٣ – بنية الجو الشاقولية..... ٨٧

١ – ٤ – التغير التاريخي في المركبات الجوية ٩١

الفصل الثاني: مصادر التلوث الجوي ٩٥

٢ – ١ – مصادر التلوث الطبيعية..... ٩٩

٢ – ٢ – مصادر التلوث البشرية ١١٦

٢ – ٣ – مصادر التلوث الجوي الثانوية (الكيماضوئية)..١٣٦

الفصل الثالث: أنواع الملوثات الجوية ١٤٣

٣ – ١ – الملوثات الصلبة ١٤٥

٣ – ٢ – الملوثات الغازية ١٥٥

الفصل الرابع: العوامل الجوية المحددة لكثافة الملوثات الجوية ١٦١

٤ – ١ – درجة الحرارة ١٦٣

٤ – ٢ – الرياح ١٦٩

٤ – ٣ – التهطال.....١٧١

الفصل الخامس: آثار الملوثات الجوية ١٧٣

٥ – ١ – الآثار الحيوية للملوثات الجوية ١٧٥

٥ – ٢ – الآثار المناخية للملوثات الجوية.....١٨٢

٥ – ٣ – الآثار الحيوية لأهم الملوثات الجوية النوعية ...٢٠٢

الصفحة

الفصل السادس: التلوث الإشعاعي ٢١٣

٦ – ١ – مفهوم التلوث الإشعاعي ومركباته.....٢١٥

٦ – ٢ – مصادر التلوث الإشعاعي ٢١٩

٦ – ٣ – آثار التلوث الإشعاعي.....٢٢٣

الباب الثالث: التلوث الضوضائي ٢٣١

الفصل الأول: الصوت، السمع، الضوضاء ٢٣٣

١ – ١ – الصوت وخصائصه.....٢٣٥

١ – ٢ – الضوضاء ٢٣٧

١ – ٣ – الأذن والسمع ٢٤٣

الفصل الثاني: مصادر الضوضاء..... ٢٤٧

٢ – ١ – وسائط النقل المختلفة.....٢٤٩

٢ – ٢ – ضوضاء العمل ٢٥٨

٢ – ٣ – الضوضاء المنزلية.....٢٦١

٢ – ٤ – ضوضاء الجوار ٢٦٢

٢ – ٥ – ضوضاء النوم ٢٦٤

الفصل الثالث: آثار الضوضاء..... ٢٦٥

٣ – ١ – الآثار السمعية ٢٦٨

٣ – ٢ – الآثار النفسية ٢٧٢

٣ – ٣ – الآثار الجسمانية ٢٧٤

٣ – ٤ – الآثار الإنتاجية ٢٧٦

الصفحة

الفصل الرابع: الضوضاء في مدينة دمشق ٢٧٩

٤ – ١ – التوزع الجغرافي لمناطق الضوضاء في مدينة دمشق ٢٨١

٤ – ٢ – الضوضاء في المناطق التجارية والصناعية....٢٨٥

٤ – ٣ – الضوضاء في المشافي في مدينة دمشق ٢٨٦

الباب الرابع: التلوث الأرضي (التربي) ٢٨٩

الفصل الأول: استغلال الأرض وتلوثها ٢٩١

١ – ١ – أنماط استغلال الأرض.....٢٩٣

١ – ٢ – النماذج الرئيسة للأراضي الملوثة ٢٩٤

الفصل الثاني: تلوث الأرض بالنفايات ٢٩٧

٢ – ١ – نماذج النفايات الصلبة ومصادرها ٢٩٩

٢ – ٢ – مقابر القمامة الأرضية والتلوث ٣٠٦

الفصل الثالث: تلوث الأرض الزراعية ٣٠٩

٣ – ١ – المخصبات الزراعية، وتلوث الأرض ٣١٢

٣ – ٢ – المبيدات (الحشرية والفطرية والعشبية) وتلوث الأرض ٣١٥

الباب الخامس: التلوث المائي ٣٣١

الفصل الأول: أهمية المياه ومصادرها ٣٣٣

١ – ١ – أهمية المياه.....٣٣٥

١ – ٢ – توزع المياه ومصادرها ٣٣٨

١ – ٣ – المياه المستخرجة، ومدى سلامتها ٣٤٧

الصفحة

الفصل الثاني: مصادر التلوث المائي ٣٥٣

٢ – ١ – الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الشرب ..٣٥٥

٢ – ٢ – مدى درجة تلوث المياه ٣٦٠

٢ – ٣ – الملوثات المائية ومصادرها ٣٦٢

الفصل الثالث: المؤشرات الحيوية للتلوث المائي ٣٧٧

٣ – ١ – المياه الطبيعية ٣٧٩

٣ – ٢ – العناصر الحيوية الدالة على التلوث المائي ٣٨٠

الفصل الرابع: آثار الملوثات المائية..... ٣٩٣

٤ – ١ – التأثيرات الفيزيائية.....٣٩٦

٤ – ٢ – تأثيرات الأكسدة ٤٠٢

٤ – ٣ – التأثيرات السمية الكيميائية.....٤٠٣

٤ – ٤ – تأثيرات المغذيات الكيميائية ٤١٠

٤ – ٥ – تأثير الكائنات الحية الدقيقة ٤١٣

٤ – ٦ – التأثير الإشعاعي الذري ٤١٣

الباب السادس: حماية البيئة من التلوث ٤١٥

الفصل الأول: التحكم في تلوث الهواء والحد منه ٤١٧

١ – ١ – عزل الملوثات ٤١٩

١ – ٢ – التغيير من صفات الملوثات ٤٢٠

١ – ٣ – تحسين الوقود المستخدم ٤٢٠

١ – ٤ – امتصاص الملوثات من قبل النباتات ٤٢١

١ – ٥ – الطرق الوقائية.....٤٢٢

الصفحة

الفصل الثاني: مكافحة الضوضاء..... ٤٢٣

٢ – ١ – الضوضاء مشكلة العصر ٤٢٥

٢ – ٢ – الطرق الوقائية للتخفيف من الضوضاء والحد منها .٤٢٦

٢ – ٣ – الطرق العلاجية لمكافحة الضوضاء ٤٢٨

الفصل الثالث: طرق الحد من تلوث التربة..... ٤٣١

٣ – ١ – التخلص من النفايات والحد من تلويثها.....٤٣٣

٣ – ٢ – الحد من التلوث بالمبيدات الكيميائية ٤٣٨

الفصل الرابع: معالجة الملوثات المائية..... ٤٤١

٤ – ١ – معالجة مياه المجارير وصرفها ٤٤٣

٤ – ٢ – معالجة المخلفات الصناعية وتصريفها ٤٤٧

٤ – ٣ – معالجة مياه الشرب ٤٥٠

أهم المصطلحات العلمية..... ٤٥٣

فهرس الأشكال..... ٤٦٧

فهرس الجداول ٤٧٣

المراجع..... ٤٧٧

المقدمة

إن البيئة، ذلك المجال الرحب الواسع، الذي يعيش فيه الإنسان، متفاعلاً معها، مؤثراً ومتأثراً بها، كانت وما زالت تعاني الكثير من المشكلات التي تركت بصماتها فيها. ومشكلات الأمس مغايرة لمشكلات اليوم، فإذا كانت الأحداث الداخلية للأرض من براكين وزلازل، والظواهر الجوية العنيفة من عواصف وأعاصير....إلخ، هي المشكلات التي كانت طاغية في تأثيرها، ويحسب الإنسان لها ألف حساب، تبقى على الرغم من أنها ما زالت تطل على بعض بقاع عالمنا الكبير بين الحين والآخر، محددة مجال العمل في بقاع معينة، وأصبحت أقل من أن تثير انتباهنا، وتشغل أذهاننا، وتقلق مضاجعنا، وتهدد مستقبلنا، موازنة مع ما تعانيه بيئة اليوم من مشكلات، يقف الإنسان وراءَها، لأنها من مخلفات تطوره الحضاري. وأخطر تلك المشكلات التي يعيشها الإنسان في كل لحظة من لحظات حياته، هي مشكلة التلوث التي يعانيها هواؤنا الذي نستنشقه، وتربة أرضنا التي نستقي منها مواردنا الغذائية، ومياهنا التي نشرب منها، ونروي مزروعاتنا بها، والضوضاء التي لا يعرف اليوم الإنسان مهرباً منها.

ولقد حاولنا قدر المستطاع في هذا الكتاب أن نغطي موضوع التلوث بأبعاده كلها: أنواعه ومصادره وتأثيراته وطرق التخفيف من حدته، مع دراسة عامة للبيئة وللنظم البيئية ولعلاقة الإنسان بالبيئة. واشتمل الكتاب على ستة أبواب، قسم كل باب إلى عدة فصول.

ففي **الباب الأول** تم التعريف بالبيئة، وتحديد أنواعها، وأنظمتها، وعملية التأثير التي يمارسها الإنسان فيها.

وخصص **الباب الثاني** لمعالجة مشكلة تلوث الهواء، إذ تم فيه التعريف بالغلاف الهوائي (الجوي) وخصائصه، والملوثات الجوية ومصادرها، والعوامل الجوية المحددة لكثافتها، وأثر تلك الملوثات في الغلاف الحيوي، بجانب التعرض للتلوث الإشعاعي بوصفه شكلاً من أشكال التلوث الجوي.

وأفرد **الباب الثالث** لدراسة التلوث الضوضائي، بتقديم أولاً مفاهيم الصوت والسمع والضوضاء، ليعقب ذلك تحديد مصادر الضوضاء، وأثرها.

وفي **الباب الرابع**، تمت دراسة التلوث الذي تتعرض إليه الأراضي الزراعية، سواء من النفايات البشرية والصناعية، أم من المبيدات والأسمدة الكيميائية.

وفي **الباب الخامس**، استعرضنا مشكلة تلوث المياه، بإظهار أهمية المياه في عالمنا، ومصادر تلوث المياه، والتأثيرات المختلفة لتلك الملوثات على البيئة الحيوية.

واختتم الكتاب في بابه الأخير **(الباب السادس)** بآليات حماية البيئة من التلوث، والحد من مخاطره.

وأخيراً، يحدونا الأمل في أن نكون قد وفقنا فيما عالجناه من موضوعات ومشكلات. وأن يكون في هذا الكتاب ما يحقق الفائدة المرجوة لكل مهتم بالعلوم البيئية، ولكل إنسان حريص على بيئته ومجتمعه في أن يبقى نظيفاً صحياً ونقياً، وللقارئ العربي بوجه عام الذي هو ابن البيئة، وعليه تقع مسؤوليات كبرى في التصدي لما يحيق بالبيئة من أخطار التلوث بكلِّ أنواعه.

دمشق

٢٠١٧/٩/١٠

الباب الأول

البيئة وأنواعها

الفصل الأول: مفهوم البيئة، ونظمها، ونماذجها.

الفصل الثاني: الدورات الطبيعية لأهم مكونات البيئة.

الفصل الثالث: التوازن البيئي.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

مفهوم البيئة

ونظمها، ونماذجها

١ - ١ - مفهوم البيئة.

١ - ٢ - علم البيئة.

١ - ٣ - النظم البيئية.

١ - ٣ - ١ - المكونات الحية في النظم البيئية.

١ - ٣ - ٢ - الهرم الأحيائي.

١ - ٣ - ٣ - السلاسل الغذائية والشبكات الغذائية.

١ - ٣ - ٤ - جريان الطاقة ضمن النظام البيئي.

١ - ٣ - ٥ - أنواع النظم البيئية.

١ - ٤ - أنواع البيئات.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١ - ١ - مفهوم البيئة:

البيئة أو الوسط (Environment) هي عبارة عن حيز (مجال) مكاني له خصائصه الطبيعية والحياتية المميزة. وإذا كان من الممكن النظر إلى سطح الأرض برمته على أنه بيئة متميزة من غيرها من بيئات الكواكب الأخرى في المجموعة الشمسية، إلا أن بيئة اليابس الأرضي تختلف عن بيئة المحيطات والبحار وغيرهما من المسطحات المائية.

وقد يوحي للوهلة الأولى أن هذا التعريف يتوافق مع مفهوم الإقليم، ولكن ذلك بحدود، لكون مفهوم البيئة أكثر اتساعاً وشمولاً.

غير أن لما تجدر الإشارة إليه، أن البيئة تستخدم بمعناها الواسع للدلالة إلى أي حيز مكاني على سطح اليابس، أم في الماء وعلى سطحه، أم في الجو، توجد فيه أحياء تتفاعل مع هذا الحيز، ويضفي تفاعلها معه صفات مميزة له. حيث تتألف البيئة من عناصر حية (الأحياء كلّها من نباتات وحيوانات وإنسان) ومن عناصر غير حية (الماء والهواء والصخر والتربة). وإذا كان هناك بيئات حيوية، فهناك أيضاً بيئات غير حيوية يصعب، بل يستحيل، وجود كائنات حية فيها، ومثال على ذلك الأعماق البحرية الكبيرة، والمناطق الشاهقة الارتفاع عن سطح البحر، والأجواء العليا، ومناطق البرودة الشديدة، وبعض مناطق الصحاري.

وهكذا يمكن القول: إنَّ البيئة كلمة لا تستخدم دون صفة تميزها، سواء أكانت هذه الصفة إحيائية (بيئة نباتية، حيوانية، بشرية) أم غير إحيائية (صخرية، مائية، هوائية).

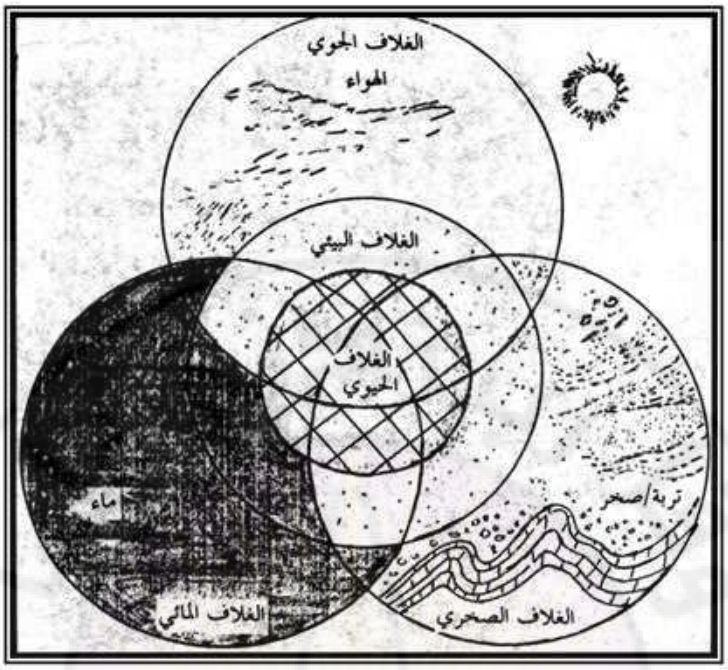
وفي مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة الذي انعقد في مدينة ستوكهولم (عاصمة السويد) عام ١٩٧٢، تم تحديد مفهوم البيئة بمعناه الواسع التي تشتمل على الطبيعة، بمائها، وهوائها، وتربتها، ومعادنها، ومصادر الطاقة، والنباتات الطبيعية والحيوانات المتوافرة، والإنسان الذي يستثمر ويستغل الموارد المتاحة في الطبيعة ليلبي حاجاته ويشبع تطلعاته. وبذا يمكن التمييز بين نظامين في البيئة، أولهما، نظام طبيعي تتمثل عناصره في الماء والهواء والتربة والمعادن ومصادر الطاقة والنباتات والحيوانات البرية، وهي التي تشكل الموارد المتاحة للإنسان ليحصل منها على مقومات حياته الأساسية، وثانيهما نظام ثقافي (حضاري) يتألف من البنية المادية الأساسية التي أشادها الإنسان وما تتضمنه من أنظمة اجتماعية وضعها، ومؤسسات أشادها.

والبيئة ليست مجرد موارد يتجه إليها الإنسان ليستمد منها مقومات حياته، وإنما تشمل أيضاً علاقة الإنسان بمجتمعه التي تنظمه المؤسسات الاجتماعية والعادات والتقاليد... إلخ. وبهذا يمكن أن تتوسع دائرة تعريف البيئة إلى أنها: الإطار (الحيز) الذي يعيش فيه الإنسان مستمداً منه متطلباته الحياتية الأساسية، متفاعلاً معه بقدر إمكانياته، ومتفاعلاً مع غيره من بني البشر الذين يشاركونه الحياة في هذا الإطار. وهذا التعريف يتوافق إلى درجة كبيرة مع ما يعرف باسم البيئة البشرية. غير أنه ينظر بشكل عام إلى البيئة، كوسط طبيعي بعلاقاته المتعددة المتداخلة بين مكوناته الحية

(نبات وحيوان) وغير الحية، وما الإنسان سوى عنصر التغيير في الطبيعة، ويعد من خارجها، لقدرته على التحويل والتغيير من خصائصها.

ومفهوم البيئة عموماً يغطي تقريباً كل شيء يرتبط بالكائنات الحية، كما أنه يشمل الكائنات الحية نفسها وكائنات أخرى لها علاقة بها، بجانب شمولها على جزء من عالم الجماد الذي تحدث فيه الحياة. فأحوال الجو وتقلباته، والتغيرات الفصلية في طول الليل والنهار، والتركيب الفيزيائي والكيميائي للتربة، ووفرة المياه وقلتها وطبيعتها، تشكل أجزاء من بيئة الكائنات الحية. لذا فإن لكلمة البيئة مدلول الوسط نفسه تقريباً. ومن غير الممكن أن يوجد كائن حي دون بيئة، فالكائنات الحية والبيئة التي يعيش فيها، تشكل طبقة رقيقة جداً على سطح الأرض تدعى عادة بالمحيط الحيوي أو الغلاف الحيوي.

ولذا كان لا بد من التمييز بين الغلاف البيئي (Ecosphere) والغلاف الحيوي (Biosphere)، رغم التداخل الكبير الذي يصل إلى حد التوافق بينهما. فالغلاف الحيوي يشمل المجال الذي توجد فيه الكائنات الحية بأنواعها المختلفة، شكل (١)، في حين يتضمن الغلاف البيئي المجال الحيوي للأحياء ومدى درجة تأثيرها المباشر وغير المباشر بالأغلفة الأرضية الأخرى (الصخري والتربي والهوائي والمائي). وبذا فإن مفهوم الغلاف البيئي أوسع وأشمل، شكل (٢).



الشكل (١) الغلاف الحيوي وموقعه ضمن الأغلفة الأرضية



الشكل (٢) الغلاف البيئي

١ - ٢ - علم البيئة (Ecology):

إن أصح تعبير للبيئة هو المكان أو الحيز الذي تعيش فيه الكائنات الحية، وهذا الحيز الذي يعيش فيه الكائن الحي ويتحرك ضمنه هو وسط طبيعي أساساً - مكون من طبيعة ونبات وحيوان - وبدخول الإنسان إليه والعيش فيه واستثماره واستغلاله حوله إلى وسط جغرافي، أي بيئة بشرية.

ويهدف علم البيئة إلى دراسة علاقات الكائنات الحية بالوسط الذي يعيش فيه، بغية إظهار الخصائص الأساسية للعناصر الحياتية وعلاقاتها بالعناصر غير الحية. أو بمعنى آخر يهتم علم البيئة بدراسة بنية وتركيب ووظيفة الأنظمة البيئية، مع التركيز على التفاعلات بين الكائنات الحية بعضها مع بعض وتفاعلها مع المكان غير الحي الموجودة فيه.

ويعد العالم الألماني إرنست هيجل (Ernest Haeckel) أول من استعمل كلمة إيكولوجي (Ecology) في عام (١٨٦٦م)، بدمج كلمتين يونانيتين هما: (Oikos) وتعني الوسط أو البيئة أو المكان أو المسكن، و (Logos) ومعناه علم.

وقد استخدم هيجل هذا المصطلح هادفاً منه: "دراسة الكائنات الحية، وكيفية معيشتها، وحماية نفسها، واقتصادها، والعلاقات المتبادلة فيما بينها، والحياة العائلية، والعناية بصغارها... إلخ". وهكذا فإنه من الممكن تعريف علم البيئة بأنه العلم الذي يدرس الأنظمة البيئية.

ولا بد هنا من التمييز ما بين علم البيئة (الإيكولوجي) وعلم الأحياء (البيولوجي)، فعلم الأحياء (Biology): يدرس الأحياء بمختلف أنواعها وأشكالها، من حيث نشأتها تطورها وتكاثرها، ونمط حياتها، بينما يهتم علم

البيئة (Ecology) بدراسة علاقة الأحياء بالوسط الذي يعيشون فيه، ومدى درجة تفاعلهم فيه وتكيفهم معه وتوزعهم وفق البيئات المختلفة.

١ - ٣ - النظم البيئية (Ecosystems):

يوصف كوكب الأرض، بالكوكب الحي، لاقتصار وجود الكائنات الحية عليه، فحتى الآن لم يكشف عما إذا كان هناك عالم آخر حي غير عالمنا الأرضي، وتتمثل حيويته بأشكال وأنواع النباتات والحيوانات المختلفة الموجودة في يابسه ومائه وهوائه وعليها، وتختلف ما بين مناطق الأرض المختلفة في مائها وشمسها وجوها وتربتها.

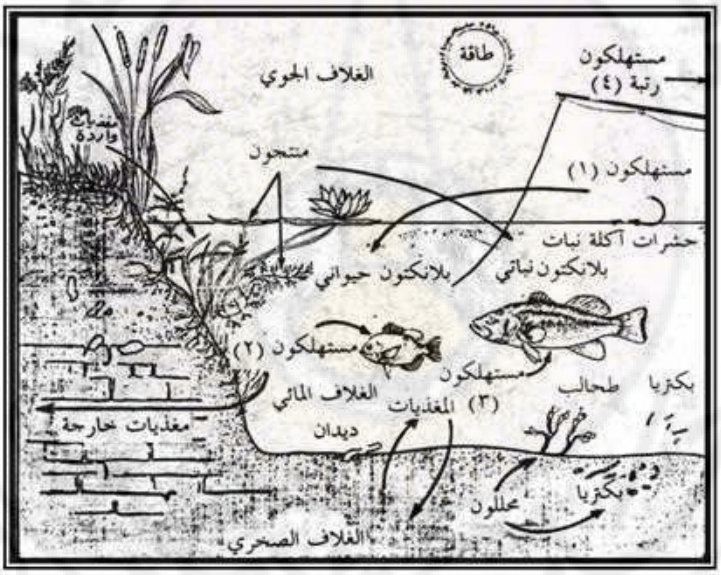
وما دامت الركيزة التي يقوم عليها النظام البيئي، هو المجمع الحيوي، لذا كان لا بُدَّ من إظهار المفهومين:

١ - **المجمع الحيوي** (Organic Community): هو مجموع الحيوانات والنباتات الموجودة في بيئة ما (منطقة ما) مائية أو قارية.

٢ - **النظام البيئي** (Ecosystem): هو عبارة عن مجمع حيوي ينظم نفسه بنفيه، مكوناً من النباتات والحيوانات المتفاعلة بعضها مع بعض ومع بيئتها غير الحية (تربة، صخر، ماء، هواء، مناخ.... إلخ).

ويطلق بعض العلماء على النظام البيئي تسمية **الجملة البيئية**، التي تمثل اتحاد المجمع الحيوي مع البيئة. أو بمعنى آخر إن الجملة البيئية (النظام البيئي) تتألف من المجمع الحيوي مضافاً إليه الجزء غير الحي من البيئة الذي توجد فيه، وكلّ التفاعلات المختلفة التي تجري ضمن هذا المجمع. فالمجمع الحياتي المؤلف من النباتات والحيوانات الموجودة ضمن وسط طبيعي معين، والتفاعلات التي تتم ضمن وسط طبيعي معين، والتفاعلات التي تتم ضمن ذلك الوسط التي أوجدت عالماً نباتياً وحيوانياً

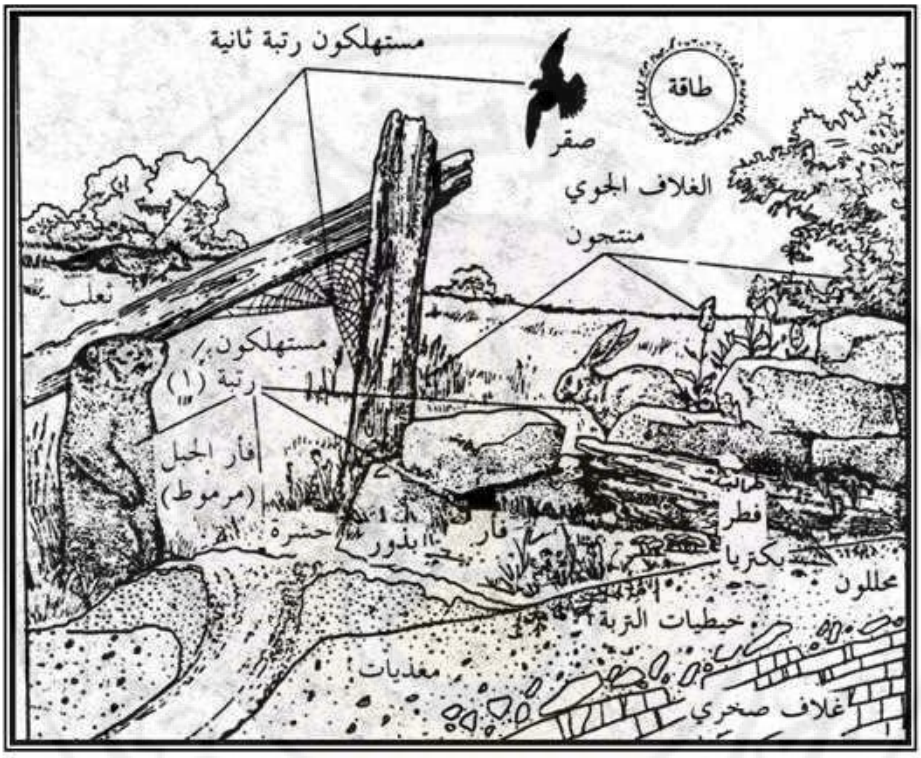
متميزاً بإنتاجية بيولوجية وثروة حية محددة، شكلت فيما يعرف بالجملة البيئية أو النظام البيئي. فالصحراء نظام بيئي متكامل، يشكل عنصرا الماء والحرارة عاملين محددين للحياة فيها. وإقليم حشائش السافانا نظام بيئي يحوي كل المكونات الحية وغير الحية اللازمة لاتزانه. والغابات نظام بيئي. والأراضي المزروعة نظام بيئي، والمناطق المائية أنظمة بيئية متعددة (النظام البيئي للمياه المالحة، والنظام البيئي للمياه العذبة). الشكلان (٣، ٤) يمثلان نظامين بيئيين مختلفين، أحدهما (شكل٣) نظام بيئي بحيري (بركة مائية)، والآخر شكل (٤) نظام بيئي حقلي.



الشكل (٣) نظام بيئي بحيري (بركة مائية)

وفي سياق الحديث عن النظام البيئي، لا بد من ذكر مفهوم شاع استخدامه كثيراً لدى علماء البيئة، ألا وهو **الجمهور البيئي** (Population) الذي يشير إلى مجموعة متجانسة من الكائنات الحية تنتمي إلى النوع الجنس نفسه، وتعيش وتتكاثر بعضها مع بعض. ومن ثم فإن هذا المفهوم يشكل جزءاً من مفهوم أكبر هو المجمع الحيوي سابق

الذكر، فالسناجب البنية في أدغال الأشجار، وذئاب البحر في البرك، وفئران الأيل في الحقول توصف بأنها جماهير حيوية. والأمر نفسه يساق على النباتات.



الشكل (٤) نظام بيئي حقلي

ويتميز أي نظام بيئي بخاصتين: استقلاله عن مصادر المادة والطاقة الخارجية باستثناء طاقة الشمس، وقدرته على توزيع المواد من داخل ماء ومركبات غير عضوية أخرى وعناصر أساسية من أجل استمرار البقاء. فالمواد التي تشكل مغذيات في النظام البيئي تتحرك ضمنه في حركة مدورة، وهذا ما يوضحه الشكل (٥).



الشكل (٥) حركة المغذيات في نظام بيئي

١ – ٤ – المكونات الحية في النظم البيئية:

إن الكائنات الحية في النظم البيئية تتكون عموماً من الكربون ومركبات كيميائية أخرى، بالإضافة إلى الماء الذي يمسكها ويعمل على تحويلها وتفاعلها وحركتها. فالكائنات الحية تعمل على الاستفادة من المكونات غير الحية وتحويلها إلى أشياء حية تبني منها أجسادها، وتشكل منْ ثَمَّ أساس حياتها واستمراريتها. وبالإضافة إلى الماء فإن الطاقة الشمسية هي الركيزة التي تعتمد عليها النباتات الخضراء في نموها.

وتتمثل المكونات الحياتية في النظام البيئي من ثلاثة مكونات، متسلسلة في قدرتها الإنتاجية وفي علاقة بعضها مع بعض، والتي تعرف أيضاً باسم المستويات الغذائية (Feeding Leveles)، أو **السلسلة الغذائية**، وهي الآتية:

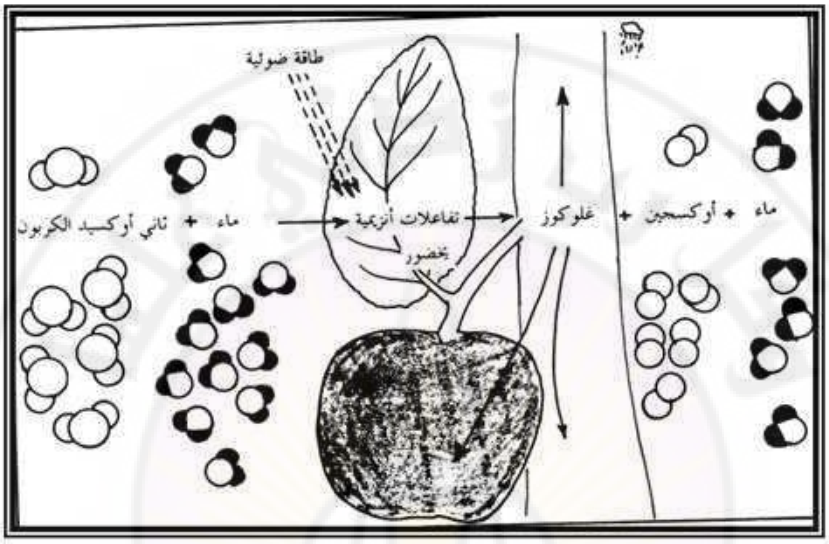
١ – ٤ – ١ – المنتجون (Producers):

وهم المكونون الأساسيون الأوليون في النظام البيئي الذي تعتمد عليهم بشكل مباشر أو غير مباشر كلّ المستويات الغذائية الأحيائية. وهم عادة النباتات الخضراء التي تقوم بتصنيع الغذاء من خلال عملية التمثيل الضوئي (Photosynthesis) إذ تمتص النباتات الطاقة الضوئية من الشمس وتحولها إلى طاقة كيميائية مختزنة من خلال تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء لإنتاج مركبات عضوية، وفق الصيغة التالية من التفاعل:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \leftarrow\text{- - - - - - - - } CO_2 + {}_{12}H_2O$$

ثاني أكسيد الكربون + ماء - - ← – مركبات عضوية تحتوي على الكربون (الغلوكوز) + أوكسجين + ماء

ويتطلب امتصاص الطاقة الـ ضوئية وجـ ود الخلايـ ا اليخـ ضورية (Chlorophyll) في النباتات، وهي التي تمنح النبات اللون الأخضر المميز. والشكل (٦) يبين مخططاً لعملية تركيب ضوئي مبسطة.



الشكل (٦) مخطط مبسط لعملية تمثيل ضوئي

وتمثل العملية الإنتاجية في النباتـ ات أضـ خم العمليـ ات الإنتاجيـ ة وأعقدها بحيث تتضاءل أمامها صناعات الإنسان كلها. فهي توفر الغـ ذاء لنفسها وللأحياء الأخرى. وهكذا يتضح أن النباتات الخـ ضراء الركيـ زة الأساسية في وجود الجمل (النظم) البيئية، إذ لا تـ ستطيع الجمـ ل البيئيـ ة الاستمرار على قيد الحياة دون النباتات، فهي المـ صدر الوحيـ د للمـ واد العضوية الأولية.

فالإنتاج النباتي يعتمد على: الضوء وثاني أكسيد الكربـ ون والمـ اء والأملاح المحلولة. غير أن معدل الإنتاجية يختلف حسب وفـ رة المـ واد السابقة الذكر، ما عدا ثاني أكسيد الكربون المتوفر عادةً بكميـ ات كافيـ ة. غير أن اختلاف الضوء حسب فصول السنة والمناطق والحالـ ة الجويـ ة،

يجعل هناك مناطق أكثر إنتاجية من غيرها. وتؤثر درجة الحرارة في معدلات العمليات الحيوية ومن ثم الإنتاجية. وعدم توفر الماء عامل يحول دون نمو النبات. والنبات لا يعيش في الهواء، وإنما لا بد به من التربة التي يستسقي منها المغذيات الأساسية، وحاجته من الماء.

وتقاس الإنتاجية لجملة بيئية من ناحية إنتاج الطاقة الكيميائية خلال عملية التركيب الضوئي، ويدعى المقدار الكلي المتشكل في زمن معين بإجمالي الإنتاجية الأولية، وأما المقدار المتبقي بعد استخدام النباتات له من أجل العمليات الحياتية فيدعى صافي الإنتاجية الأولية، وهو موجود كغذاء للحيوانات. ويدعى المقدار الكلي للمادة النباتية الموجودة في أي زمن معين بالكتلة الحية (Biomass)، وهي تعبر عن الوزن الجاف للمادة النباتية في واحدة المساحة.

وتختلف الكتلة الحية من جملة بيئية إلى أخرى، فبينما تصل في الغابات الاستوائية إلى (٩٠٠×١٠^{٩}) طن جاف، تتدنى في مناطق السافانا إلى (٦٠×١٠^{٩}) طن جاف، وإلى (١٤×١٠^{٩}) طن في الأراضي العشبية المعتدلة، لتنخفض إلى (٤٠٠×١٠^{٩}) طن في البحيرات والأنهار.

١ - ٤ - ٢ - المستهلكون (Consumers):

هم الذين يقتاتون على غيرهم من الكائنات الحية. ويميز في ذلك بين أربعة أنواع من المستهلكين حسب طريقة ومصدر غذائهم، شكل (٧)، وهم:

١ - **المستهلكون من الرتبة الأولى (Primary Consumers)**: وتدعى الكائنات الحية من هذا النوع باسم آكلات الأعشاب (Herbivores). ويشكلون أول السلسلة الغذائية بين المستهلكين، إذ يقتاتون مباشرة من النباتات الخضراء، كما في الجمال والأبقار والأرانب والجنادب.

٢ - **المستهلكون من الرتبة الثانية (Secondary Consumers)**: وهم الذين يتغذون على النباتات بشكل غير مباشر، من خلال اقتياتهم بأنواع من الحيوانات العاشبة (المستهلكون من الدرجة الأولى). وتُدعى باسم آكلات اللحوم (Carnivores)، ومن الأمثلة على ذلك، طائر السمن، كما أن الإنسان مستهلك للجمال والأبقار وغيرها.

٣ - **المستهلكون من الرتبة الثالثة (Tertiary Consumers)**: وهي حيوانات تتغذى بالمستهلكين من الرتبة الثانية. ومن الأمثلة عليها الصقور.

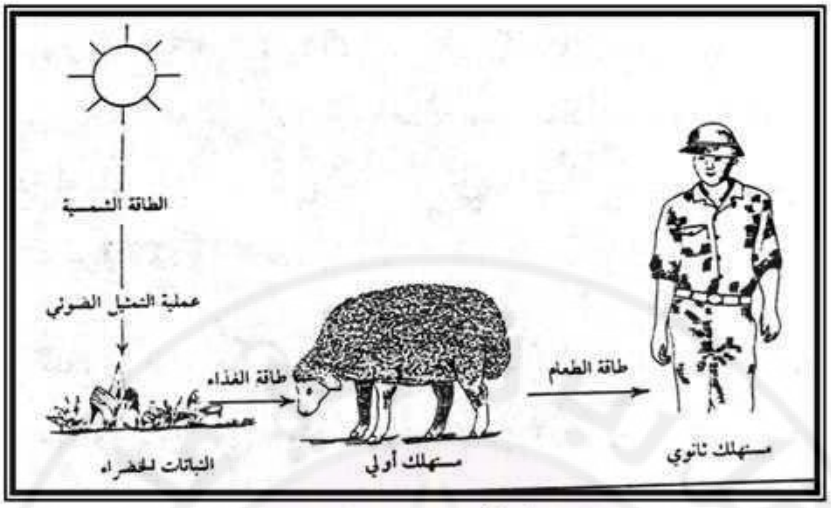
٤ - **المستهلكون متعدّدو المستويات (Multilevel Consumers)**: وهي حيوانات عاشبة ولاحمة في آن واحد. وتدعى بآكلات كل شيء (Omnivores). ومن الأمثلة عليها نذكر: الإنسان.

١ - ٤ - ٣ - المحللون (Decomposers):

تتضمن المحللات على نوع خاص متميز من المستهلكين الذين يحصلون على الطاقة والغذاء بفعل تفكيك وتحليل المخلفات والنباتات الميتة أو المادة الحيوانية. وتتمثل المحللات في كائنات حية، ينتمي معظمها إلى البيكتيريات والفطريات.

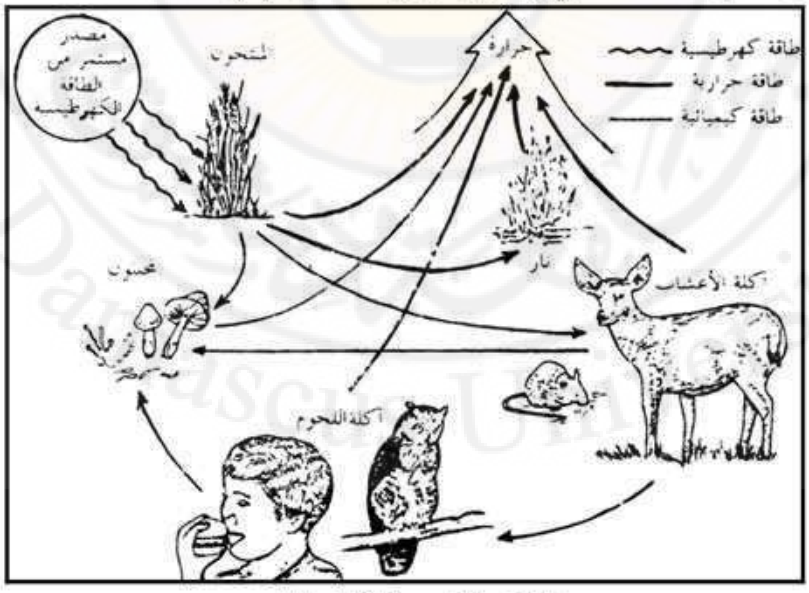
وللمتحللات دور مهمٌ جداً في النظم البيئية، إذ إنها تعمل على تدوير المعادن، إذ تعمل على عودة المواد - المعدنية وغيرها - المحجوزة في المخلفات العضوية إلى البيئة.

وتشبه النار المحللات، في قدرتها على إطلاق وتحرير الطاقة الكيميائية والمواد المغذية المحتجزة في النباتات والمادة الحيوانية، مما يمكن إعادة تدويرها في سلسلة غذائية جديدة.



الشكل (٧) أنواع المستهلكين ورتبهم

وبصورة عامة، فإن النظام البيئي الطبيعي يتخذ شكل حلقات متصلة مترابطة بعضها مع بعض مشكلة دورة، تبدأ بالحلقة الأولى الممثلة للمنتجين لتمر بالحلقة الثانية، حيث المستهلكين بمختلف رتبهم، ومن ثم بحلقة المحللات، لتعاد الدورة من جديد إلى الحلقة الأولى حيث يعاد استعمال المواد المحللة في إنتاجية جديدة، شكل (٨).

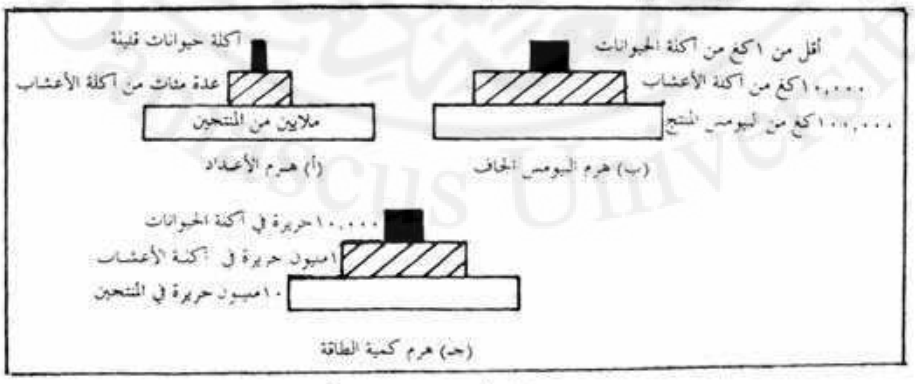


الشكل (٨) دورة النظام البيئي

١ – ٥ – الهرم الأحيائي (Biological Pyramid):

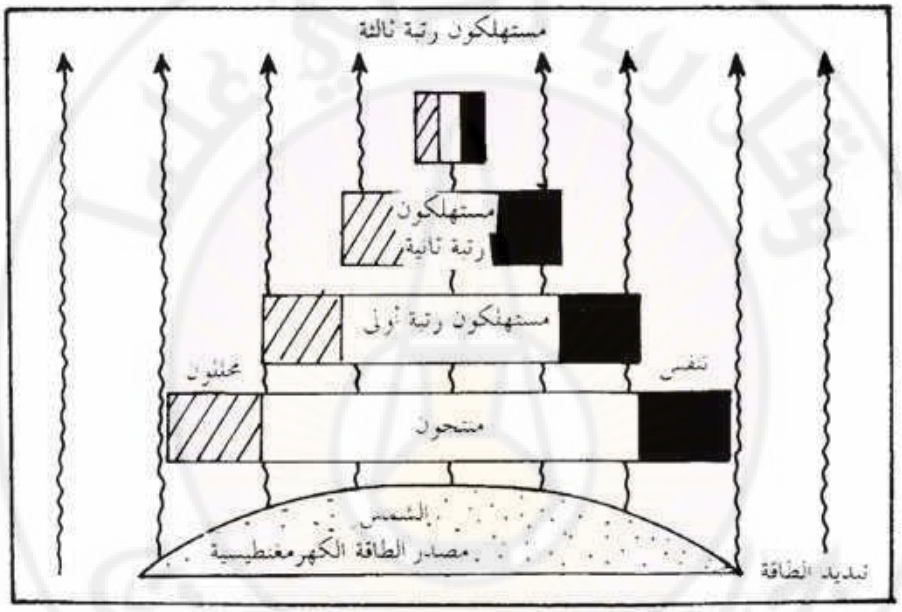
إن عدد مركبات النظام البيئي يتناقص مع الابتعاد عن مستوى المنتج الأولي شكل (٩). ويعبر هذا التدريج في السلسلة الغذائية بمفهوم الهرم الأحيائي الذي يظهر العلاقة العددية والكمية بين الكائنات الحية في الأمكنة البيئية المختلفة. فيما أعداد المنتجين يكون بالملايين، فالحيوانات آكلة الأعشاب (المستهلكون من الرتبة الأولى) تكون بضع مئات، لتقل آكلات اللحوم إلى أعداد قليلة، شكل (٩ – أ).

ليس هذا فحسب، بل إن الكتلة الحيوية (Biomass) التي تكون على أعظمها في المنتجين، تتناقص رأسياً في المستهلكين، وإن أعلاها أقلها مادة حيوية. فإذا ما بلغت الكتلة الحيوية ١٠٠ ألف كغ في المنتجين، فإنها تتدنى إلى نحو (١٠،٠٠٠كغ) في المستهلكين الأوليين (آكلة الأعشاب) وإلى أقل من كيلوغرام واحد في آكلة اللحوم شكل (٩ – ب). وبقياس كمية الطاقة عند كل مستوى في السلسلة الغذائية الموجودة في كتلة المادة العضوية الجافة، فإنها أيضاً تتناقص من المنتجين باتجاه أعلى السلسلة في المستهلكين شكل (٩ – ج)، فإذا كانت بحدود عشرة ملايين حريرة في المنتجين فهي تقل إلى نحو مليون حريرة في آكلة الأعشاب، وإلى نحو عشرة آلاف حريرة في آكلة اللحوم.



الشكل (٩) أنواع الهرم الغذائي

ويتميز الهرم الحيوي بحركيته، من خلال ما يحدث فيه من تحولات للطاقة، كما موضح في الشكل (١٠)، إذ إنَّ بعضاً من الطاقة الكيميائية يتبدد عند كل مستوى غذائي منتهياً ذلك عبر المحللات، فالطاقة التي تأتي من الشمس إلى النظام البيئي الحيوي، تتبدد خلال حركتها ضمن المستويات الحياتية لتتحول في النهاية إلى حرارة.



الشكل (١٠) ديناميكية الهرم البيئي

١ – ٦ – السلاسل الغذائية والشبكات الغذائية (Food Chainsand Food Webs)

إن أي نظام بيئي يحتوي على مجموعات من الكائنات الحية، أو تجمعات أصغرية من النباتات والحيوانات المترابطة فيما بينها بما يتعلق بالغذاء والطاقة. وعلى الرغم من أن الكائنات الحية تشكل وحدات متزنة في الغلاف الحيوي، ليست معزولة عن البيئة التي تعيش فيها، بل على العكس، فالاتصال بالبيئة شرط استمرار اتزانها. ويمثل الكائن الحي في

بيئته نظاماً مغلقاً يتميز بالاستمرارية والحركية، فيه التبادل والأخذ والعطاء.

وتأخذ العلاقات الغذائية في الغلاف الحيوي، أو في النظم البيئية، صورة سلاسل غذائية تبدأ كل سلسلة بالمنتجات، ثم بالمستهلكات الأولية فالثانية... وهكذا. وتختلف سلاسل الغذاء حسب البيئة التي تستوطنها الأحياء. ففي بيئات اليابسة تبدأ السلسلة بالأعشاب والحشائش وغيرها من الأنواع النباتية التي تشكل الصنف المنتج (المنتجات)، وهذه تقدم الغذاء للحيوانات العاشبة (آكلة العشب) التي تشكل المستهلكين الأولين. ويمكن عد الإنسان مستهلكاً ثانوياً لاعتماده في طعامه على المستهلكين الأولين الذين قد يكونون أغناماً أو أبقاراً... إلخ.

وكذلك فإن الإنسان من المستهلكين متعددين المستويات الذي يأتي في قمة سلسلة المستهلكين. ويدعى الصنف الثالث في السلسلة الغذائية بالمحللات التي تستعمل البقايا الميتة من المنتجات أو لمستهلكات كمصدر تغذية لها.

وهكذا نجد أن السلة الغذائية تتمثل في سلسة من الكائنات الحية التي يعتمد بعضها على بعض في غذائها وفي تزويدها بالطاقة التي تستمد من واحدة إلى الأخرى، كما هو ممثل في الجدول (١) لسلسة غذائية بسيطة في بيئة قارية.

جدول (١) سلسلة غذائية خطية مبسطة في بيئة قارية

الصنف	النموذج	مثال
منتج	أعشاب	أعشاب
مستهلك أولي	آكلة الأعشاب	جندب
مستهلك ثانوي	اللواحم الصغيرة	سمن (طائر مغرد)
مستهلك ثلاثي	اللواحم الكبيرة	صقر

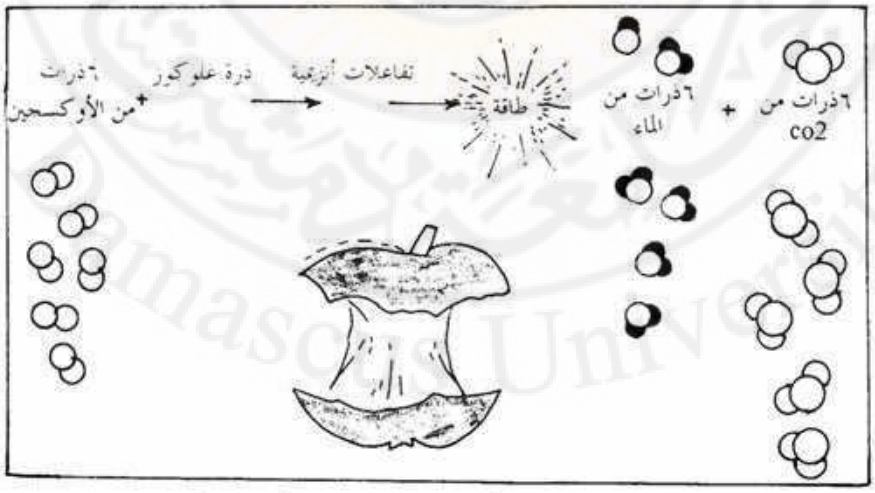
وفي النظام البيئي للمياه العذبة تكون السلسلة الغذائية مختلفة فالبلانكتون النباتي المجهري العائم – كمثال – يشكل الصنف المنتج الذي

يقدم الغذاء للمستهلكين الأولين الممثلين في البلانكتونات الحيوانية، التي تتكون من الحيوانات المجهرية والأشكال اليرقية، التي تشكل غذاء المستهلكين الثانويين الأكبر عدداً كالأسماك. والمستهلكون من المرتبة الثالثة الذين يعتمدون في غذائهم على الأسماك يمكن أن يكونوا طيوراً أو ثدييات، كما هو ممثل في الجدول (٢).

جدول (٢) يبين سلسلة غذائية خطية مبسطة في بيئة مائية

الصنف	النموذج	مثال
منتج	بلانكتون نباتي	طحالب، دياتوما
مستهلك أولي	بلانكتون حيواني	Copepods، يرقة
مستهلك ثانوي	أسـ . ماك	مينوو (سمك صغير الحجم)
مستهلك ثلاثي	طيور	السماك Kinqfisher

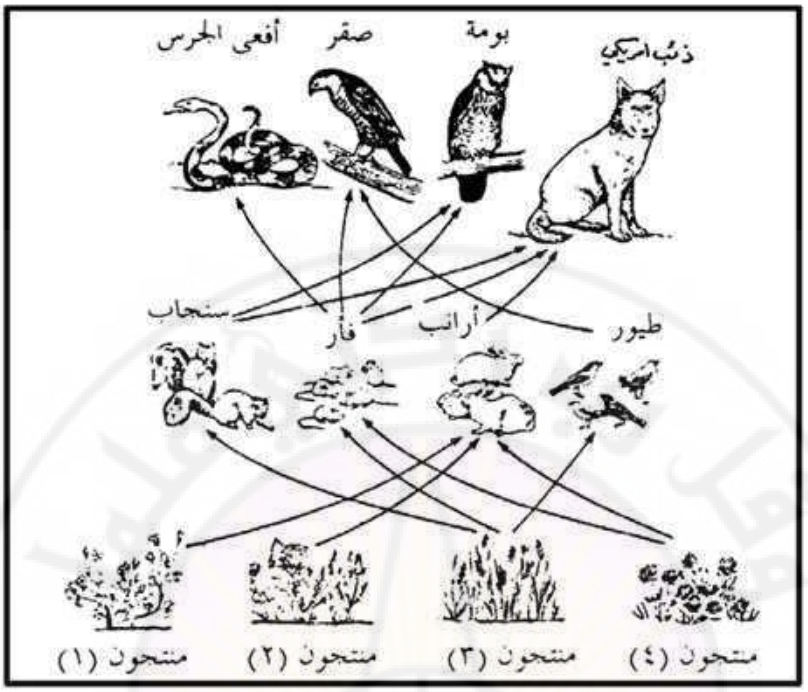
وتستمد المنتجات طاقتها من عمليات التمثيل الضوئي. بينما يقوم المستهلكون الأوليّون بالتغذية على المنتجين، مستمدين طاقتهم من الهضم الأنزيمي للأنواع النباتية، شكل (١١).



الشكل (١١) مخطط مبسط لعملية التنفس والهضم الأنزيمي في المستهلكين

أما المستهلكون من المرتبتين الثانية والثالثة ممثلين بالحيوانات المفترسة، فيستمدون أيضاً طاقتهم من تناولهم للغذاء. وتكون الحيوانات المستهلكة من المرتبة الثالثة أكبر حجماً وتتغذى على حيوانات من مرتبة أصغر (حيوانات المرتبة الثانية). أيضاً فإن المستهلكين من المرتبة الثالثة يتطلبون طاقة كبيرة نسبياً متناسبة مع أحجامهم، وبهذا يحتاجون إلى أكل أعداد كبيرة من مستهلكي المرتبة الثانية الأصغر.

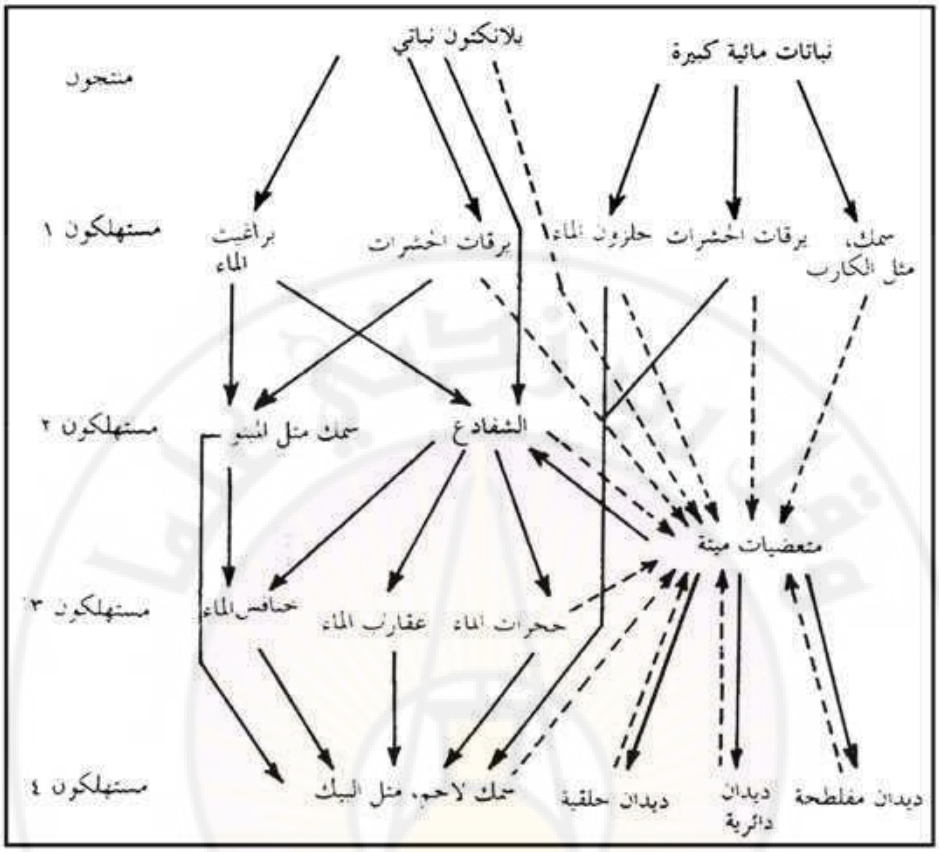
إن سلاسل الغذاء الخطية، أمثلة بسيطة جداً للعلاقات الغذائية بين الأحياء. غير أن العلاقات الغذائية بين الأحياء تكون في معظمها متداخلة متشابكة لأن الكثير من المستهلكات لا تتخصص في نوع واحد من الغذاء، بحيث تأخذ العلاقات الغذائية صورة الشبكة التي يطلق عليها **الشبكة الغذائية (Food Web)**، حيث يكون فيها أمام المستهلك عدة فرص لاختيار غذائه. فالصقور مثلاً – وهي طيور جارحة – تتغذى على الجرذان، فإذا ما انخفض عدد الجرذان تتحول الصقور إلى افتراس بعض أنواع الطيور (الباشق، أو العصافير)، وهذا ما يؤدي إلى تخفيف الضغط على الجرذان، فتزداد أعدادها فتعود الصقور إلى افتراسها، فيخف الضغط عن الطيور... وهكذا دواليك – يبن شكل (١٢) شبكة غذائية في بيئة يابسة – وفي ذلك تنظيم يحفظ للشبكة الغذائية التوازن والاستمرار.



الشكل (١٢) شبكة غذائية في بيئة قارية

وفي نظام بيئي مائي فإن الشبكة الغذائية تكون أكثر تعقيداً – كما هو موضح في الشكل (١٣). وهذا مرده إلى تأثير البيئة المائية الحيوية بعوامل عديدة، منها: اختلاف درجة حرارة الماء، وتغير كمية الأوكسجين المنحل في الماء، ودرجة تلوث الماء... وغير ذلك.

وفي بيئة مائية عذبة، فإن أمام السمك اللاحم – كما في سمك الكركي (pike) كمثال – فرصاً كبيرة لاختيار غذائه، الشكل (١٣).



الشكل (١٣) شبكة غذائية في بيئة مائية عذبة

ويبقى النظام في شبكة الغذاء قائماً طالما تتوافر نسب ثابتة بين أعداد المنتجين والمستهلكين، فإذا اختلت النسبة في حلقتين من حلقات الشبكة، فإن النظام ينهار، ويكون ذلك نتيجة لعوامل من داخل النظام نفسه، أو بفعل عوامل خارجية، كالأوبئة، وتدخل الإنسان صيداً، فالاصطياد الجماعي للأسماك دون حساب، يخل بتوازن شبكات الغذاء المائية، والصيد غير المنظم لحيوانات البر من طيور وغيرها، يربك شبكات الغذاء أيضاً. والرعي الجائر يؤدي إلى تقلص الحيوانات البرية لأنها تفقد جزءاً كبيراً من مصادر غذائها، وفي ذلك إخلال لشبكات الغذاء، وكذلك تفعل الحرائق.

١ - ٧ - جريان الطاقة ضمن النظام البيئي:

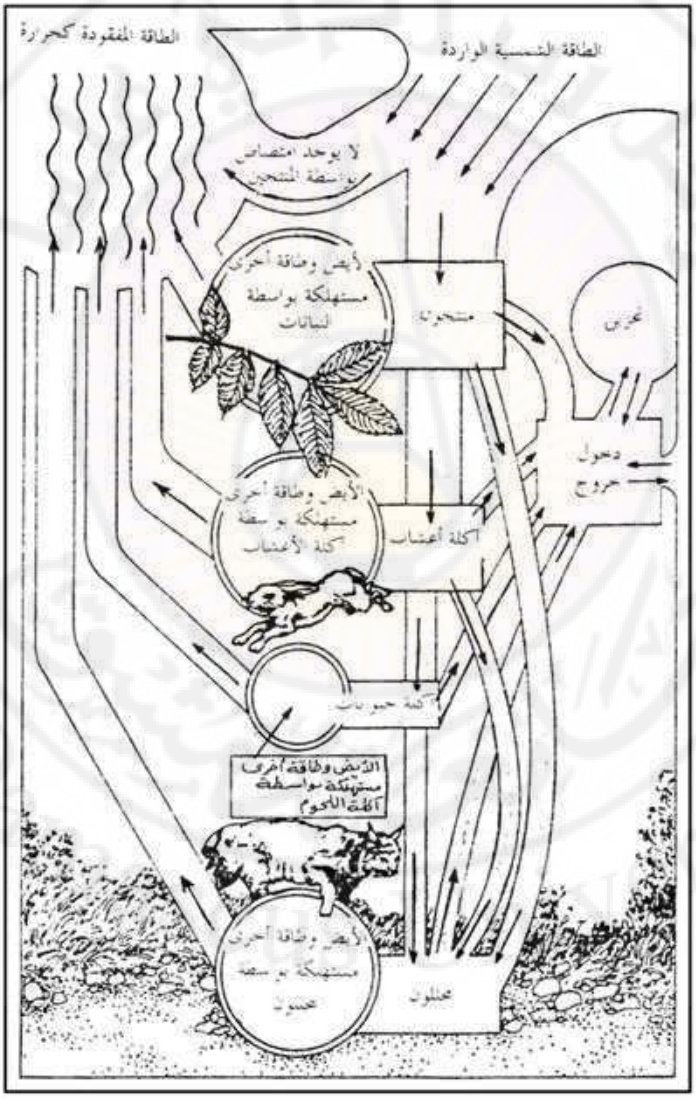
يعد الإشعاع الشمسي مصدر أنواع الطاقة كلها المتمثلة في النظ ام البيئي الطبيعي على سطح الأرض، وهو أيضاً مصدر الطاقة للنظام البيئي الحيوي بما تمد به هذا النظام من الطاقة المنتجة من المادة الحية، ممثل ة بالأشعة الضوئية أو المرئية ذات الط ول المـ وجي ب ين (٠,٤ - ٠,٧٥) ميكرون، التي تحتل نحو (٤١%) من الإشعاع الشم سي الواصـ ل إل ى السقف الخارجي لجو الأرض، مشتملاً طيف تلك الأشعة عل ى الأش عة. وهذه الأشعة (المرئية) هي الأساس في عملية التمثيل الضوئي.

ويخضع انتقال الطاقة وجريانها ضمن النظام البيئي إل ى القـ انونين الأول والثاني من قوانين الديناميكا الحرارية:

وينص **القانون الأول**، على أن الطاقة لا تخلق ولا تفنى بأي عملي ة أو حدث، لكنها تتحول من حالة إلى أخرى، وإجمالي كمي ة الطاق ة ف ي الكون أو في أي نظام بيئي مغلق تكون ثابتة.

أما **القانون الثاني** فينص على أن بعضاً من الطاقة المتاحة تتـ سرب على شكل حرارة خلال عمليات تحول الطاقة من شكل إلى آخر، منطلق ة إلى الوسط المحيط. وهذا يعني أن تحولات الطاقة في المجالات الحيوي ة والطبيعية أقل من (١٠٠%). وتختلف نسبة الطاقة المتسربة باختلاف نسبة المستفاد من تلك الطاقة، فيما لا تستفيد النباتات الخضراء من أكث ر مـ ن (٢%) من الطاقة الشمسية ممتصة إياها متحول ة إل ى كيميائي ة، ف إن المستهلكات من آكلة الأعشاب لا تستفيد سوى مـ ن نحـ و (١٠%) مـ ن الطاقة، والمستهلكات التي تليها في الرتبة لا تسفيد من أكثر مـ ن (١٠%) من الطاقة المحولة من المستهلكات الأدنى منها. فعند ما يأخـ ذ الحيـ وان

الطاقة الكيمائية الممثلة في الغذاء يتحول (١٠%) منها فقط إلى طاقة كيميائية وكتلة حيوية في الجسم، والباقي (٩٠%) يسري خارجاً بصورة حرارة. فالطاقة التي يحصل عليها الإنسان من غذائه مباشرة على كيلوغرام واحد من القمح، أكثر من الطاقة التي يحصل عليها من غذائه على لحم دجاج تغذى على الوزن نفسه من القمح.



الشكل (١٤) جريان الطاقة ضمن نظام بيئي.

١ – ٨ – أنواع النظم البيئية:

إذا كانت هناك بعض أجزاء العلم لم تمسسها بعد يد البشر، متحققاً فيها نظماً بيئية مستقرة متوازنة عبر زمن طويل، فإن هناك أجزاء أخرى تدخل الإنسان فيها تدخلاً كبيراً مبعداً إياها عن الاستقرار والاتزان.

١ – ٨ – ١ – النظم البيئية حسب درجة استقرارها وتوازنها وتطورها:

ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من تلك النظم، هي:

١ – **النظم الناضجة:** وهي التي بلغت فيها الكتلة الحيوية نقطة الذروة، كما الحال في المناطق المتبقية من الغابات المدارية المغلقة على نفسها، والغابات الصنوبرية الشمالية، ومناطق التندرا في أوراسيا وأمريكا الشمالية، وبقايا الأرض العشبية البرية في آسيا الوسطى، وجانب كبير من أعماق المحيطات وكثير من سلاسل الجبال المرتفعة.

٢ – **النظم الميتة:** وهي التي عمل الإنسان على تدهورها وإبادة عالمها الحيوي، ممثلة في الأراضي المكسوة بالإسمنت (مدرجات الطائرات مثلاً) والأراضي الشديدة التلوث بالمواد السمية التي قضي فيها على عالمها الحي، وكذلك البحيرات شديدة الحموضة في مياها بفعل تغذيتها بالأمطار الحامضية.

٣ – **النظم الفتية:** وذلك لحداثتها، وهي عادة تكون نظماً جديدة أو مجددة،

١ – ٨ – ٢ – النظم البيئية حسب درجة تأثرها بالنشاط البشري:

ويميز في ذلك أربعة نظم بيئية، هي:

١ – **نظم طبيعية (Natural. s):** وهي النظم التي لم تتأثر مطلقاً بالنشاط البشري.

٢ - **شبه طبيعية (Sub - Natural. s)**: وهي النظم التي تتضمن قدراً م ن التأثير البشري، مع المحافظة على بنية النظم البيئية الأصلية نفسها، كأن تظل الأرض المشجرة مشجرة.

٣ - **نظم نصف طبيعية (Semi - Natural)**: وهي النظم الناتجة في ح ال تغير بنية النظم مع بقاء بعض الأنواع الإحيائية برية لم تدجن.

٤ - **النظم الثقافية (Cultural Systems) أو البشرية**: وهي ال نظم الت ي تلاشت فيها كل سماتها الطبيعية الكمية والنوعية بفعل النشاط البشري.

١ - ٩ - أنواع البيئات:

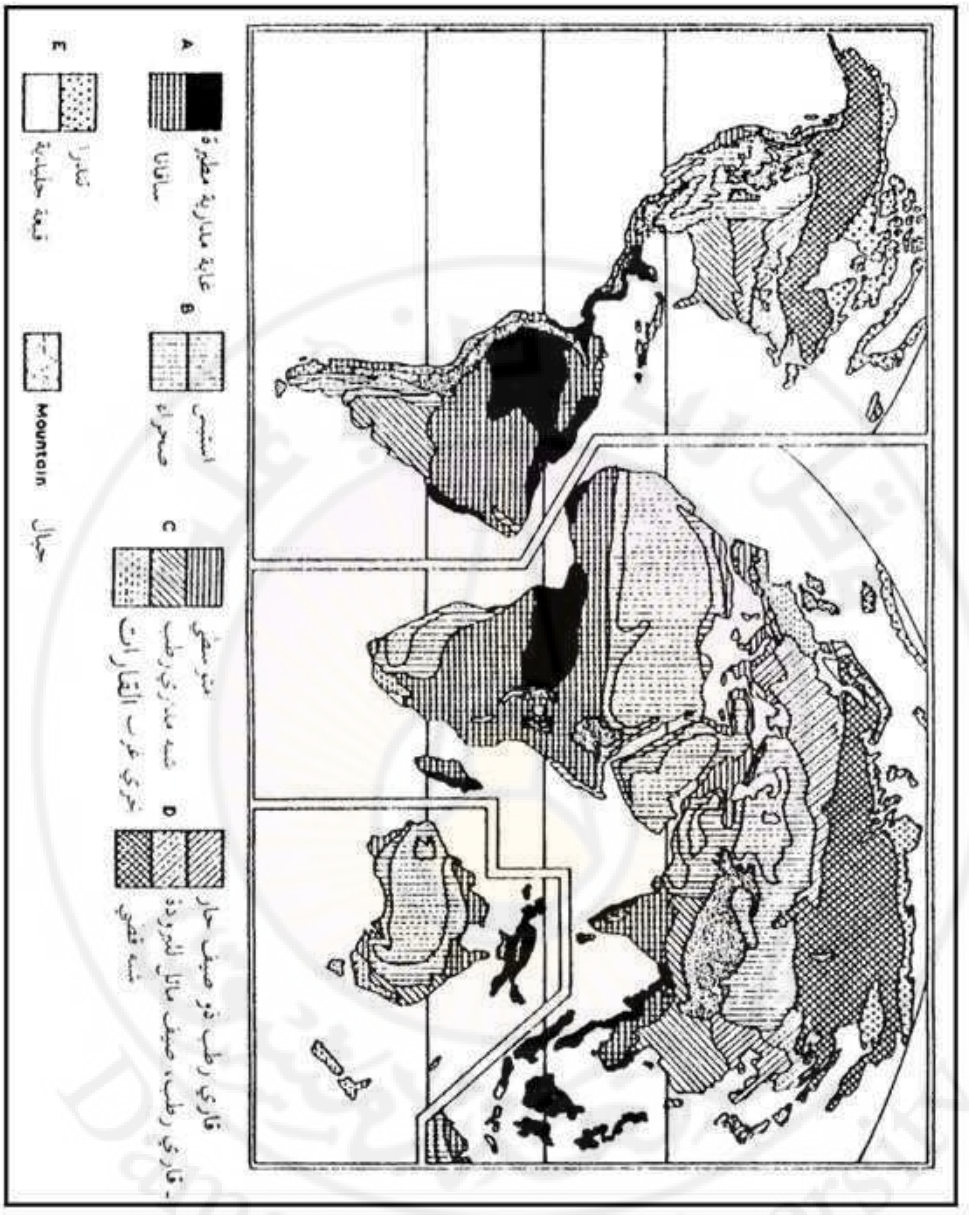
إن الكرة الأرضية (كوكب الحياة) هي الإطار العام للبيئة التي نه تم بدراستها، ومحتويات هذا الإطار ليست جامدة، بل إنه ا دائم ة التفاع ل مؤثرة ومتأثرة ببعضها. والإنسان واحد من مكونات البيئ ة يتفاع ل م ع مكوناتها بما في ذلك أقرانه من بني البشر.

هذه البيئة العامة الشاملة، بعيدة عن التجانس، لكنها تتصف بالترابط والتفاعل المباشر أو غير المباشر ما بين أجزائها، مثل الظروف المناخي ة المختلفة ما بين وحدات الأرض المكانية، وتوزع اليابس والماء، والارتفاع عن سطح البحر، ودرجة تضرس السطح، والتركيب الجيولوجي المتب اين لبقاع الأرض، والتربة المختلفة التي هي محصلة تفاعل الغلاف الجوي مع الصخري، بجانب دور العامل الحيوي، فالأحياء بمختلف أنواعهم يشكلون جزءاً لا يتجزأ من البيئة، وإن اختلفت نوعي ة تل ك الأحي اء وأع دادهم باختلاف الظروف الطبيعية. وكان الإنسان - وما يزال - السيد الأعظ م لكوكبنا الأرضي، باعتباره العنصر الأكثر فعالية وتأثيراً في البيئة، ويعزى إليه دور متميز في خلق بيئات محلية متمايزة.

هذا كله يمكننا من التمييز بين أشكال وأنواع مختلفة من البيئات، كل منها تختلف في ظروفها الطبيعية والحياتية، التي تشكل في مجموعها منظومة كبرى تشمل كوكبنا الأرضي بأجمعه.

ويميز الجغرافيون ما بين نموذجين من البيئات: أحدهما، **بيئات جغرافية**، أو كما تعرف أيضاً بالبيئات البشرية، وتدل على المناطق من سطح الأرض، التي استطاع الإنسان أن يتعامل ويتفاعل معها، تاركاً آثاره وبصماته الواضحة فيها. وتختلف تلك البيئات باختلاف الظروف الطبيعية السائدة ضمنها، ومدى قدرة الإنسان على التعايش مع تلك الظروف، واستثماره للموارد المتوافرة، وهذا يختلف مع درجة التقدم العلمي والتقني للإنسان، وثانيهما، **بيئات طبيعية**، وتطلق على الوحدات المكانية من سطح الأرض التي لا وجود للإنسان فيها، والتي ما زالت تشكل نظماً طبيعية مستقلة، كما هو الحالب في بعض أجزاء حوض الأمازون في القارة الأمريكية الجنوبية، وكما في القارة القطبية الجنوبية، وبعض الأماكن من الصحارى، والأجزاء المرتفعة من الجبال الكبرى في العالم. غير أن هذه البيئات، جغرافية كانت أم طبيعية، ليست ثابتة و مستقرة، بل هي في حال تغير دائم، ولكن بوتائر مختلفة مما خلق تباينات ملحوظة ضمن البيئات الجغرافية، بحيث أصبح من السهل تمييز الكثير من البيئات الأصغرية. ويحاول الإنسان جاهداً الوصول إلى البيئات الطبيعية، وتحويلها إلى بيئات جغرافية.

وعلى أساس الموقع الفلكي والتباينات المناخية، شكل (١٥)، يميز عدة أنماط بيئية، هي:



الشكل (١٥) البيئات المناخية في العالم

١ – **بيئة حارة:** تتمثل في المناطق بين المدارية، متضمنة في داخلها الكثير من البيئات المحلية.

٢ - **بيئة معتدلة:** تتمثل في المناطق المحصورة ما بين مداري السرطان والجدي، والدائرتين القطبيتين، وقد يبدو الاختلاف ما بين أجزاء هذه البيئة الأقرب إلى المدارين والأبعد عنهما ظاهراً بشكل أوضح من الاختلافات العرضانية في البيئة الحارة السابق ذكرها.

٣ - **بيئة باردة:** وتتمثل هذه البيئة بشكل واضح خلف الدائرتين القطبيتين الشمالية والجنوبية، وتكاد تخلو الأجزاء القريبة من القطبين من أشكال الحياة الواضحة.

بينما يمكننا أن نميز **على أساس إمكانية كفاية الظروف المناخية لوجود غطاء نباتي طبيعي، البيئات النباتية التالية**، شكل (١٦):

١ - **بيئة الغابات المدارية الرطبة:** متمثلة في الغابات دائمة الخضرة عريضة الأوراق، المتصفة بشدة كثافتها، وارتفاعها، حيث الحرارة المرتفعة والأمطار الوفيرة الدائمة، وتعيش في هذه البيئة حيوانات معينة.

٢ - **بيئة المراعي الحارة:** التي توجد فيما بين خطي عرض (٦ - ١٨) شمال خط الاستواء وجنوبه، حيث تسود حشائش السافانا الطويلة والقصيرة التي تشكل مجالاً رحباً لحياة حيوانية وفيرة.

٣ - **بيئة المراعي المعتدلة:** التي تعرف ببيئة الاستبس (السهب) في القارة الآسيوية، وبيئة البراري في أمريكا الشمالية، وبيئة البمباس في أمريكا الجنوبية، و بالفيلدز (Fields) في جنوب إفريقيا، وتوجد هذه البيئة في العروض المعتدلة ذات الأمطار السنوية المتراوحة بين (٢٠٠ - ٥٠٠مم)، مشكلة مكاناً صالحاً لنمو الأعشاب، ولوجود الحيوانات المختلفة، ولنجاح زراعات متنوعة.



الشكل (١٦) البيئات النباتية في العالم

٤ - **بيئة الغابات المعتدلة والباردة**، والتي نميز فيها نوعين رئيسيين: أحدهما، نفضي (غابات نفضية الأوراق) تنفض أوراقها في فصل الشتاء البارد، موجودة في العرض (٤٠ - ٦٠) شمالاً وجنوباً، خاصة في الأجزاء الغربية من القارات، حيث أشجار البلوط والزان: إلخ. والآخر، مخروطي (غابات دائمة الخضرة) يوجد في العروض بين (٥٠ - ٧٠) شمالاً، حيث أشجار الصنوبر والشربين... إلخ.

٥ - **بيئة الصحارى**، وهي بيئة تندر فيها الحياة النباتية والحيوانية، كما يندر فيها البشر، أو يكادون ينعدمون في معظم أجزائها. وتتمثل في الصحارى المطرية، التي يقل ما يهطل فيها سنوياً من الأمطار عن (٢٠٠مم)، سواء في العروض المعتدلة أم في العروض المنخفضة، كالصحراء الكبرى، وصحراء كلهاري، وأتاكاما، والصحراء الأسترالية... إلخ. والصحارى الجليدية، التي يحول البرد الشديد والأرض المتجمدة، والثلج المتراكم دون إمكانية وجود حياة واضحة فيها.

وعلى أساس الموقع من البحر، يميز بين بيئتين رئيسيتين:

١ - **بيئة ساحلية (بحرية)**: تتمثل فيه المناطق المطلة على البحار والمتأثرة بها، والتي يعتمد سكانها في حيز كبير من نشاطهم على أعمال البحر وموارده.

٢ - **بيئة قارية (داخلية)**: بعيدة عن البحار ومؤثراتها، حيث تسودها ظروف مختلفة عن ظروف البيئة البحرية.

ويعد نشاط الإنسان الاقتصادي أحد العوامل الأساسية الذي يمكن على أساسه التمييز بين عدة بيئات، هي كالآتي:

١ - **بيئة زراعية:** وهي بيئة المناطق التي يغلب فيها عدد السكان المشتغلين بالزراعة، إذ تشكل هذه المهنة المصدر الرئيسي للدخل الفردي والقومي، ومن الأمثلة عنها، بيئة هولندا، والبيئة السورية، وتتميز هذه البيئة باستقرار سكانها.

٢ - **بيئة رعوية:** وهي بيئة المناطق التي يعتمد سكانها على التنقل والترحال وراء حيواناتهم الرعوية التي تشكل أساس حياتهم، كما هو الحال في بيئة البادية السورية.

٣ - **بيئة صناعية:** وتتمثل في بيئة الصناعة والتعدين، إذ يقلب فيها عدد السكان العاملين في هذا القطاع الاقتصادي، ويشكل دخلها أساس الدخل القومي، كما في بيئة بريطانيا، والولايات المتحدة الأمريكية، واليابان، وفرنسا. وهذا لا يعني أن لقطاع الزراعة أو تربية الحيوان عدم وجود في البيئة الصناعية، من خلال الدول الممثلة، وإنما نجد في الدول الصناعية، أجزاء من أرضها ومن سكانها متجهين نحو الزراعة، أو تربية الحيوان.

وإذا كان هذا التقسيم البيئي يقودنا إلى القول: إن البيئة الزراعية هي بيئة ريفية، والبيئة الصناعية هي بيئة المدن، إلا أنه يميز في البيئات الزراعية، كمثال سورية، بعض الوحدات البيئية الصناعية التي تشغل حيزاً محدوداً، وإن كانت آثارها واضحة على البيئة الزراعية عموماً. ليس هذا فحسب، وإنما على الرغم من وجود مدن كبرى في البيئات الزراعية تقوم بوظائفها الإدارية... وغيرها، يجعلها نمط التعامل التجاري من حيث وظائفها زراعية في أغلبها، وبيئتا المدن والريف بما تحملان في طياتهما من أنماط سكنى مختلفة، وفعاليات اقتصادية متميزة، وما يترتب على ذلك

من تأثير على البيئة العامة الموجودة فيها، تشكل أحد الأركان الأساسية في معالجة بعض مشاكل البيئة، خاصة التلوث.

وبصورة عامة، فإنه ضمن كل بيئة من البيئات سابقة الذكر، يتمثل الكثير من الوحدات البيئية المحلية، مختلفة الأشكال والأحجام، التي تعكس دور العوامل المحلية والأصغرية المتدخلة في التأثير على البيئة.

الفصل الثاني

الدورات الطبيعية لأهم مكونات البيئة

٢ – ١ – الدورة المائية.

٢ – ٢ – دورة الآزوت.

٢ – ٣ – دورة ثاني أكسيد الكربون.

٢ – ٤ – دورة الأوكسجين.

٢ – ٥ – دورة الفوسفات.

٢ – ٦ – دورة الكبريت.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

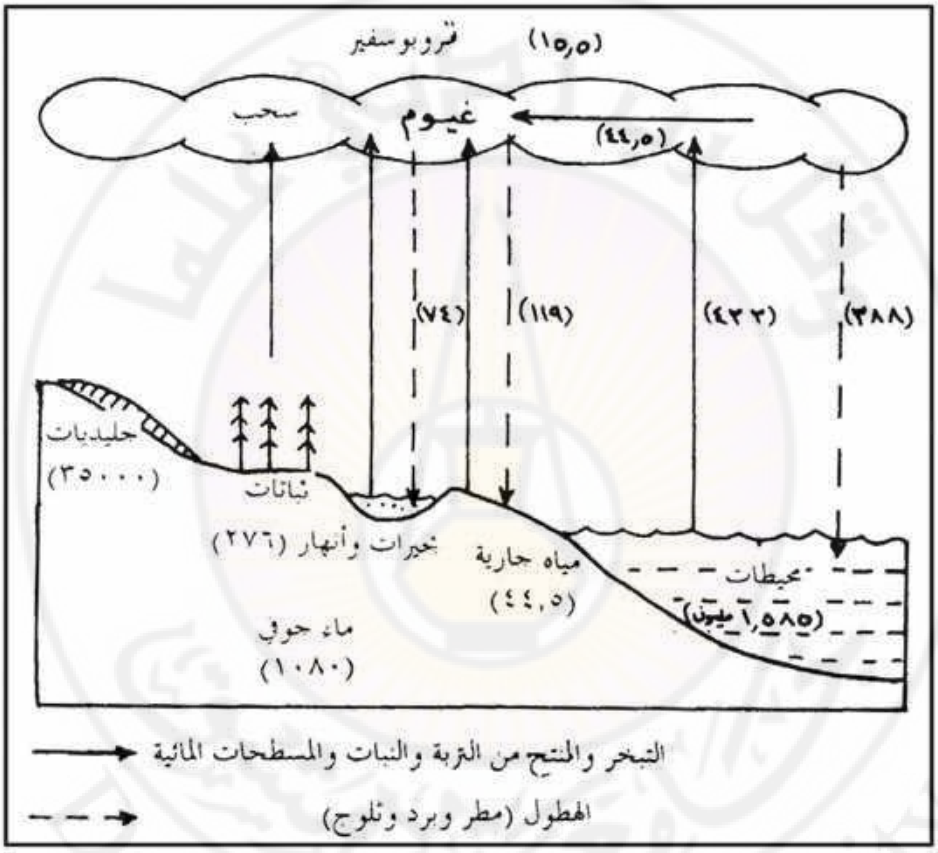
إن بعض مكونات البيئة الطبيعية في حالة حركة دائمة تنتظم وفقها، متبعة في ذلك دورة متكاملة. ويساعد فهم الدورات الطبيعية على تفهم المشاكل البيئية، مثل: كيفية حدوث التلوث وانتقاله إلى الإنسان والكائنات الحية الأخرى، وكمية الطاقة اللازمة لإنتاج المواد الغذائية للأعداد المتزايدة من سكان الأرض. ومن أهم الدورات المتمثلة في الطبيعة، ما يأتي:

٢ - ١ - الدورة المائية (Hydrological Cycle):

تمثل الدورة المائية، العملية المستمرة الطبيعية التي تحدث وفقها حركة تبادلية مستمرة للماء، ما بين الجو من جهة واليابس والمسطحات المائية من جهة أخرى، بما في ذلك الأحياء وغير ذلك. فالماء مورد طبيعي ومتجدد، بمعنى أن الكمية الإجمالية المتوسطة للماء في الجو (بخار الماء) وعلى سطح الأرض وتحته (ماء سطحي ومختزن في النباتات ومياه جوفي) وفي المسطحات المائية، تكون ثابتة، نتيجة لوجود حركة تبادلية للمياه بين المصادر المختلفة، والشكل (١٧) يمثل مخططاً مبسطاً للدورة المائية في الطبيعة.

إن الماء يهطل من الجو بصورة أمطار وثلوج وبرد على كل من اليابس والمسطحات المائية، ويقوم جزء من الماء الهاطل فوق اليابس بالتسرب والترشح داخل التربة ليشكل ماء التربة، أو ليشكل الماء الجوفي. ويخرج جزء من هذا الماء المتسرب على شكل ينابيع تغذي مياه الأنهار والبحار والبحيرات والمحيطات، وجزء آخر يخرج صاعداً من التربة إما عن طريق امتصاصه من قبل جذور النباتات ومن ثم نتحه من خلال

الأوراق نحو الجو، وإما عن طريق الخاصية الشعرية لجزيئات التربة ومن ثم تبخره. أما الجزء الآخر من ماء اليابس التهطالي، وهو الأكبر، فيتدفق فوق السطح إلى الجداول والأنهار لينتهي في البحار والبحيرات والمحيطات.



الشكل (١٧) دورة المياه في الطبيعة

إن الماء الذي يهطل على سطح الأرض، يعود فيتبخر مرة أخرى بفعل الطاقة الشمسية، ليتصاعد إلى الجو. وبوجه عام فإن التبخر من البحار والمحيطات يزيد على كمية التهطال هناك بنسبة تقدر بنحو (٩%). وتمثل هذه النسبة (٩%) كمية المياه التي تتحرك بشكل دائم من اليابسة إلى

المحيطات ومن المحيطات إلى الجو، محققة بذلك التوازن في الدورة المائية، ومقدمة الماء الإضافي للإنسان ليلبي منه احتياجاته.

وهكذا نجد أن الدورة المائية تتكون من عملية توازن مستمرة بين التبخر والنتح، والتهطال، والجريان السطحي، وحركة الماء الجوفي، كما يلخصها الجدول (٣).

جدول (٣) يبين الحجم الإجمالي لماء الدورة المائية

العنصر	فوق اليابسة (كم٣) (تريليون م٣)		فوق المسطحات المائية (كم٣) (تريليون م٣)		المجموع (تريليون م٣)
	اليومي	السنوي	اليومي	السنوي	السنوي
الماء الهاطل	٢٦٠	١١٩	٧٧٥	٣٨٨	٥٠٧
الماء المتبخر	١٦٠	٧٤	٨٧٥	٤٣٣	٥٠٧
الماء السطحي الجاري	١٠٠	٤٥	١٠٠	٤٥	الفرق

فالمياه المتبخرة سنوياً تقدر كميتها (٥٠٧) تريليون متر مكعب. والكمية نفسها هذه تهطل فوق سطح الأرض بكامله. وتقدر كمية المياه التي تتدفق سنوياً من سطح اليابس إلى البحار والمحيطات من خلال الجداول والأنهار بحدود (٤٤,٥) تريليون متر مكعب. وهذه هي الكمية المتاحة للاستعمالات البشرية، وهي الكمية الدوارة دائماً أيضاً من منظومة اليابس – البحر – الجو.

٢ – ٢ – دورة الآزوت (النتروجين):

إن وجود الآزوت ومركباته في الغلاف الجوي ضروري لبقاء الحياة واستمرارها، كونه عنصراً أساسياً في بناء المادة الحية. فهو يدخل في تركيب البروتينات، وهي المواد التي تبني منها الأحياء خلاياها وتجدد

التالف منها. وعلى الرغم من أن مركبات الآزوت ضرورية للكائنات الحية من أجل تشكيل البروتين، يستطيع العدد القليل من تلك الكائنات أن يستخدم هذا الغاز مباشرة من الغلاف الجوي. فغاز الآزوت الذي يشغل أكبر نسبة في الجو (٧٨%من حجم الهواء) هو غاز خامل لا نفع منه مباشرة لمعظم الأحياء، ولا بد للاستفادة منه من تحوله إلى مركبات آزوتية يمكن للكائنات الحية امتصاصها والاستفادة منها.

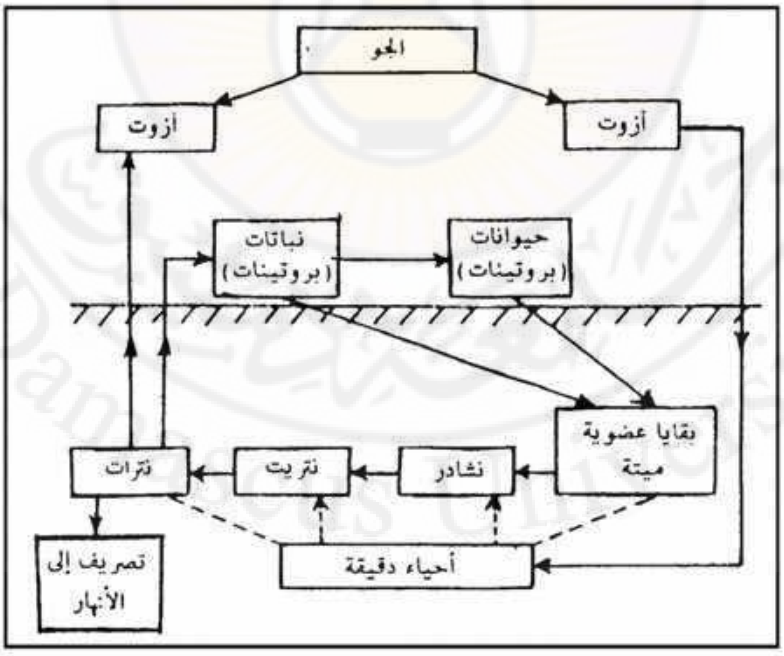
وهناك آليتان يتم بهما تثبيت الآزوت الجوي وتحويله إلى مركبات قابلة للاستخدام من النباتات، هما **آلية التثبيت الحيوي (Biological Fixetion)** وذلك بواسطة نماذج متنوعة من الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة ممثلة في بعض أنواع البكتريا والطحالب تدعى بالمثبتات الآزوتية (Nitrgen Fixers)، حيث تقوم تلك الكائنات الدقيقة بتحويل الآزوت إلى بروتين من خلال تحويله إلى ذشادر (NH_2)، وأمونيوم (NH_4)، ونتريت (NO_2)، ونترات (NO_3). ولا يمكن استخدام أملاح النتريت من قبل معظم النباتات، لكن من الممكن استخدام أملاح النترات لسهولة امتصاصها، وهي مصدر مهمّ من مصادر الآزوت اللازم لتشكل البروتين. ويعيش الكثير من الطحالب والبكتريات المثبتة للآزوت في العقد الجذرية لأنواع عديدة من البناتات، كما الحال في النباتات البقولية كالحمص والعدس والفول، حيث تقوم تلك البكتريات بتحويل غاز الآزوت إلى نترات وتقدمه للنباتات. ولذا فإن زراعة هذه النباتات عامل إخصاب للأرض.

والآلية الثانية، هي **آلية التثبيت الجوي (Atmospheric Fixation)** إذ يدخل الآزوت الجوي التربة بفعل البرق والصاعقة بتحوله إلى نترات

(NO_2) نتيجة اتحاد الآزوت مع الأوكسجين بفعل طاقة البرق الكهربائية، لتسقط مع مياه الأمطار على التربة ولتدخل في دورة الغذاء النباتي.

وتبدأ دورة الآزوت في الطبيعة، شكل (١٨)، بعملية تثبيت الآزوت الجوي في التربة بصورة مركبة آزوتية قابلة للامتصاص النباتي (النترات والأمونيوم والأمونيا)، التي تستخدمها النباتات في تركيب الأحماض الأمينية حجر الأساس في تشكيل البروتينات التي تدخل في السلسلة الغذائية للمستهلكين بشكل مباشر أو غير مباشر من أدنى رتبهم إلى أعلاها. وبموت النباتات والحيوانات والأحياء الدقيقة تتحلل مكوناتها إلى مركباتها الأولية، متحرراً بذلك النشادر (الأمونيا) والنتريت والنترات في سلسلة من التفاعلات، التي تدعى بتفاعلات النترتة (Nitrification)، كالآتي:

$$_2NH_4 + {}_3O_2 \rightarrow {}_2NO_2 + {}_2H_2O + {}_4H + \text{طاقة}$$



الشكل (١٨) دورة الآزوت في الطبيعة

حيث تتم أكسدة الأمونيوم (NH_4) في وسط يتوفر فيه الأوكسجين بواسطة بكتريات تدعى بكتريا النتروز (Nitrosomonas). وفي تفاعل آخر تعمل بكتريا النتريت (Nitrobacter) على أكسدة النتريت وتحويله إلى نترات، يمكن للنباتات إعادة امتصاصها بسهولة:

$$2NO_2 + O_2 \rightarrow 2NO_3 + \text{طاقة}$$

ويعاد الآزوت في النهاية إلى الجو مع بقاء كميات منه مدورة ضمن التربة والكائنات الحية، بفعل عملية انتزاع الأوكسجين (Denitrification)، حيث يتم تحرير ذرات الأوكسجين بواسطة بعض الكائنات الحية الدقيقة (بكتيريات معينة) التي تعيش في ظروف عديمة التهوية (تربة فقيرة بالأوكسجين أو معدومة منه مغمورة بالمياه)، وفق العلاقة التالية:

$$NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO \begin{cases} \rightarrow NH_2OH + NH_3 \\ \rightarrow N_2O + N_2 \end{cases}$$

كما أن نسبة من النترات تنصرف إلى المياه السطحية أو الجوفية بغسلها من التربة بمياه الأمطار أو الري، ويمكن لهذه النسبة أن تعود إلى الدورة من جديد، إذا ما استخدمتها الكائنات المائية في غذائها، أو إذا ما استجرت المياه الجوفية الحاوية عليها واستخدمتها النباتات من جديد. وبهذه الصورة تغلق دورة الآزوت الطبيعية، وتسهم الحرائق بإعادة غاز الآزوت إلى الجو أيضاً.

ودورة الآزوت الطبيعية متوازنة، وهذا يعني أن تركيز الآزوت في الجو يبقى ثابتاً. ذلك أن الإطار العام لهذه الدورة في الغلاف الحيوي يبدأ من الهواء ثم إلى التربة أو الماء، ثم إلى النبات فالحيوان والإنسان، فالتربة

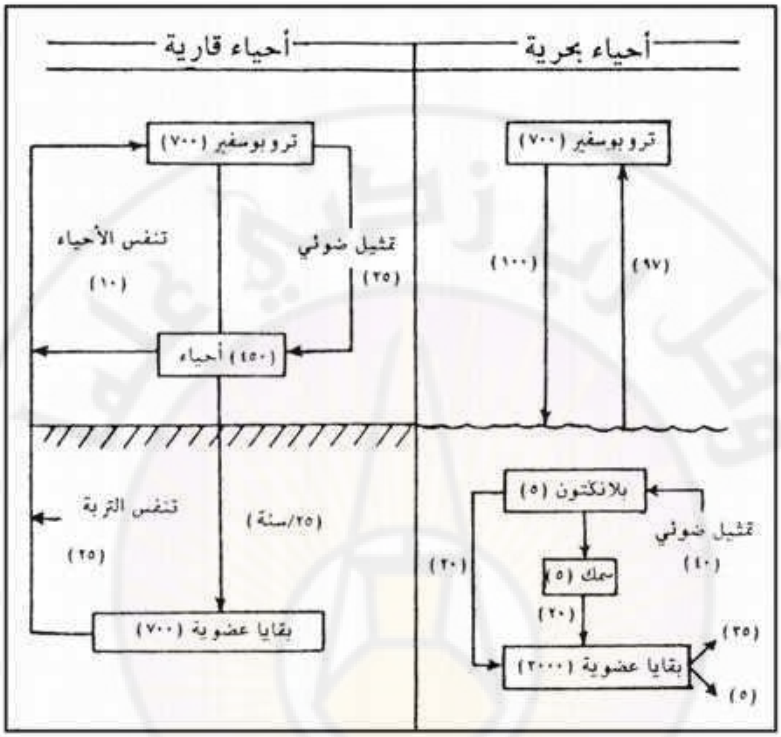
فالهواء مرة أخرى... وهكذا. غير أن استخدام المخصبات الآزوتية في الزراعة الحالية بشكل متميز (يقدر ما يضاف سنوياً من الآزوت إلى الأراضي الزراعية في العالم بحدود ٤٠ – ٥٠ مليون طن) يزعج عنه إخلال في توازن دورة الآزوت الطبيعية، خاصة أن نسبة منها تنصرف في الماء إلى الجداول والأنهار والبحيرات ملوثة هذا الماء، ففي عام (٢٠١٠) قدر أن نحو (١٨,٥) مليون طن من الآزوت غسلت بفعل المياه وتصرفت إلى محيطات العالم وبحاره وبحيراته.

٢ – ٣ – دورة ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

إن دورة الكربون هي دورة غازية تمثل تبادلاً ما بين ثاني أكسيد الكربون (CO_2) الموجود في الجو، وخاصة في الجزء الأدنى منه المدعى بالتروبوسفير، وذاك المتمثل في الغلاف الجوي، وتدعى الكمية الدائرة من ثاني أكسيد الكربون المتبادلة دائماً بين الجو والغلاف الحيوي بدورة غاز ثاني أكسيد الكربون.

وتشكل عملية التركيب الضوئي (التمثيل الضوئي) الأساس في دورة ثاني أكسيد الكربون، حيث يتم بوساطتها تثبيت بلايين الأطنان من غاز ثاني أكسيد الكربون في أجسام الكائنات الحية البرية والبحرية، متحولة إلى مركبات عضوية مختزنة، تستخدمها كائنات أخرى مستهلكة لها. وفي المقابل يتم تحرير جزء من غاز ثاني أكسيد الكربون مباشرة بعملية التنفس (Respiration) المعاكسة لعملية التركيب الضوئي، سواء أكان الأمر خاصاً بكائنات اليابس أم بكائنات البحر، كما أنه خلال عملية تفسخ فضلات وأجساد الكائنات الحية، ينطلق منها غاز ثاني أكسيد الكربون الذي اختزن ضمنها بصورة مركبات عضوية... وهكذا دواليك،

حيث تعاد دورة غاز ثاني أكسيد الكربون، شكل (١٩)، بحيث تبدو على صورة نظام مغلق.

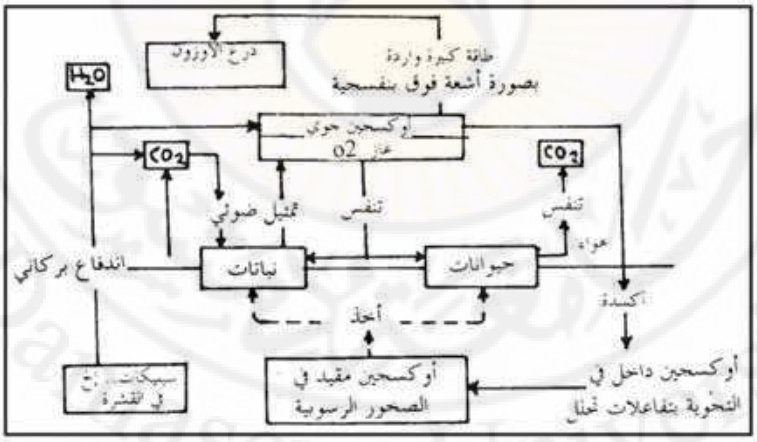


الشكل (١٩) دورة ثاني أكسيد الكربون في الطبيعة

وتعد دورة غاز ثاني أكسيد الكربون من أكثر الدورات الغازية التي تعرضت لتدخل الإنسان، إذ إن عمليات الاحتراق في المصانع والمعامل والآليات المختلفة (وسائط النقل المختلفة) تطلق في الجو كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون، تقدر سنوياً بنحو خمسة آلاف مليون طن، مما أثر بشكل كبير على توازن هذا الغاز الطبيعي، إذ أن تركيزه في الهواء ارتفع من (٢٩٠ – ٣٧٠) جزءاً من مليون خلال الفترة من عام ١٨٧٠ إلى عام ١٩٩٠ (بنسبة ١٥%) بعدل سنوي مقداره (٠,٠٢)، ومن المنتظر أن تبلغ نسبة تزايده في الجو بحدود (٢٠%) في الفترة (٢٠٠٠ – ٢٠٢٠م).

٢ – ٤ – دورة الأوكسجين:

الأوكسجين عنصر أساسي للكائنات الحية كلها، فهو عنصر الحياة في الغلاف الجوي. ومعظم النباتات والحيوانات، ومختلف بني البشر، يطلبون الأوكسجين للقيام بالتنفس الهوائي، أو للأكسدة الأنزيمية للغذاء العضوي، الذي يساعد على النمو وتجديد الخلايا. ففي ساعات النهار، تقوم النباتات بعملية بيوكيماوية هي التمثيل الضوئي، حيث ينتج من جرائها تشكل الكربوهيدرات وانطلاق الأوكسجين إلى الجو... وهكذا فإن دورة الأوكسجين تتمثل، ببساطة، في أن هذا الغاز يمتص من البيئة خلال التنفس الهوائي، ويطلق إلى البيئة كنتيجة للتمثيل الضوئي. ويوجد أيضاً تبادل مستمر للأوكسجين بين (٢٠,٩%) في الجو، ومناطق الماء على الأرض كلها، شكل (٢٠). وتكاد تكون كمية الأوكسجين الكلية في الغلاف الحيوي ثابتة نسبياً. وهذا يعني أن دورة الأوكسجين مستقرة، غير أنه يمكن لتأثيرات التلوث أن تسبب نقصاً في الأوكسجين في بعض المواقع البحرية المحلية.



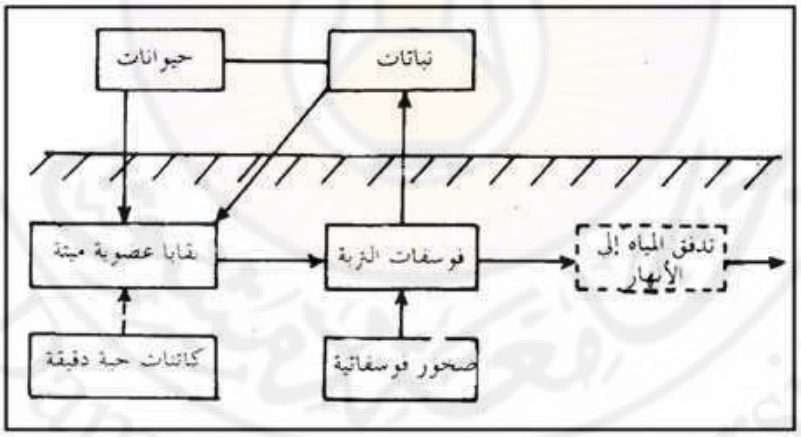
الشكل (٢٠) دورة الأوكسجين في الطبيعة

٢ – ٥ – دورة الفوسفات:

تتطلب النباتات والحيوانات باستمرار مركبات الفوسفات، لكون الفوسفات العضوية ضرورية لانقسام الخلية التي تنطوي على إنتاج الدنا

(DNA)، والرنا (RNA). كما أنت الفوسفات مطلب جوهري من أجل نمو عظام الحيوانات وأسنانها والمحافظة عليها.

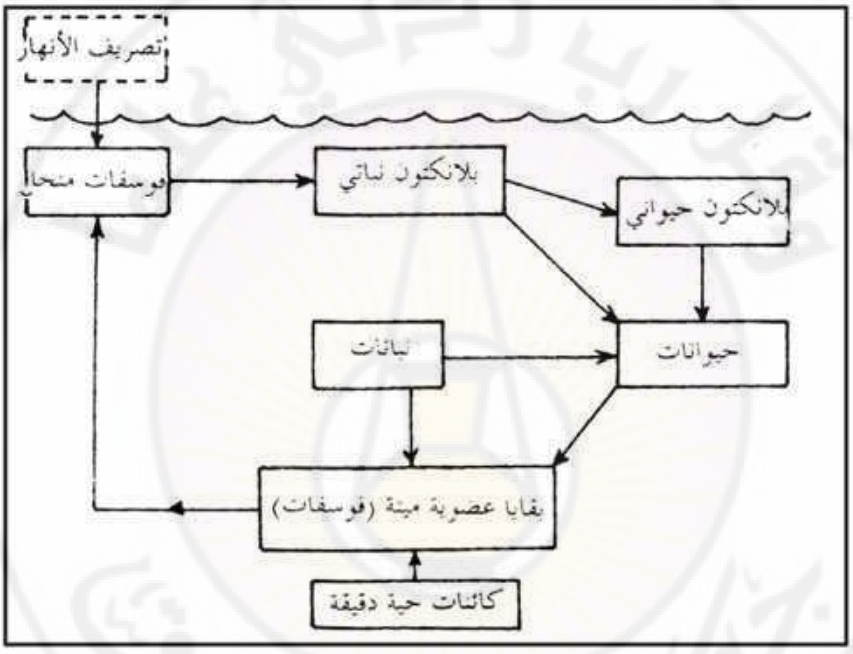
وتقوم نباتات اليابسة بامتصاص أملاح الفوسفات غير العضوية من التربة (شكل ٢١)، محولة إياها إلى فوسفات عضوية. وعن طريق أكل الحيوانات للنباتات تحصل على حاجتها من الفوسفات. ويتمثل المصدر الرئيسي للفوسفات في الصخور والتربة، حيث توجد الفوسفات بصورة محلولة وغير محلولة أو مثبتة. والفوسفات التي تمتصها النباتات من التربة تعود إليها بعد موتها، بجانب ما يعود إليها أيضاً من البقايا العضوية الحيوانية، التي تكون قد تحولت إلى هوموس (دبال) تحت تأثير فعل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة. ومعظم فوسفات التربة يكون إما مثبتاً أو ملتصقاً على جزيئات التربة، غير أن بعض فوسفات التربة يفقد خلال عملية الغسل المائي منتقلاً إلى المجاري المائية.



الشكل (٢١) دورة الفوسفات على اليابسة

وفي المياه العذبة تقوم الطحالب الطافية أو البلانكتون النباتي (Phytoplankton) بالامتصاص السريع للفوسفات غير العضوية المحلولة محولة إياها إلى فوسفات عضوية. وتقدم الطحالب الغذاء للبلانكتون الحيواني (Zooplankton = الجزء الحيواني من العوالق الطافية من الماء)

الذي يستهلك من قبل الحيوانات الأخرى. ولما كان الم وت ه و النهاي ة لأشكال الحياة كلها، لذا فإن بقاياها العضوية تترسب متوضعة في قيع ان المياه، لتتحلل تلك البقايا العضوية في الوقت المناسب بفعل الكائنات الحية الدقيقة، وليعود الفوسفات منطلقاً إلى الماء، ليعيد الدورة من جدي د م رة أخرى (الشكل ٢٢).



الشكل (٢٢) دورة الفوسفات في الماء

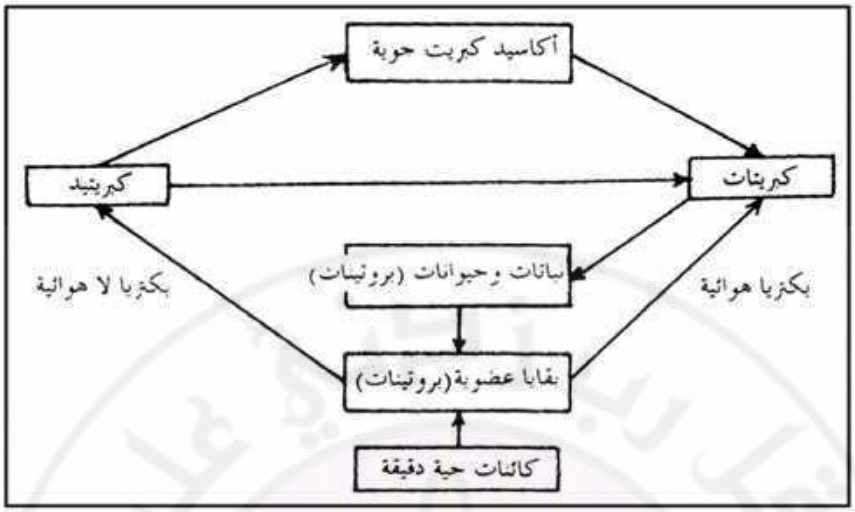
إن الدورة الطبيعية السابقة للفوسفات، أخذت تتأثر بشكل ملحوظ منذ أوائل القرن العشرين بالملوثات. فالاستخدام المتزاي د للمخ صبات ف ي الزراعة، بخاصة السوبر فوسفات، أو السوبر فوسفات الثلاث ي، وك ذلك الأسمدة البلدية (المزابل) أدت إلى حدوث زيادة غير طبيعي ة ف ي كمي ة الفوسفات، يضاف إلى ذلك المخلفات والنفايات ممثلة في مبرزات الج سم والمنظفات الكيماوية وغيرها ممن تحتوي على الفوس فات، حت ى بع د

معالجتها، فإنها تطرح كميات كبيرة من الفوسفات في البيئة، ستنتهي هـ ي وسابقتها في نهاية المطاف إلى المياه العذب ة، ف ي الج داول والأنه ار والبحيرات لتلوثها. وتكون نتيجة الإفراط في كمية الفوسفات ف ي المي اه زيادة في الكتلة الحية فيها من طحالب خضراء ونباتات خ ضراء، الت ي تستهلك مزيداً من الأوكسجين المذاب في الماء عند موتها وتحللها، مم ا يترتب عليه في النهاية نقص في الأوكسجين المائي المنحل، مه دداً ذل ك بالقضاء على الكائنات الحية الهوائية، ومُحدِثاً خللاً في السلاسل الغذائي ة الطبيعية.

وفي المملكة المتحدة، قدر أن نحو (٢٥٠) ألف طن من الفوس فات تدخل سنوياً مجارير المياه، و (١٦٠) ألف طن منها (نسبة ٦٦%) تصرف إلى مياه الأنهار.

٢ - ٦ - دورة الكبريت (Sulphr Cycle):

تتطلب النباتات والحيوانات الكبريت ومركباته بصورة دائمة كي تقوم بتركيب الأحماض الآمينية والبروتينات. وتأخذ تبادلات الكبري ت مكانه ا ضمن الأنظمة البيئية بفعل النشاط الذي تمارسه أنواع من البكتريا تع رف ببكتريا الكبريت. وتشكل حركة الكبريت ومركباته في مكونات البيئة م ا يعرف بدورة الكبريت (الشكل ٢٣).



الشكل (٢٣) دورة الكبريت في الطبيعة

فالنصف العلوي من الدورة، الشكل السابق، يبين عملية أكسدة الكبريت. والقطاع الأخفض منها يوضح عملية تحول الكبريتات (السولفات) ضمن النباتات والحيوانات إلى بروتينات خلوية نباتية وحيوانية، وتحلل النباتات الميتة والمادة الحيوانية بفعل البكتريات. وفي المياه الملوثة جداً، فإن الظروف غير الهوائية بانعدام الأوكسجين المنحل، وفعل التحلل البكتيري للبقايا العضوية الحيوانية والنباتية، يؤدي إلى إنتاج كبريتيد (سولفيد) الهدروجين (H_2S) السام، وترسبات من كبريتيد الحديد الأسود. أما في المياه غير الملوثة، أو ذات التلويث البسيط، فإن ظروف التهوية أو تجديد الأوكسجين، تجعل بكتريا الكبريت تقوم بتحويل الكبريتيد إلى كبريتات (SO_4, SO_2) لتستعمل في إنتاج المزيد من البروتين.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

التوازن البيئي

٣ – ١ – مفهوم التوازن البيئي.

٣ – ٢ – مصادر الإخلال بالتوازن البيئي.

٣ – ٣ – آليات الإخلال بالتوازن البيئي.

٣ – ٤ – أساليب التغير في النظام البيئي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

يقسم الغلاف الحيوي البيئي إلى الكثير من الوحدات الأصغرية، أو النظم البيئية (الجمل البيئية) التي تتمثل في: نباتات وحيوانات وكائنات حية دقيقة تعيش في منطقة محددة ذات خصائص طبيعية معينة. وتحدد إمكانية هذه المنطقة على توفر الحياة جملة شروط طبيعية ممثلة في الماء والتربة والهواء. ويتمثل أي نظام بيئي بالعلاقات الداخلية الديناميكية بين أشكال الحياة وبيئتها الطبيعية، بحيث تعبر تلك العلاقات عن الدورات الطبيعية للمواد الطبيعة في البيئة الأساسية في الحياة، والتي تقدم حركة مستمرة للمركبات الضرورية للحياة. فالدورات الطبيعة لمكونات البيئة تعمل بصورة رئيسية على إبقاء التوازن ما بين عناصر النظام البيئي قائمة.

٣ - ١ - مفهوم التوازن البيئي:

إن التوازن الطبيعي بوجه عام غير موجود تماماً، ومن ثم فإن الكثير من العمليات التي تساعد على وجود الحياة لا تبقى على حالها، ومِنْ ثَمَّ فإن النظم البيئية تكون في وضع غير مستقر، وفي حالة قابلة للتغير. إن عملية التوازن في الدورات الطبيعية والنظم البيئية تساعد على ثبات الغلاف الحيوي برمته واستقراره، والتي تشكل أساس الوجود المستمر، وتطور الحياة على سطح الأرض.

والنظم المتوازنة ببيئتنا، هي تلك النظم التي يتحقق فيها التوازن الكامل ما بين عناصر السلسلة الغذائية، المستهلكين بمستوياتهم، والمنتجين

على اختلاف أنواعهم ممن يشكلون مصادر الغذاء للمستهلكين. وبـ صورة عامة فإن النظم الناضجة، والنظم الطبيعية، تمثل نظماً متوازنة.

وتحتوي معظم النظم البيئية على نماذج مختلفة من الكائنات الحيـ ـة، مثال ذلك: الغابة متساقطة الأوراق يمكنها أن تعيل أكثر من مئة نوع مـ ن الطيور، كما أنها تضم المئات من أنواع الشجيرات والأزهار والحـ شائش، والحشرات، وثدييات قليلة. غير أن تدخل الإنسان في النظم البيئية، بما قام ويقوم به من قطع للأشجار، وتنظيف للأرض، وإعادة غرس أنـ واع مـ ن الغابات المخروطية، والتلوث الجوي، وتلوث المياه، وترسـ ب المخلفـ ات السامة.... إلخ، قد أخل بالنظام البيئي، وجعل من الصعب علـ ى عمليـ ة التوازن الطبيعي أن تتحقق بدقة، بل إنها تعاني بعض التغيير الذي تختلف درجته، فقد يكون بطيئاً جداً، وقد يكون سريعاً. ولكن مع ذلك فإن الطبيعة قد تقوم في بعض الحالات تلقائياً بإعادة التوازن الذي اختلـ ع ن طريـ ق بعض القوى الخاصة بها التي تأتي كاستجابة طبيعية لما حدث من خلل.

٣ - ٢ - مصادر الإخلال بالتوازن البيئي:

الإنسان كائن حي متميز بين أحياء البيئة المتعـ ددة والمتنوعـ ة، لا يرقى إلى إمكانياته وقدراته أي منها، غير مقيد في بيئة واحـ دة، إذ نجـ ده يعيش في بيئات متعددة، مستخدماً إمكانياته كلها كي يغير فيها حتى تناسبه. إن قدرات الإنسان الكبيرة مكنته من استكشاف البيئة والحصول منها على غذائه وكسائه ومأواه ومتطلبات صناعته.

ويضع الإنسان نفسه خارج إطار أنظمة البيئة معتبـ راً إياهـ ا ملكـ اً خاصاً به، يتصرف فيها منظماً ومنسقاً ومشكلاً إياها بالكيفية التي ترضيه. والتفاعل بين البيئة والإنسان قديم قدم ظهور الجنس البشري. والبيئة منـ ذ

أن استوطنها الإنسان قبل نحو مليون عام تلبي مطالبه وتشبع الكثير م ن رغباته واحتياجاته.

وعلى الرغم من أن الإنسان عنصر فعال في التأثير على البيئ ة، وأن تأثيراته الظاهرة للعيان محدودة. ورغم السعي الحثي ث للإن سان لتـ سخير الإمكانيات البيئية لخدمة مصالحه ومتطلباته، جعل جشعه الشديد للكثير م ن استثماراته جوانب تخريبية، تمثلت، بالقضاء على مساحات كبيرة من الغطاء النباتي الطبيعي، وعلى أعداد كبيرة وأنواع عديدة م ن الحيوان ات، وف ي تصحر مساحات من الأراضي الزراعية في تلوث الهواء والماء والتربة.

يعد التلوث البيئي بأشكاله كلها، مشكلة العصر الحالي، التي تعانيه ا المدن الكبرى كلها وضواحيها، وبقاع مختلفة من الناطق الريفي ة، حت ى ليمكننا القول إنه لا يوجد بقعة من العالم لم يعثر فيها على ملوث ات بيئي ة منقولة من مناطق بعيدة، أم محلية المنشأ. وهذه الم شكلة ه ي مح صلة للتطور الحضاري والعلمي والتقني، الذي بقدر م ا ك ان إيجابي اً عل ى البشرية، بقدر ما حمل في طياته من مؤثرات سلبية، يمك ن ع دها م ن مخلفات هذا التطور.

إن الإنسان هو الكائن الوحيد الذي استهلك الوقود الم ستخرج م ن باطن الأرض كمصدر من مصادر الطاقة، وأعاد توزيع المعادن والم واد الأخرى بشكل جوهري حول الأرض. والعملية الت ي ي تم م ن خلالها ا الحصول على الوقود من باطن الأرض، والغازات المعدنية، ونقلها، ومن ثم تصنيعها، لها آثار مدمرة على النظم البيئية الطبيعي ة، وعل ى أن واع النباتات والحيوانات، كما أن مخلفات المصانع تؤدي إلى تلوث بيئي ي ؤثر فينا، كما يؤثر في الكائنات الحية الأخرى أيضاً.

ولقد مرت علاقة الإنسان بالبيئة بمراحل تطويرية، تعكس التدرج الذي حصل في ظهور المشاكل البيئية. فقد بدأ الإنسان حياته الأولى بالصيد والجمع، وكان تأثيره في أنظمة البيئة محدوداً جداً إنْ لم يكن شبه معدوم، ولكن مع اكتشاف الإنسان للنار، أصبح يملك أداة التغير الفعالة في البيئة، وفي مرحلة تأهيله للحيوانات، أوجد إطاراً جديداً لعلاقته البيئية، أثر من خلاله في الغطاء النباتي الذي استخدمه مرعى لحيواناته، ليوسع الإنسان دائرة مجاله البيئي مستغلاً الأرض في الزراعة مبدلاً من غطائها النباتي، بغطاء زراعي، مستعملاً مياه الأنهار في الري، مشيداً تجمعاته السكنية على مقربة منها، مستخدماً الحيوان في أعماله الزراعية. محدثاً من جراء ذلك تغييرات بيئية بارزة المعلم، ليدخل الإنسان فيما بعد في عنصر الصناعة، وما رافق ذلك من تطور في مسكنه، ونظام حياته، مستغلاً مصادر الطاقة الأرضية من فحم وبترول، مطلقاً من جراء احتراقها كميات كبيرة من المواد الكربونية. وموجداً الكثير من الصناعات المطلقة ضمن مخلفاتها من المركبات الكيميائية. متجاوزاً في منجزاته الآلية الحدود الطبيعية والسياسية لأقاليم سطح الأرض. مما جعل آثاره البيئة تمتد ليس فوق اليابس فحسب، وإنما في الجو، وفي البحار أيضاً.

إن الإخلال في التوازن الطبيعي للأنظمة البيئية ليس مشكلة مستقلة عن المشكلات البيئية الرئيسية، المتمثلة بالدرجة الأولى في: التزايد السكاني المضطرد، والتزايد في استنزاف الموارد الطبيعية، بل إنها في الواقع نتيجة لهما، ذلك أن القدرة الاستيعابية للنظام البيئي محدودة، وأي زيادة على قدرته سينجم عنه حدوث خلل في التوازن الطبيعي للنظام البيئي. ومتطلبات الإنسان من البيئة تجاوزت الحدود في كثير من الحالات

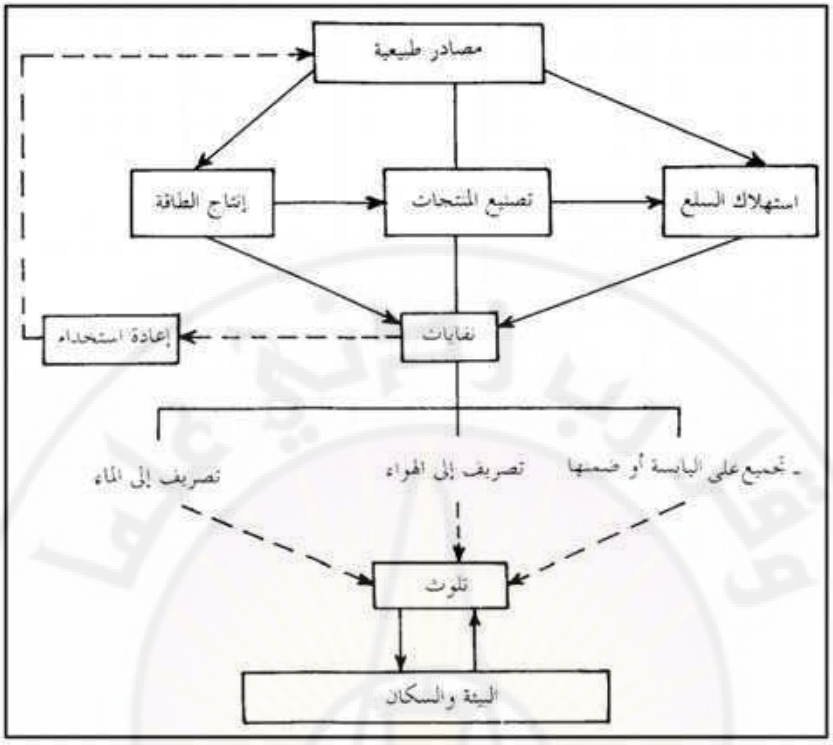
حتى إنَّها أحدثت خللاً كبيراً في التوازن الطبيعي لكثير من الأنظمة البيئية في مناطق مختلفة من العالم، وأصبحت تشكل خطراً حقيقياً على التوازن الطبيعي للغلاف الحيوي على المستوى العالمي. ولقد نسي الإنسان، أو تناسى، أنه عنصر مكمل لعناصر البيئة ولم ينظر إليها إلا على أنها مخزن ضخم للثروة، مطلقاً العنان لقدراته لاستغلال إمكاناتها والسيطرة عليها، ليتولد عن ذلك مجموعة من المشكلات التي تنذر وجوده بالخطر.

ومن أهم المشكلات البيئية التي خلقها الإنسان نذكر:

١ – مشكلة التلوث بكلِّ أشكاله وأنواعه، وما ينجم عنه من آثار في مختلف مناحي البيئة.

٢ – مشكلة التصحر التي يعود بعضها إلى التلوث البيئي، وبعضها الآخر إلى ممارسات الإنسان الخاطئة والجائرة في بيئته.

وبقدر ما أسهمت الثورة الصناعية من تطور، وتقدم، ورفاهية نعمت بها البشرية، وما زالت تعيش بحلم هذه النعمة، بقدر ما تركت وراءها آثاراً سلبية، لم يدرك العالم بعد مخاطرها الحقيقية، تتمثل في بلايين الأمتار المكعبة من المياه الصناعية المصرفة إلى مياهنا الأرضية السطحية، وما تحمله معها أيضاً من كميات كبيرة من النفايات العضوية، بجانب بلايين الأطنان أيضاً من المواد المنطلقة إلى الجو، الذي غدا ملوثاً إلى درجة الخطورة في بعض بقاع العالم، شكل (٢٤). فكم هي الخدمات التي تقدمها السيارة للبشرية جليلة وعظيمة، ولكن كم هي أيضاً الملوثات التي تطلقها إلى الجو خطيرة.



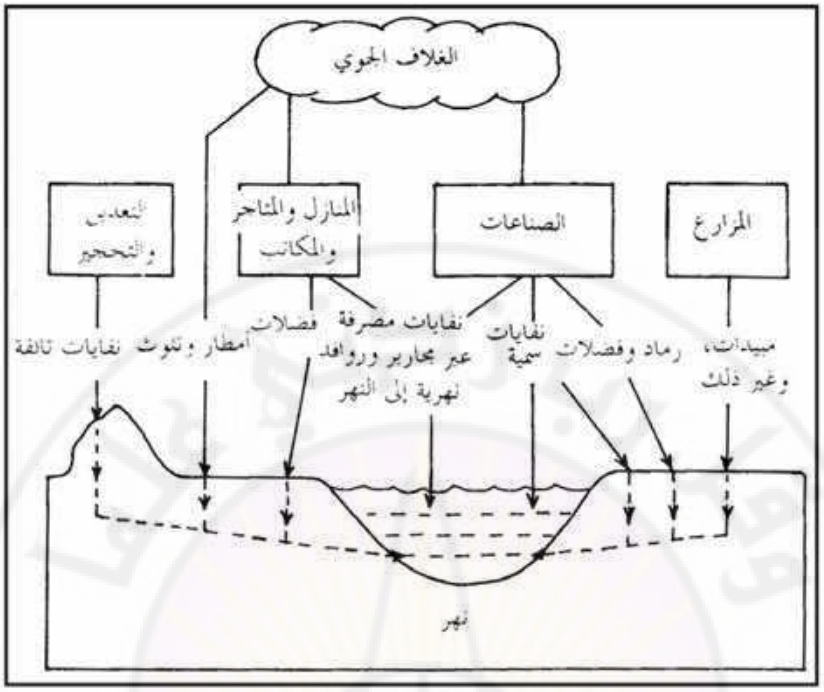
الشكل (٢٤) النفايات والتلوث ضمن المستهلك الصناعي

والإنسان هو قوة التخريب والتدمير الأساسية للبيئة ولأنظمتها المختلفة بعد ما تزايدت أعداد البشر تزايد كبيراً من عدد (٥٠٠) مليون نسمة في عام (١٦٥٠م) إلى عدد (١٠٠٠) مليون نسمة في عام (١٨٥٠م) وليبلغ عدد السكان في عام (١٩٣٠م) نحو (٢٠٠٠) مليون نسمة، وليصل إلى (٤٠٠٠) مليون نسمة في عام (١٩٧٥م)، وإلى نحو (٥٠٠٠) مليون نسمة عام (١٩٨٥م)، وإلى نحو (٧٠٠٠) مليون في عام (٢٠٠٠م)، ومن المنتظر أن يصل هذا العدد إلى نحو (١٠) مليارات نسمة في عام (٢٠٢٠م). ولقد اتضحت معدلات التزايد السكاني المرتفعة في الفترة الماضية من القرن العشرين وما مضى من القرن الحادي والعشرين، لانخفاض نسبة الوفيات، نتيجة للإجراءات الصحية الفعالة.

وبينما كان عدد سكان سورية نحو خمسة ملايين نسمة عام (١٩٦٠م)، ارتفع العدد إلى نحو سبعة ملايين في عام (١٩٧٠م)، وإلى نحو (٩,٥) مليون نسمة عام (١٩٨٠م) وليصل العدد إلى (١٦) مليون نسمة في عام (١٩٩٥م)، وإلى نحو (٢٠) مليون نسمة في عام (٢٠١٠م).

إن النمو الانفجاري للسكان لا يعكس أثره فقط على نقص الغذاء، وإنما يتعدى ذلك إلى أزمات في الطاقة، وتلوث للهواء والماء والتربة، ونقص في الثروة المعدنية، وفي الماء العذب الصالح للاستخدامات المختلفة، ونقص في الموارد المتجددة من غابات ومراع، ومشكلات سياسية واجتماعية تقود إلى خلافات وحروب.

ومن الملاحظ أن نسبة تزايد مختلف مصادر التلوث أكثر ارتفاعاً من نسبة زيادة السكان، كما أن هناك أشكالاً للتلوث ليست مرتبطة بالتزايد السكاني. ونظرة شاملة لمساحة الأرض، ونسبة زيادة السكان، ودرجة التقدم الاقتصادي في كل دولة. تفسر الأوضاع المختلفة في شتى الدول، إذ يبدو أن زيادة التلوث مرتبطة بنماذج النمو الاقتصادي، وبالتطبيقات المحددة للتكنولوجيا المتقدمة، وللتطور نحو نظام المدنية الذي أدى إلى تكوين المدن الواسعة ذات الكثافة السكانية الكبيرة. وإذا كانت مشكلة التلوث تبدو بشكل مزعج في الدول المتقدمة صناعياً فإنها في الدول النامية لم تصل بعد إلى المرحلة التي تبدو فيها خطيرة، ولكن مع ذلك تبدو آثارها واضحة، تتجلى في المناظر غير المحببة لمقابر السيارات، ومخلفات المصانع، ومقالب القمامة... وغير ذلك، شكل (٢٥)، وفي تلويثها للجو والماء والتربة الذي لم تتضح بعد معالمه الخطيرة.



الشكل (٢٥) مخلفات الإنسان أحد عوامل تلوث البيئة – مصادر وطرق التخلص من النفايات في البيئة

٣ – ٣ – آليات الإخلال بالتوازن البيئي:

إذا ما حدث تغيير في أجزاء من عناصر النظ ام البيئ ي ف ي أي منظومة بيئية فيحدث عندئذ تحول في البيئة، واختلال في نظامها وتوازنها. فإذا ما حدث أن انخفضت كمية الأمطار الهاطلة إلى الح دود ال دنيا ف ي منطقة صحراوية، أو قام الإنسان باصطياد أعداد من حيواناتـ ه، ف سيختل عندئذ نظامها البيئي. وأيضاً في حال حدوث تدنٍ في كمية الأمط ار ف ي السافانا في سنة من السنوات أو عدة سنوات متتالية فإن حشائش ال سافانا تقل، مما ينعكس على قطعان الحيوانات العاشبة، وهذا ما يؤدي إلى اختلال في النظام البيئي. وإذ ما تعرضت غابة لحريق، أو احتطاب لأش جارها، فسيختل نظامها البيئي. وقد اختفت تقريباً غابات الأرز في لبنان من جراء

قطعها واستعمالها لبناء الهياكل والسفن التجارية. والملوثات المؤذية التي تطرح في المياه تغير من نظامها البيئي. والأراضي المزروعة أنظمة بيئية يسهم الإنسان في إنشائها، لكنه يتدخل في مكوناتها بطرق شتى مغيراً بذلك في مكون أو أكثر من مكونات النظام البيئي في الأرض المزروعة. ولكي يستطيع الكائن الحي العيش والاستمرار في حياته، يجب أن يتوافر في البيئة الطبيعية شرطان:

أ – قدرة تلك البيئة على تأمين الحدود الدنيا من متطلباته المعيشية.

ب – عدم احتواء البيئة على مواد تعيق الحياة وتمنعها.

وتتألف البيئة التي يعيش فيها الإنسان من عدة عناصر، منها: تضاريس، تربة، بالإضافة إلى ما يوجد فيها من مسطحات مائية وأنهار، وما تشمله من نبات وحيوان.

وفي رأي كل من (هنتنغتون وكارلسون) فإن البيئة الجغرافية يجب أن تدرس ناحيتين هما:

أ – العوامل البيئية المختلفة من وجهة نظر تأثيراتها الجغرافية.

ب – الناس وأوجه نشاطهم في ضوء موارثهم للعوامل البيئية، والكيفية التي بها يستغلون هذه العناصر.

ولم ينفك الإنسان عبر تاريخه الطويل عن التدخل في بيئته، متحركاً داخل مجاله وخارجه بحثاً عما يوفر له متطلباته الحياتية، ولذا خاض صراعاً مريراً مع الطبيعة، وكانت ثمرة ذلك الصراع تغييراً لبعض مظاهره، وخاصة العنصر الحيوي فيها. وقد تعاظم تأثير الإنسان في البيئة وإخلاله بالتوازن البيئي منذ بداية الثورة الصناعية في العالم وحتى اليوم، وهو مستمر في ذلك.

وهناك أساليب وطرائق متعددة أمكن من خلالها إحداث خلل في التوازن البيئي وتغيرات في النظم البيئية الطبيعية، بعضها بفعل قوى طبيعية مختلفة بصفة كوارث طبيعية، كالجفاف الشديد، والفيضانات، والعواصف الريحية، والزلزال والبراكين... وغيرها، إلا أن معظم التغير البيئي والخلل في التوازن الحيوي يعود إلى تدخل الإنسان وأنشطته المختلفة التي تجلت في الطرائق والآليات التالية:

١ - **التحريف (Deflection)**: وهو طريقة لمنع التعاقب الطبيعي من تجاوز مرحلة معينة، بهدف الإبقاء على الغطاء النباتي في ظروف شبه طبيعية، أو نصف طبيعية، بحيث تكون الأنواع جميعها برية، وأهم طريقة متبعة في ذلك هي النار التي كانت وما زالت تستخدم في حرق النباتات الميتة في نهاية فصل الجفاف في المناطق الرعوية.

٢ - **التبسيط (Simplification)**: وهي طريقة الغاية منها إيجاد نظم شبه طبيعية أو نصف طبيعية، أو زراعية بشرية (ثقافية). وفيها يكون دور الإنسان كبيراً في التغيير من خلال الضغط الاستهلاكي على نوع أو أكثر من أنواع النظام الحيوي، بحيث يقل عدداً وتضعف منْ ثَمَّ قدرته على التكاثر والتنافس. ومن الأمثلة على ذلك: استئصال بعض أنواع الثدييات اللاحمة كالذئاب والضباع، أو الثدييات العاشبة كالغزلان والأرانب.

٣ - **الإزالة (Obliteration)**: وهي إحدى الطرق التي يتم من خلالها تدمير النظام البيئي، وإحلال بديل له، نظام هش قلق. ومن الأمثلة عن ذلك: قطع الأشجار لاستخدامها في الوقود، والرعي الجائر... وكل ما يقود إلى تصحير الأرضي، والمنشآت العمرانية، ومقالب نفايات المناجم... وغير ذلك.

٤ - **التدجين (Domestication)**: هو عملية المواءمة الجينية للأنواع من خلال تغيير الجينات، بصورة تكفل انتقال خصائص منشودة معينة إلى الأجيال التالية من نوع النبات أو الحيوان المعدي. وتشكل الهندسة الجينية إحدى الوسائل الحديثة في ذلك.

٥ - **التنويع (Diversification)**: وهي عملية يهدف الإنسان من خلالها إلى زيادة عدد الأنواع في مكان معين، وذلك عن طريق نقل الكائنات الحية من بيئة إلى أخرى، مع ما لهذا النقل من آثار إيجابية تارة، وسلبية تارة أخرى على البيئة التي تم النقل إليها لكونها قد تلحق أضراراً بالكائنات الأصلية المجودة، وتؤدي إلى تدهورها، أو من خلال نقلها لبعض الأمراض إلى البيئة الجديدة.

٦ - **الحماية (Conservation)**: وهي عملية الهدف منها: حماية وصيانة النظام البيئي من عبث الإنسان واستخداماته غير العقلانية، وذلك بحماية الأنواع النباتية والحيوانية من التدهور والانقراض، وكذلك حماية المظهر الطبيعي، سواء كان النظام طبيعياً، أو شبه طبيعي، أو نصف طبيعي. ويتم ذلك بضبط تدخل الإنسان واستغلاله واستثماره لمكونات النظام، والإبقاء على مكونات النظام. وهذا الأسلوب هو المستخدم حالياً في المحميات، سواء كانت محميات نباتية أم حيوانية أم محميات ترويحية.

٧ - **التلوث (Pollution)**: يعد التلوث البيئي أحد أكبر مشاكل العصر الحديث، عصر الثورة الصناعية، وأكثرها تأثيراً على النظم البيئية سواء بشكل مباشر أو غير مباشر، إذ لم تسلم النظم الطبيعية من تأثيراته، لكون الملوثات تنتقل من مصادرها إلى أماكن بعيدة دون التقيد بالحدود الطبيعية أو السياسية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الباب الثاني

التلوث الجوي

(Atmospheric Pollution)

الفصل الأول: الغلاف الجوي.

الفصل الثاني: مصادر التلوث الجوي.

الفصل الثالث: أنواع الملوثات الجوية.

الفصل الرابع: العوامل المحددة لكثافة الملوثات الجوية.

الفصل الخامس: آثار الملوثات الجوية.

الفصل السادس: التلوث الإشعاعي.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

الغلاف الجوي

١ – ١ – تحديد الغلاف الجوي.

١ – ٢ – تركيب الجو.

١ – ٣ – بنية الجو الشاقولية.

١ – ٤ – التغير التاريخي في المركبات الجوية.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١ - ١ - تحديد الغلاف الجوي:

الغلاف الجوي أو الغلاف الهوائي، هو ذلك الغلاف الغ ازي ال ذي يحيط بالكرة الأرضية (يابسها ومائها) إحاطة تامة، ممتداً بعيداً عن سطحها بضع مئات، أو آلاف الكيلو مترات، لينتهي بالوسط بين الكوكبي، أو م ا يعرف بالفراغ الكوني، إذ تكاد تنعدم كثافة الهواء هناك. وإذا كان الغلاف الجوي، في ضوء ما تقدم، يمتد حتى مسافة تقارب من (١٠٠,٠٠٠كم) من سطح الأرض، إلا أن الهواء متخلخل جداً ف ي م ا بع د س وية البع د (١٠,٠٠٠كم). ولذا يمكن القول إن الحد العملي للغلاف الجوي التي تتمثل فيه الظواهر الجوية كلها التي لها تأثير مباشر أو غير مباشر على س طح الأرض، هو حد ال . (١٠٠٠كم).

ومجموع الغازات التي توجد في الجو هي ما تعرف باس م الهـ واء (Air). فالهواء ليس تعبيراً مجرداً، وإنما حقيقة مادية، نستنشقه، ونحيا به، ولا وجود لنا بدونه. وإذا كان من المتعذر علين ا الع يش ف ي س ويات ارتفاعات تزيد على (٥٠٠٠م) عن سطح البحر، فليس هـ ذا م رده إل ى تلاشي الهواء، لأنه موجود، وإنما لتدني نسبة الأوكسجين، عنصر الهـ واء الأساسي للحياة، وانخفاض كثافة الهواء بشكل عام. فالهواء ي شمل ذل ك الخليط الغازي الذي تتباين نسب مكوناته من سوية إلى أخرى من سويات الجو. فالغلاف الجوي هو ما يشار إليه أيضاً بالغلاف الهوائي، أو الغلاف الغازي. وحركة الهواء عند سطح الأرض، بصورة رياح مختلفة ال شدة،

مؤشر دالٌ على وجوده المادي. والهواء النقي، عديم اللون، والرائحة. ولذا فإذا ما استطعنا أن نميز لوناً له، أو كانت له رائحة مميزة، فم ا ه ذا إلا مؤشرٌ دالٌ على دخول غازات وأجسام غريبة علي ه، أدت إل ى تلويث ه، وتغيير خصائصه.

١ - ٢ - تركيب الجو (Composition of Atmosphere):

يتكون الغلاف الجوي من مجموعة من الغازات، المختلطة فيزيائياً مع بعضها، التي يدخل بعض منها في تكوينه بنسب ثابتة، كما في غازات، الأوكسجين، النتروجين، الأورغون، النيون، الهليوم، الهيدروجين... إل خ، وبعضها الآخر تكون نسبته في الجو متغير ومتبدلة من مكان إل ى آخ ر ومن زمن إلى زمن، كما في بخار الماء، ثاني أك سيد الكرب ون، وغ از الأوزون.

ومن أهم الغازات الجوية التي تشغل أكبر نسبة م ن حج م الهـ واء وكتلته، والتي لها تأثيرات كبيرة على الغلاف الحيوي ن ذكر النت روجين (الآزوت)، الأوكسجين، الأورغون، ثاني أكسيد الكربون، وبخ ار الم اء، التي تشغل معاً حجماً يعادل (٩٩,٩٩٧%) من حجم الهواء، يضاف إلى ما تقدم غاز الأوزون، الذي على الرغم من نسبته المتدنية في الجو، إلا أن له أهمية كبرى لفعاليته على الإشعاع الشمسي.

والجدول (٤) يبين أهم الغازات التي يتكون منها الهواء الجاف النقي، الخالي من بخار الماء ومن الشوائب، دون سوية الارتفاع (٢٥كم).

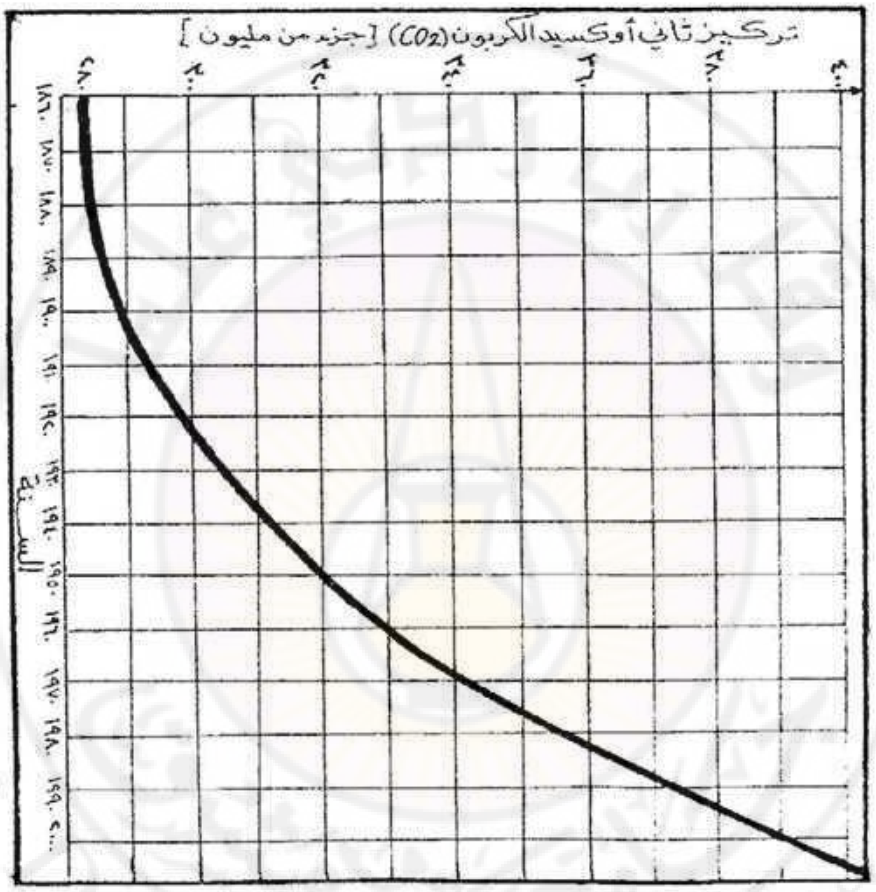
جدول (٤) أهم الغازات التي يتكون منها الهواء الجاف النقي

الغاز	الرمز	الحجم% (هواء جاف)	جزء من مليون	الوزن الذري
نيتروجين	N_2	٧٨,٨	–	٢٨,٢٠
أوكسجين	O_2	٢٠,٩٤	–	٣٢,٠
أورغون	Ar	٠,٩٣	–	٣٩,٨٨
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	٠,٣ (متغير جداً)	٤٠٠ عام (٢٠١٠)	٤٤,٠
نيون	Ne	٠,٠٠١٨	١٨	٢٠,١٨
هيليوم	He	٠,٠٠٠٥	٥,٢٤	٤,٠٠
أوزون	O_3	٠,٠٠٠٠٢	٠ – ٠,٢	٤٨,٠
هيدروجين	H	٠,٠٠٠٠٥	–	٢,٠٢
كريبتون	Kr	غاز نادر	–	–
كسينيون	Xe	غاز نادر	–	–
ميتان	Me	غاز نادر	–	–

والهواء الرطب هو الهواء الذي يدخل في تركيبه بخار الماء. وتختلف نسبة بخار الماء زمانياً ومكانياً. وتتراوح نسبته في الجو بصورة عامة بين أقل من (٠,٥% إلى ٤%) من الحجم، وأخفض نسبة منه توجد في المنطقة القطبية والمناطق الصحراوية (نحو ٠,٢%) وأكبر نسبة في أجواء المنطقة الاستوائية (نحو ٣ – ٤%). وتتركز معظم كميات بخار الماء في الأجزاء السفلى من الغلاف الجوي، حيث تكاد تكون معدومة فوق سوية ارتفاع (١٠ – ١٥كم).

وبصورة عامة، فإن دورة غاز ثاني أكسيد الكربون الطبيعي غير متوازنة، نتيجة لما يدخل الجو سنوياً من هذا الغاز من ناتج عمليات الاحتراق بفعل أنشطة الإنسان المختلفة على سطح الأرض، إذ تشير بعض القياسات إلى أن درجة تركيز هذا الغاز في الجو السفلي ارتفعت من

(٢٩٠) إلى (٣٢٠) جزءاً من مليون (١٠%) خلال الفترة من عام (١٨٧٠م) إلى (١٩٧٠م)، وبمعدل تزايد سنوي فيما بين عامي (١٩٥٨ – ١٩٧٠م) بلغ قرابة (٠,٢%)، شكل (٢٦).



الشكل (٢٦) منحنى التزايد في كمية الـ (CO_2) في الجو خلال الفترة (١٨٦٠ – ٢٠١٠م).

وفي عام (١٩٧٦م) قدر ما أطلقته عمليات الاحتراق في العالم من غاز ثاني أكسيد الكربون بنحو (٥٠٠٠) مليون طن، مما يكافئ نحو (٢,٣) جزء من مليون من مجمل كمية غاز (CO_2) في الجو، غير أن معدل التزايد السنوي لـ (CO_2) في الهواء بلغ نحو (٠,٧٧) جزءاً من مليون،

وهذا دليل على أن (١,٦) جزء من مليون (CO_2) الناتج عن الاحتراق تـ م امتصاصه في مكان ما، ولربما من قبل المحيطات والعالم الحيوي، وإذا ما استمر تزايد احتراق الوقود الأحفوري في المـ ستقبل بالمعـ دلات نفـ سها فسيترتب على ذلك أن نسبته سترتفع في عام (٢٠٢٠م) زيادة عما كانـ ت عليه في عام (١٩٧٠م) بحدود ١٣%.

والغالبية العظمى من غاز الأوزون (O_3) تتركز فيمـ ا بـ ين سـ ويتي ارتفاع (١٥ – ٦٠ كم) فوق مستوى البحر، مع تركز أعظمي له فيما بـ ين (١٥ – ٣٥كم)، بنسبة تركز مقدارها (٠,١ – ٠,٢) جزء من مليون. ويندر وجوده في الهواء القريب من سطح الأرض، كما أن نسبة وجوده قليلة جـ داً في الارتفاعات التي تزيد على (٨٠ كم)، وأهمية هـ ذا الغـ از كبيـ رة فـ ي مستويات تواجده الأساسية لأنه يعد درعاً واقياً يحمي الكائنات الحيـ ة علـ ى سطح الأرض من مخاطر الأشعة فوق البنفسجية حيث يمتص معظمها.

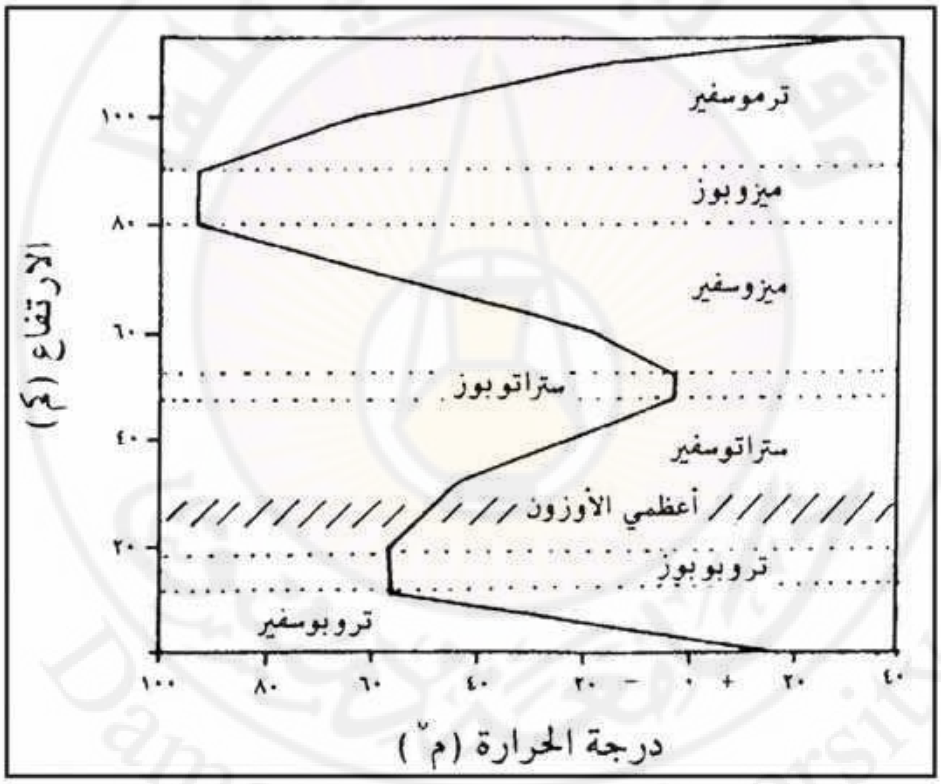
ويحتوي الجو، بالإضافة إلى ما تقـ دم، علـ ى مـ واد غريبـ ة عليـ ه (الإيرسول)، مصدرها سطح الأرض، ممثلة في الغبار، الـ دخان، الأمـ لاح، الأتربة، الرماد البركاني، ومركبات غازية مختلفة، لتشكل ملوثاته الأساسية، وغالبية هذه المواد (الشوائب) تتركز في الأجزاء السفلى من الجو، وهي تكثر في أجواء المدن والمناطق الصناعية، وتقل في أجواء الأرياف.

١ – ٣ – بنية الجو الشاقولية (Vertical Stucture of Atmospheie):

تختلف مكونات الجو شاقولياً، كما تختلف خواص الجـ و وصـ فاته العامة، وإذا كانت كتلة الجو الإجمالية تقارب ($٥,١٤ \times ١٠^{٢١}$) غرام، فإن نحو (٥٠%) منها يوجد في ستة الكيلومترات الأولى من الجو القريبة إلى سطح الأرض، بينما نجد أن (٩٩,٩%) من كتلة الجـ و تتمركـ ز فـ ي الـ

(٥٠كم) الأولى منه، ونحو (٩٩٧,٠%) منها تنحصر فيما بين سطحي ارتفاع (٥٠ – ١٠٠ كم)، وما تبقى من كتلة الجو المحدودة تنتشر فيما تبقى من الغلاف الجوي، وهذا يعني أن كثافة الهواء تقل مع الارتفاع من (١,٢كغ/م^3) عند سطح الأرض إلى (٧,٠كغ/م^3) عند ارتفاع (٥٠٠٠م).

وبصورة عامة فإن الغلاف الجوي يقسم إلى عدة طبقات رئيسية (أغلفة فرعية)، هي الآتية، شكل (٢٧).



الشكل (٢٧) طبقات الجو الرئيسة

١ – ٣ – ١ – التروبوسفير (Troposphere):

يعرف الجزء الأسفل من الجو الممتد من مستوى سطح البحر وحتى (١٢كم) وسطياً، بالتروبوسفير. وتختلف سماكة هذه الطبقة من منطقة إلى

أخرى ومن فترة إلى أخرى، فهي في المناطق والفترات الحارة أكثر سماكة من المناطق والفترات الباردة، إذ تصل سماكتها في المنطقة الاستوائية إلى (١٦ – ١٨كم) لتقل إلى نصف ذلك في المنطقة القطبية (٨كم)، وفي فصل الصيف تكون أكثر سماكة من فصل الشتاء.

وتعد هذه الطبقة هي الأكثر أهمية، لا لكونها تحتوي على (٧٥%) من كتلة الجو الإجمالية، بل لكونها تحتوي على كامل بخار الماء تقريباً، ولأن مختلف الظواهر الجوية المؤثرة على سطح الأرض تتمثل فيها. بجانب تمركز معظم الملوثات الجوية فيها (أكثر من ٩٩%)، وتسير درجة الحرارة في هذه الطبقة نحو التناقص مع تزايد الارتفاع عن سطح الأرض بمعدل وسطي يقارب من (٦,٥ °م/كم)، لتصل عند سقفها إلى نحو (-٥٥ °م).

ويفصل هذه الطبقة عن الطبقة التي تليها طبقة انتقالية تعرف باسم التروبوبوز (Tropopouse)، تشكل سقف طبقة التروبوسفير.

١ – ٣ – ٢ – الستراتوسفير (Stratosphere):

تمتد هذه الطبقة من سقف طبقة التروبوسفير، حتى ارتفاع (٥٥كم) فوق مستوى سطح البحر، وتتصف هذه الطبقة، بكونها تحتوي على معظم غاز الأوزون الجوي، الذي يبلغ أقصى كثافة له عند ارتفاع (٢٢كم). كما أن بعض الملوثات الجوية الخفيفة تستطيع أن تبلغ الأجزاء الدنيا من هذه الطبقة، كما أن الطيران النفاث الذي يطير على ارتفاعات عالية أدى إلى تلويث الأجزاء الدنيا منها بالمكونات التي تطلقها فوهات التصريف. وفي هذه الطبقة تأخذ درجة الحرارة بالتزايد مع الارتفاع لتبلغ درجة الصفر المئوي أو أكثر في مستوياتها العليا.

ويعرف سقف هذه الطبقة باسم الستراتوبوز (Stratopause)، وهو عبارة عن طبقة انتقالية تقود إلى الطبقة التالية لها (طبقة الميزوسفير).

١ - ٣ - ٣ - الميزوسفير (Mesosphere):

تمتد من سقف طبقة الستراتوسفير حتى ارتفاع (٨٠كم) تقريباً، بسماكة وسطى تبلغ نحو (٢٥كم). وتتصف هذه الطبقة بكون درجة الحرارة فيها تأخذ بالتناقص الشديد مع الارتفاع لتصل إلى نحو (-٩٠°م) عند سقفها (الميزوبوز Mesopause) الذي يقود إلى الطبقة التي تليها وهي الترموسفير.

١ - ٣ - ٤ - الترموسفير (Thermosphere):

تبلغ سماكة هذه الطبقة المعروفة بالطبقة الحرارية نحو (٤٢٠كم)، إذ إنها تمتد بين سويتي ارتفاع (٨٠ - ٥٠٠كم)، وتكون كثافة الهواء فيها شديدة الانخفاض، ويغلب على مكوناتها، غاز الأوكسجين، بشكليه الجزئي والذري، والنتروجين، في جزئه الأسفل، ليسود بالدرجة الأولى الأوكسجين الذري في جزئها الأعلى، بالإضافة إلى الهليوم. وتبدو عملية التأين (Ionization) واضحة كل الوضوح في هذه الطبقة، خاصة فيما بين سويتي ارتفاع (١٠٠ - ٣٠٠كم)، لتعرف تلك الطبقة المتشردة كهربائياً باسم الطبقة المتأينة (Ionosphere)، وتعمل الطبقة المتأينة على عكس الموجات اللاسلكية القصيرة نحو سطح الأرض. وتأخذ درجة الحرارة في طبقة الترموسفير بالتزايد مع الارتفاع، وبمعدل تزايد يقارب من (٦ °م/كم)، غير أن معدله يكون أكبر في النصف السفلي المتأين في هذه الطبقة.

١ – ٣ – ٥، ٦ – الأكسوسفير (Exosphere)، والماغنيتوسفير (Magnetosphere):

تشغل طبقة الأكسوسفير (الطبقة الخارجية) الجزء الممتد بين سويتي ارتفاع (٥٠٠ – ٧٥٠كم)، ويغلب على مكوناته ا، الأوك سجين الـ ذري، والهيدروجين، والهليوم، هذه المكونات التي تتصف بشدة تخلخلها، وسرعة حركتها، مما يمكن بعضها من الهرب نحو الفضاء الخارجي. أما الطبق ة الممغنطة (الماغنيتوسفير) فتمتد من سوية ارتفاع (٧٥٠كم) حت ى نهاي ة الغلاف الجوي، وتتزايد فيها الجزيئات المشحونة كهربائياً.

١ – ٤ – التغير التاريخي في المركبات الجوية:

لقد مرَّ الغلاف الجوي الأرضي بمراحل تطورية إلى أن بلغ وضعه الحالي منذ نحو (٥٠٠) مليون سنة مضت، ويمكن تصنيف تلك المراحـ ل في ثلاث:

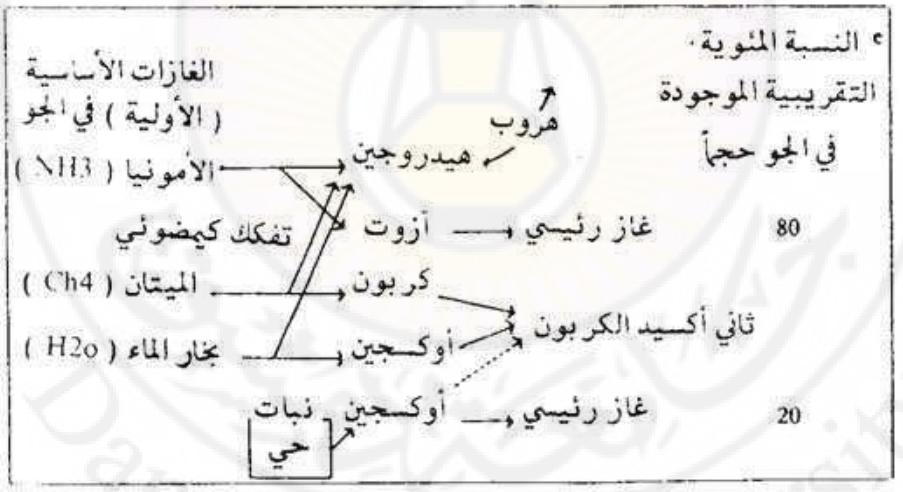
١ – **مرحلة الغازات الأولية**:الممثلة بالهيدروجين، وغاز الذ شادر (NH_3)، والميتان (CH_4)، وبخار الماء (H_2O) التي يعود وجودها إلى بداية تشكل الكوكب بهيئة كرة صلبة.

٢ – **مرحلة غاز الفحم**: وهي المرحلة التي شهدت فيها الأرض اندفاعات بركانية نشيطة وعديدة ساهمت بتزويد الجو بكميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون، ومركبات أخرى (كبريتية... وغيرها)، وبخار المـ اء. وتعود إلى فترة ما قبل الكمبري.

٣ – **مرحلة الأوكسجين**: وهي المرحلة التي ترافقت مع ظهور الحيـ اة على سطح الكرة الأرضية، حيث بدأت عملية التمثيل الضوئي تأخـ ذ دورها في إمداد الجو بالأوكسجين، إذ أخذت النباتات بامتصاص ثاني

أكسيد الكربون وتمثيله بداخلها، وتطلق عوضاً عنه الأوكسجين إلى الجو.

وقد ساهمت الأشعة فوق البنفسجية التي كانت نسبتها أكبر مما هي عليه اليوم في تفكيك المركبات الكيماوية وتحويلها إلى عناصر غازية أساسية في الجو انتظمت فيه تبعاً لثقالتها، فبخار الماء تفكك إلى أوكسجين وهيدروجين، كما تفكك النشادر إلى هيدروجين ونتروجين (آزوت)، وكذلك غاز الميتان الذي تفكك متحولاً إلى ذرة كربون وأربع ذرات هيدروجين، شكل (٢٨). ونتيجة لخفة وزن الهيدروجين فقد انتشر بعيداً في الغلاف الجوي، بينما تركزت الغازات الأثقل (النتروجين والأوكسجين) أقرب إلى سطح الأرض.



الشكل (٢٨) تشكل الغازين الرئيسيين في الجو الحالي

ويمكن القول إن الجو استقر نوعاً ما بصورته الحالية منذ عصر الكامبري منذ الزمن الجيولوجي الأول، أي منذ نحو (٥٠٠) مليون سنة مضت، وقد ساهمت التفاعلات ما بين الماء واليابس والهواء والأحياء

الحيوانية والنباتية على تحقيق التوازن ما بين مركبات الغ لاف الج وي، وإعادة تجددها. كمثال، تعمل تجوية الصخور واحت راق الوق ود وتحل ل النباتات وتنفس الحيوانات على استهلاك الأوكسجين وإطلاق ثاني أك سيد الكربون (CO_2)، بينما يدخل النتروجين ضمن دورة معق دة م ن خ لال النشاط البكتيري في التربة وأنسجة الحيوانات، والعملي ات الحيوي ة ف ي التحلل التي تعيده إلى الهواء. وهكذا، فإن النباتات والحيوانات والبكتريات والتفاعل الكيماوي في التربة والماء، تساهم جميعها في المحافظ ة عل ى توازن معقد بين اليابس والماء والأحياء والهواء.

وإذا كانت التغيرات التي انتابت المركبات الرئيسية للغلاف الج وي (النتروجين والأوكسجين) منذ العصر الكمبري لم تذكر، بدليل اس تمرارية الحياة ونشاطها وتطورها منذ تلك الفترة وحتى الآن. غي ر أن المركب ات الثانوية. (O_3، وH_2O، وCO_2... وغير ذلك) شهدت تذبذبات ملحوظة ف ي نسبها، يستدل عليها من التغيرات الكبرى التي أصابت المناخ الأرض ي، التي انتهت بعد فترة بإعادة الطبيعة لتوازن المركبات الجوية. ول م يب دأ الخلل في التوازن الطبيعي إلا منذ بداية الثورة الصناعية في أوربا (أي منذ نحو ٢٠٠ سنة مضت) الذي ازداد تعاظمه في النصف الثاني من الق رن العشرين، ومرده يعود إلى التزايد المتعاظم في كمي ة الم واد الكيميائي ة والعوالق الصلبة (الهباء الجوي) التي تنطلق إلى الج و بفع ل اس تهلاك الإنسان المتزايد باضطرار لمواد الوقود الأحف وري (الفح م والبت رول والغاز) في المجالات المختلفة (الصناعية والمنزلية والحياتية الأخ رى)، ونتيجة لقيام الإنسان باجتثاث مساحات كبيرة من الغطاء النباتي الغابي في العالم بجانب الحرائق الضخمة التي يتعرض لها الغطاء النباتي، وتلك التي

تندلع أثناء الحروب، وهذا ما ترتب عليه عجز الدورات الطبيعية لـ بعض مكونات الغلاف الجوي من إمكانية تحقيق التوازن، مما نجم عن ذلك تزايد مضطرد في نسب بعض المركبات الجوية، كما في: ثاني أكسيد الكربـ ـون (CO_2) وأكاسـ ـيد الكبريـ ـت (So_x) وأكاسـ ـيد الآزوت (NO_x) والفحـ ـوم الهيدروجينيـ ـة (الهيـ ـدروكربونات)، والمركبـ ـات الكوروفلوروكربونيـ ـة (CFC_s)، والجسيمات الصلبة (الهباء).

الفصل الثاني

مصادر التلوث الجوي

مقدمة.

٢ – ١ – مصادر التلوث الطبيعية.

٢ – ١ – ١ – البراكين.

٢ – ١ – ٢ – الغبار والأتربة المثارة.

٢ – ١ – ٣ – الحرائق الغابات والمراعي.

٢ – ١ – ٤ – حبات الطلع.

٢ – ١ – ٥ – الجراثيم.

٢ – ٢ – مصادر التلوث البشرية.

٢ – ٢ – ١ – الملوثات الناجمة عن احتراق الوقود.

٢ – ٢ – ٢ – الملوثات الناجمة عن وسائط النقل.

٢ – ٢ – ٣ – الملوثات الناجمة عن الصناعة.

٢ – ٢ – ٤ – الملوثات الناجمة عن الاستخدامات المنزلية.

٢ – ٢ – ٥ – الملوثات الناجمة عن النفايات الصلبة.

٢ – ٣ – مصادر التلوث الجوي الثانوية (الكيماضوئية).

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

مقدمة:

أدرك الإنسان منذ زمن بعيد الخطر الذي ينجم عن المـ واد الغريبـ ـة، التي تنطلق إلى الجو بسبب انفجار بركاني، أو من جراء ازدياد نسبة الغبار الناتج عن لقاح النباتات في أوقات معينة من السنة، وقد أدرك أيضاً منـ ذ أن استخدم النار، ما يتولد عنها من آثار ضارة ممثلة في الدخان الذي تطلقه وما يحمل في طياته من مواد كيميائية وغير كيميائية. ولقد أصبح موضوع تلوث الهواء مدعاة للقلق منذ بداية الثورة الصناعية وما رافقها من مواد كيميائية، وأدخنة، ومواد صلبة... إلخ، انطلقت إلى الهواء ملوثة إياه.

وقد أعطي موضوع التلوث الهوائي اهتماماً كبيراً من قبل سائر دول العالم، لأهمية الهواء في استمرارية الحياة، بخاصة إذا علمنا أن رئة كـ ل جسم بشري تستقبل يومياً نحو (١٥كغ) من الهواء الجوي، فـ ي حـ ين لا يمتص الجسم سوى (٢,٥كغ) من الماء، وأقل من (١,٥كغ) من الطعام.

وفي عام (١٩٦٧م) عرف المجلس الأوربي التلوث الجـ وي علـ ى الشكل التالي: (يتلوث الهواء عدما تتواجد فيه مادة غريبة، أو عندما يحدث تغير مهمّ في نسبة المواد المكونة له يترتب عليها حدوث نتـ ائج ضـ ارة، وتسبب مضايقات وانزعاجات). فتلوث الهواء، دليل على احتواء الهـ واء على مواد غريبة عليه، أو من مواد نفسها ولكن بنسب تزيد علـ ى الحـ د الأعظمي لوجودها، بحيث إن زيادتها هذه تصاحب بمؤثرات سـ لبية فـ ي البيئة الجغرافية.

ويمكن أن يكون التلوث الجوي محلياً لارتباطه بمناطق محددة تسببه كالمدن الكبرى والمناطق الصناعة، أو يكون عالمياً منتشراً فوق أراضي الكثير من دول العالم، كالتلوث الناجم عن الإشعاعات الذرية، أو الذي تسببه المقذوفات البركانية... إلخ.

من الممكن تصنيف المصادر الرئيسية للملوثات الجوية في مجموعتين:

١ – مصادر التلوث الطبيعية، وتتمثل في: المقذوفات البركانية، الغبار، والأتربة المثارة بفعل الرياح، الدخان الناجم عن احتراق الغابات، وحبات الطلع، والكائنات الحية الدقيقة (الميكروبات).

٢ – مصادر التلوث البشرية، وهي مصادر غير طبيعية ناجمة عن استعمالات الإنسان المختلفة الصناعية منها وغير الصناعية، بحيث يمكننا أن نصنفها في الآتي:

أ – الملوثات الناجمة عن استهلاك الوقود في إنتاج الطاقة للتسخين، ولإدارة المصانع والمعامل، والاستعمالات المنزلية المختلفة.

ب – الملوثات الناتجة عن انبعاث العوادم من وسائط النقل التي تستعمل البنزين، أو زيت الديزل، أو الكيروسين.

ج – الغازات التي تنطلق من الفضلات (المخلفات والنفايات البشرية والصناعية).

د – الغبار والحرارة من الموقع الصناعية المتعددة، متضمنة، المصانع الكيماوية، مصانع الحديد والصلب، الإسمنت، معامل الآجر، المحاجر، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية... إلخ.

هـ – الملوثات الناتجة عن الاستخدامات المنزلية.

والجدول (٥) يبين الكمية التقريبية من الملوثات المنطلقة إلى الجو سنوياً من سطح الأرض التي تعود إلى فعل الإنسان المباشر وغير المباشر، وذلك في أواخر الستينيات من هذا القرن (بملايين الأطنان).

جدول (٥) الكمية التقريبية من الملوثات البشرية المنطلقة إلى الجو سنوياً في آخر الستينيات من القرن العشرين.

مصدر التلوث	أول أوكسيد الكربون	الجسيمات	أكاسيد الكبريت	هيدروكربونات	أكاسيد الآزوت	المجموع
وسائل النقل	٦٣,٨	١,٢	٠,٨	١٦,٦	٨,١	٩٠,٥
احتراق الوقود	١,٩	٨,٩	٢٤,٤	٠,٧	١٠,٠	٤٥,٩
عمليات صناعية	٩,٧	٧,٥	٧,٣	٤,٦	٠,٢	٢٩,٣
المخلفات والنفايات الصلبة	٧,٨	١,١	٠,١	١,٦	٠,٦	١١,٢
مصادر مختلفة	١٦,٩	٩,٦	٠,٦	٨,٥	١,٧	٣٧,٣
المجموع	١٠٠,١	٢٨,٣	٣٣,٢	٣٢,٠	٢٠,٦	٢١٤,٢

Tarbuck, E. j and Lutgens F. K (Earth Science), 1976, p. 280.

٢ - ١ - مصادر التلوث الطبيعية:

تتمثل مصدر التلوث الطبيعية في الآتي:

٢ - ١ - ١ - البراكين:

تطلق الاندفاعات البركانية كميات كبيرة من الغازات والمواد الصلبة إلى الجو، بحيث يمكن للمواد الصلبة الدقيقة أن ترتفع في الجو إلى عشرات الكيلومترات، لتبلغ في ذلك طبقة الستراتوسفير، مؤثرة على تركيبها وخواصها. وقد تبقى تلك المواد بركانية المنشأ في الجو فترة طويلة من الزمن كافية للانتشار فوق معظم أنحاء الكرة الأرضية، مع ما

لهذه المقذوفات الرمادية الصلبة من تأثيرات على تركيب الجو من جهة وعلى عناصر البيئة المختلفة، وخاصة المناخ، من جهة أخرى. وتقدر كمية الرماد البركاني التي تطلقها بعض البراكين الضخمة بالآف الأطنان، كما في بركان كراكاتو عام (١٨٨٣م)، وبركان الشيسون عام (١٩٨٢م)، وغيرها.

ففي خلال اندفاع بركان كراكاتو عام (١٨٨٣م) تغلفت الأرض في نحو أسبوعين بالمواد البركانية الناعمة (الرماد البركاني)، وفي خلال (٨ - ١٢ أسبوعاً) انتشر الرماد البركاني بصورة كافية مؤدياً إلى زيادة العكارة الجوية بين خطي عرض (٣٥) شمال خط الاستواء وجنوبه. كما أن انتشار الغبار البركاني أثناء اندفاع جبل أجونج في عام (١٩٦٣م) أدى إلى الشيء نفسه، وفي كلتا الحالتين فإن الرماد البركاني انتشر في النهاية باتجاه القطبين مشكلاً مظلة كاملة فوق الأرض بكاملها. ولقد استطاعت جسيمات الكبريتات (السولفات) التي انطلقت من بركان الشيسون عند ثورته عام (١٩٨٢م) أن تنتشر حول الأرض بواسطة الشرقيات المدارية في أقل من عشرين يوماً، وفي خلال سنة شكلت ستاراً فوق الكرة الأرضية برمتها.

إن بناء الستار الغباري وانتشاره النهائي، يعتمد على كمية المادة المنطلقة أثناء الاندفاع البركاني وعلى الارتفاع الذي يبلغه الغبار البركاني المنطلق في الجو. فاندفاع بركان كراكاتوا أطلق ما لا يقل عن (٦ كم^3)، وربما أكثر من (١٨ كم^3) من الرماد البركاني في الجو. وبالمقارنة، فإن جبل سانت هيلانة عام (١٩٨٠م) أنتج نحو (٢,٧كم^3)، شكل (٢٩). ومما ذكر لا يمكن مقارنته مع حجم الرماد البركاني الذي أطلقه بركان تامبورا

الأندونيسي عند ثورته عام (١٨١٥م) مطلقاً ما مقداره نحـ و (٨٠ كـ م٣). والأكثر أهمية من حجم الفتات البركاني المنطلق هو توزعه في الجو، وما مقدار الارتفاع الذي يبلغ ه؟ وه ل بإمكان ه تجـ اوز التربوب وز إل ى الستراتوسفير؟

إن أعظم ارتفاع بلغته الفتاتات البركانية هو (٥٠كم) في أثناء ث ورة بركان كراكاتوا، وهو الارتفاع الذي بلغه أيضاً عمود الغبار المنطلق م ن بركان أجونج عام (١٩٦٣م).



الشكل (٢٩) ثورة بركان جبل سانت هيلانة في (٢٢) تموز (١٩٨٠م)

ولقد نجم عن الاندفاع العنيف لبركان بيسيميني (Bezymianny) ف ي كامشتكا عام (١٩٥٦م) أن انطلق الرماد البركاني والفتاتات الأخرى إل ى ارتفاع (٤٥ كم). غير أن جبل سانت هيلانة (ولاية واشنطن الأمريكي ة)

رغم طبيعته الانفجارية أثناء اندفاعه إلا أن مقذوفاته الغبارية فشلت أن تبلغ ارتفاعاً أكبر من (٢٠ كم) في ثورته في يوم (١٨) أيار عام (١٩٨٠م)، ولربما كان سبب ذلك أن القوة الرئيسية للانفجار كانت وجهتها أفقية أكثر من أن تكون شاقولية. والنتيجة أن جبل سانت هيلانة أطلق إلى طبقة الستراتوسفير نحو خمسة ملايين طن من الرماد البركاني، مقارنة مع عشرة ملايين طن من بركان جبل أجونج، وأكثر من (٥٠) مليون طن من بركان كراكاتو.

وبما أن ارتفاع التروبوبوز يتناقص مع تزايد العرض، لذا فإن الاندفاعات البركانية الصغرى نسبياً بإمكانها قذف موادها الغبارية إلى الستراتوسفير في العروض العليا، فاندفاع سور تيسي (Surtsey) القريب من إيسلندا قذف بمواده الغبارية في الجو مخترقة التربوبوز عند ارتفاع (١٠,٥كم). بينما نواتج الاندفاعات البركانية في المناطق الاستوائية تبقى بكاملها ضمن التروبوسفير عند هذا الارتفاع، لأن ارتفاع التروبوبوز يصل إلى نحو (١٨كم) في المنطقة الاستوائية، والرماد البركاني المنطلق إلى الستراتوسفير في العروض العليا ينتشر بعيداً عن مصدره، لكن سيبقى أكثر تركيزاً فوق منطقة المصدر. ومعظم براكين العروض المرتفعة تقع في حزام متحلق حول الدائرة القطبية الشمالية، ولا يوجد دليل على أن الغبار البركاني من تلك البراكين في ذلك الحزام قد بلغ نصف الكرة الجنوبي. وعلى العكس، فإن نواتج الاندفاعات البركانية في المناطق الاستوائية تنتشر بشكل عام لتشكل ستار غبار عالمي واسع. ونتيجة لذلك، يمكن القول: إنه إذا كانت البراكين نشطة في كلا الإقليمين السابقين، فإن العكارة الجوية ستكون أكبر في نصف الكرة الشمالي مما في نصف الكرة

الجنوبي. وهذا ما أشارت إليه الدراسات لدرجة العكارة الجوية البركانية في الفترة بين (١٩٦٣ - ١٩٧٠م).

ولاختلاف الاندفاعات البركانية بعضها عن بعض في الكثير من صفاتها مثل كمية الرماد المنطلق والامتداد الجغرافي لانتشاره ومدة بقائه في الجو، مع ما لتلك الصفات من تأثيرات مختلفة على الطقس والمناخ، فقد وضع لامب (Lamb، ١٩٧٠م) نظاماً تقديراً دعاه قرينة الحجاب (الستار) الغبارية (Dust Veil Iudex) آخذاً في الحسبان دوره في التبريد الإشعاعي وخفض الحرارة، وحجم الكمية المنطلقة وامتدادها وديمومتها. وقد أخذ في هذا المقياس (DVI) بركان كراكاتو العام (١٨٨٣م) معياراً يقاس عليه معطياً إياه قيمة (١٠٠٠)، ليأخذ اندفاع بركان أجونج قيمة قرينة (٨٠٠). بينما كانت قيمة (DVI) في بركان تامبورا عام (١٨١٥م) نحو (٤٠٠٠)، ويمكن للستارات الغبارية الفردية أن تتداخل لتنتج تأثيراً تراكمياً عند ما تكون الاندفاعات متكررة.

فاندفاع تامبورا عام (١٨١٥م)، كمثال، كان الأبرز لعدة سنوات (١٨١١ - ١٨١٨م) إذ بلغت قيمة القرينة لتلك الفترة نحو (٤٤٠٠). ولقد قدر (لامب) عام (١٩٧٢م) قيمة القرينة العالمية للفترة (١٦٩٤ - ١٦٨٩م) فوجدها بين (٣٠٠٠ - ٣٥٠٠)، وفي الفترات التي لا يتكرر فيها حدوث نشاط بركاني، فإن قيمة القرينة تكون منخفضة، كما هو الحال بين عامي (١٩٥٦ - ١٩٦٣م) عندما لم يحدث أي اندفاع يطلق بالغبار البركاني إلى الستراتوسفير.

وتقدم قيمة (DVI) مؤشراً على الاضطرابات الممكن حدوثها في الطقس والمناخ بواسطة النشاط البركاني، فالغبار البركاني في الجو يعمل

على إنقاص كمية الأشعة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض، ويكون النقص واضحاً ومهماً عند مستويات قرينة مرتفعة، وهذا يبدو واضحاً في العروض المرتفعة لعبور أشعة الشمس أطول مسافة ضمن الجو، ومن ثم تكون أكثر انتثاراً وتبدداً. والاندفاعات الكبرى التي تنتج قرينة تزيد على (١٠٠٠)، تسبب انخفاضاً في الإشعاع الشمسي المباشر بين (٢٠ - ٣٠%) لعدة شهور. ولقد أظهرت الرصدات التي تمت في أستراليا في أعقاب اندفاع بركان جبل أجونج لعام (١٩٦٣م) نقصاً أعظمياً في الإشعاع الشمسي المباشر نسبته نحو (٢٤%)، ولكن بسبب تزايد الأشعة المنتثرة، فإن صافي الإشعاع هبط فقط بنسبة (٦%). وقد سجل مرصد مونالوا في هاواي قيماً مماثلة في تلك الفترة، كما أن بركان الشيشون عمل على إنقاص صافي الإشعاع بمقدار (٢ - ٣%) عند مستوى الأرض.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن القرينة سابقة الذكر لم تأخذ في الحسبان قيمة السولفات (الكبريتات) المنبعثة من البراكين إلى الجو التي لها دور مهمّ وفعّال في التأثير على انتثار الأشعة الشمسية، وكان بركان الشيشون غنياً بها، مطلقاً كميات كبيرة منها إلى الجو.

ولقد قام العالم هيرشبيك (Hirschboeck) في عام (١٩٨٠) بدراسة تأريخية تفصيلية للاندفاعات البركانية منذ عام (٢٢٢٧ق. م) حتى عام (١٩٦٩م). كما قام (سيمكن وآخرون Simkin et al) في عام (١٩٨١م) بوضع قرينة جديدة تصنيفية للاندفاعات البركانية، أسماها قرينة الانفجار البركاني (Explosivity Index VEI=Volcanic -) مستعملاً مقياساً جيولوجياً لرتب الاندفاعات البركانية، يتكون من ثماني درجات: تشير قرينة الصفر إلى اندفاع بركاني ضئيل، وقرينة (٨) إلى اندفاع بركاني

ضخم، فاندفاع بركان جبل سانت هيلانة عام (١٩٨٠م)، كمثال، كانت رتبته من الدرجة الخامسة (٥)، بينما كانت رتبة اندفاع بركان جبل أجونج عام (١٩٦٣م) من الدرجة الرابعة (٤) فقط. ويأخذ هذا المقياس بعين الاعتبار، حجم المادة المنطلقة وكميتها، وارتفاع المواد المقذوفة، وتركيب التيفرا (Tephra)، خصوصاً كمية الكبريتات (السولفات)... إلخ.

وبصورة عامة إن نحو (٧٥%) من مجمل الاندفاعات البركانية التي حدثت منذ عام (١٦٠٠م) حتى الآن التي تزيد قرينة اندفاعها البركاني (VEI) على خمسة حدثت في نصف الكرة الأرضية الشمالي، كما هو مبين في الجدول (٦).

جدول (٦) يبين الاندفاعات البركانية الرئيسية ذات القرينة أكبر من (٥) خلال الفترة (١٦٠٠ - ١٩٨٠م)

اسم البركان		درجة العرض	تاريخ الاندفاع	(VEI) القرينة
أيو	Awn	٣,٧٦° ش	كانون الثاني ١٦٤١م	٥
أيسوا	Usu	٤٥,٥° ش	آب ١٦٦٣م	٥
ترومبا	Tarumai	٤٢,٧° ش	آب ١٦٦٧م	٥
لونغ ايسلاند	Long Island	٥,٤° ش	١٧٠٠+/ - ١٠٠	٦
ترومبا	Tarumia	٤٢,٧° ش	آب ١٧٣٩م	٥
كاتلا	Katla	٦٣,٦° ش	تشرين الأول ١٧٥٥م	٥
تامبورا	Tambora	٨,٣° ج	نيسان ١٨١٥م	٧
جالونجونج	Galunggung	٧,٣° ج	تشرين الأول ١٨٢٢م	٥
كوسيجينا	Cosiguna	١٢,٩٨° ش	حزيران ١٨٣٥م	٥
شيفليوش	Sheveluch	٥٦,٨° ش	شباط ١٨٥٤م	٥
أسكاي	Askia	٦٥,٠° ش	آذار ١٨٧٥م	٥
كراكاتوا	Krakatoa	٦,١° ج	آب ١٨٨٣م	٦

اسم البركان		درجة العرض	تاريخ الاندفاع	(VEI) القرينة
تاراويرا	Tarawera	٣٨,٢° ش	حزيران ١٨٨٦م	٥
سانتا ماريا	Santa Maria	١٤,٧٥° ش	تشرين الأول ١٩٠٢م	٦
كسوداش	Ksudach	٥١,٨° ش	آذار ١٩٠٧م	٥
كاتماي	Katmia	٥٨,٢٨° ش	حزيران ١٩١١م	٦
سيرو أذول	Cerro Azul	٣٥,٦٧° ج	نيسان ١٩٣٢م	٥
بي . . . . سيميني (كامشتكا)	Bezymianny	٥٦,٧٠° ش	آذار ١٩٥٦م	٥
سانت هيلانة	St. Helens	٤٦,٢° ش	أيار ١٩٨٠م	٥

Simkin, T, and others (Volcanoes of the world). Strudssbourg, Pennsylvania, 1981.

وتحتوي الماغما (مادة الصخر البركاني الأم) على كميات مختلفة من الغازات المنحلة التي تكون محتجزة في الصخر المنصهر الداخلي (الماغما) بالضغط المحكم، هذه الغازات التي لها دور كبير جداً في تلوث الجو. وعندما يخف الضغط على الصخر المنصهر تبدأ في الخروج، ولهذا السبب فإنه من الصعوبة تحديد كمية الغازات الموجودة أصلاً في الصخر المنصهر. ومن المعتقد أن نسبة الغازات في الماغما تتراوح بين (١ - ٥%) من الحجم الكلي لها. وعلى الرغم من انخفاض نسبة الغازات، فإن الكمية الفعلية المنطلقة منها تزيد على آلاف الأطنان يومياً. ولقد قدر أن الاندفاعات البركانية الحديثة في جزر هاوي تطلق من (١ - ٢%) من الغاز في المراحل الأولى للاندفاع، ونحو (٠,٥%) في المراحل الأخيرة، كما دلت الدراسات المخبرية أن الماغما في الأعماق يمكن أن تحوي على (٥ - ٨%) ماء عذباً.

ويعد الماء المادة الرئيسية الطيارة في الماغما، وهو يتسرب من المادة البركانية على شكل بخار ماء، كما أن ثاني أكسيد الكربون (CO_2) غاز كربوني شائع ومعرف في الاندفاعات البركانية، أيضاً غاز الآزوت، ومن السهولة ملاحظة غاز الكبريت ومركباته (كبريتيد الهدروجين، وأكاسيد الكبريت) في جو البراكين بسبب الروائح الحادة الكريهة المرافقة لها.

وبالإضافة إلى ذلك فإن كميات قليلة من غازات أخرى تنطلق من البراكين، مثل، أول أكسيد الكربون، حمض الهيدروليك والهيدروكلوريك، والنشادر (الأمونيا)، والهيدروجين، والفحوم الهيدروجينية.

ويستدل من الاندفاعات البركانية الهاوائية أن الغازات المنطلقة تتركب من نحو (٧٠%) بخار ماء، (١٥%) ثاني أكسيد الكربون، (٥%) لكل من الآزوت (النتروجين) ومركبات الكبريت، وكميات أقل من الكلورين، الهيدروجين، والآروغون.

والجدول (٧) يعطي فكرة عن التوزيع العام للمادة الغازية البركانية.

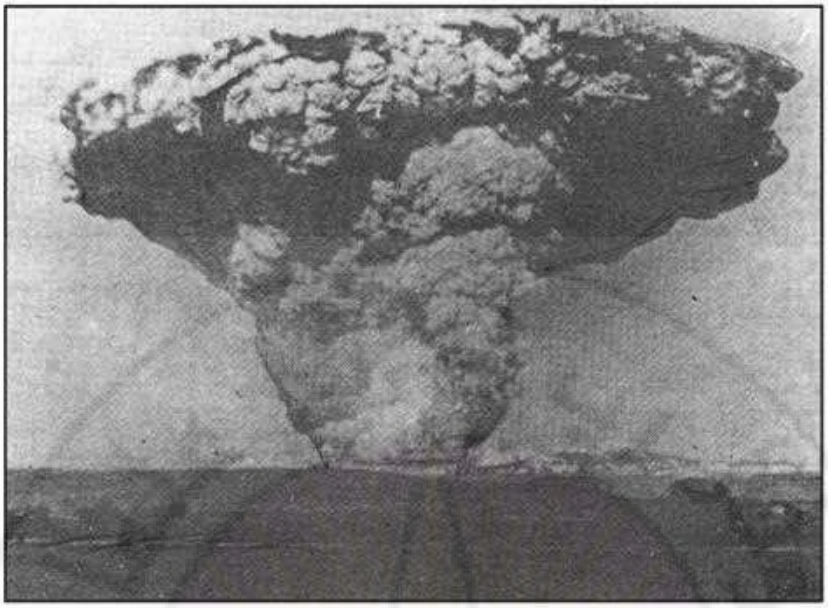
جدول (٧) التوزيع العام للمادة الغازية البركانية

الغاز		نسبته %
بخار الماء	H_2O	٧٠,٧٥
ثاني أكسيد الكربون	CO_2	١٤,٧٠
هيدروجين	H	٠,٣٣
نتروجين	N	٥,٤٥
أورغون	Ar	٠,١٨
ثاني أكسيد الكبريت	So_2	٦,٤٠
ثالث أكسيد الكبريت	So_3	٠,١٠
كلور	CL	٠,٥

وتبلغ كميات كبيرة من تلك المقذوفات الغازية، ولاسيّما (SO_2) و(N) بالغي التأثير، طبقة الستراتوسفير مؤثرة على التوازن الحراري الجوي – الأرضي، وعلى المناخ.

وبالإضافة إلى الغازات المنبعثة في أثناء الانفجار البركاني، تنطلق أيضاً كميات ضخمة من الفتاتات البركانية الصلبة، خاصة الغبار الناعم، والتي تقذف في الجو لعلو كبير يبلغ عشرات الكيلومترات، حتى يصل إلى طبقة الستراتوسفير، وتبقى فيه عدة أشهر مؤثرة بذلك على كمية الأشعة الشمسية العابرة إياها، ومن ثَمَّ على درجة حرارة سطح الأرض وجوها القريب منها. ولقد مرة سنة (١٨١٥م) دون صيف بسبب الانفجار البركاني العنيف الذي حدث في بركان تامبورا في أندونيسيا.

وكثيراً ما تبدو الغازات المنطلقة والرماد المندفع من البراكين بصورة غيوم نارية (aFiery Clouds) تعرف بالغيوم المتوهجة (Nuee Ardnete) التي تتحرك بسرعة وفق وجهة حركة الرياح السائدة بسرعة قد تصل إلى (١٦٠كم/ساعة) باتجاه انحدار المنحدر البركاني، شكل (٣٠)، ولقد اتصفت الغيوم المتوهجة التي صاحبت بركان جبل بيليه (Mt. pelee) عام (١٩٠٢م) بأنها كانت من السخونة بحيث أدت إلى صهر قطع الزجاج الذي تساقطت عليه، وخربت مدينة سان بيريه (St. Pierre جزيرة المارتينيك من جزر الإنتيل) وقتلت سكانها جميعاً البالغ (٢٨) ألف شخص باستثناء شخص واحد، وبعض الأشخاص الذين كانوا على ظهر السفن في الميناء، شكل (٣٠).



الشكل (٣٠) سحب بركانية متوهجة

كما أن البركان الذي بدأ يقذف حممه للمرة الأولى عام (١٩٤٣م شهر شباط) في المكسيك، الذي سمي باسم بركان بريكوتين (Paricutin)، مستمراً في ثورانه حتى أوائل شهر آذار عام (١٩٥٢م) ليتوقف ويهدأ، مشكلاً من جراء ذلك مخروطاً ارتفاعه نحو (٤٨٨٠م)، ومغطياً مساحة تقارب من (٢٥٠٠كم^{٢}). وقد نجم عن تدفق الحمم البركانية أن وصلت إلى مدينة سان جوان التي هرب سكانها من ألسنة الحمم والقذائف البركانية، مسببة في تدميرها واندثارها (شكل٣١).



(أ)



(ب)

الشكل (٣١) ثورة بركان بريكوتين في المكسيك (أ).
وثورة بركان بيناتوبو في الفلبين (ب)

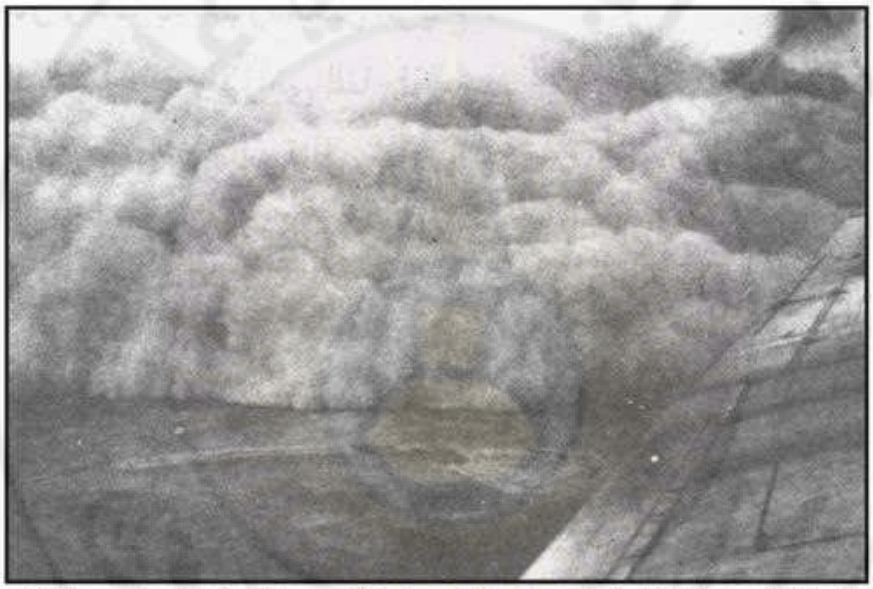
ومن الاندفاعات البركانية الشديدة، اندفاع بركان جبل بيناتوبو في جزيرة لوزون بالفلبين في (١٢) حزيران عام (١٩٩١م)، مطلقاً كميات ضخمة، نحو (١٥) مليون طن، من غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) التي وصلت إلى طبقة الستراتوسفير، الذي بتفاعله مع الماء الجوي شكل هباءة من حمض الكبريت – بصورة طبقة سديمية – ولسنتين تاليتين تمكنت الرياح الستراتوسفيرية من نشر تلك الهباءة حول الأرض مؤدية إلى عكس نسبة من الأشعة الشمسية، مما ترتب عليه انخفاض في درجات الحرارة بحدود درجة مئوية.

٢ – ١ – ٢ – الغبار والأتربة المثارة بفعل الرياح:

تشكل المناطق الجافة والأراضي القاحلة مصدر الغبار والأتربة والرمال التي تثيرها الرياح على شكل عواصف ترابية أو رمال وأتربة معلقة. ويترسب جزء من هذه الأتربة بفعل ثقالتها بعد أن تكون قد انتقلت عبر الجو القريب من سطح الأرض مسافات طويلة، حاجبة الرؤية في كثير من الحالات إلى عدة أمتار، ومعيقة رؤية قرص الشمس، مسببة آثاراً مناخية، وأخرى صحية على الأحياء بمختلف أنواعها، وبدرجات مختلفة. وليس معنى هدوء العاصفة الترابية، وترسب جزيئاتها الترابية الكبيرة، مؤشراً على نقاء الجو منها، بل يبقى الجو حافلاً بكميات ضخمة من الأتربة الدقيقة التي يزيد نصف قطرها على (١) ميكرون، والتي يستدل على وجودها، بل حتى على مصدرها، في أثناء هطول الأمطار أو الثلوج التي تكون ملوثة بها، متلونة بلونها، مترسبة بذلك على سطح الأرض.

وتكثر العواصف الترابية في مناطق الصحارى، والمناطق المجاورة لها. وفي منطقتنا العربية، تشكل الصحراء الكبرى والصحراء العربية

مصدر الأتربة المثارة والمنقولة بالرياح التي تكثر ف ي ف صلي الربي ع والصيف، وأيضاً في الخريف، حال هبوب رياح جنوبية وجنوبية ش رقية حارة وجافة (شكل٣٢). ولذا فإن تلوث جو المناطق الرطبة وشبه الرطب ة بالأتربة مرده إلى تلك الأتربة المنقولة بفعل الرياح من مناطق بعيدة، ق د يبلغ بعدها آلاف الكيلومترات، أو مثارة محلياً حيث تكون الظروف ملائمة لذلك.



الشكل (٣٢) عاصفة ترابية تبدو على شكل جدار قاتم من الأتربة والرمال بسماكة تقارب في بعض أجزائها من (٣٠٠٠م)، والصورة على بعد (١٢٠كم) جنوب شرق دمشق (عرض ٢٣,٢٤° شمال، طول ٣٦,٤٩° شرق) تاريخ (١٧) نيسان عام (١٩٥١م) الساعة (١٤).

وتدل الدراسات على أن كمية الغبار والأتربة المترسبة في القـ اهرة، مثلاً، تبلغ بحدود (١٨٧) طناً على الكيلومتر المربع الواحد في الشهر. وقد بلغت كمية الغبار والأتربة المترسبة في الكويت خلال شهر آب من عـ ام (١٩٧٨م) نحو (٢٣٩) طناً على الكيلومتر المربع الواحد، في حـ ين بلـ غ المتوسط الشهري خلال عام (١٩٧٩م) نحو (٩٠ طناً/كم٢). ولقد قدر مـ ا

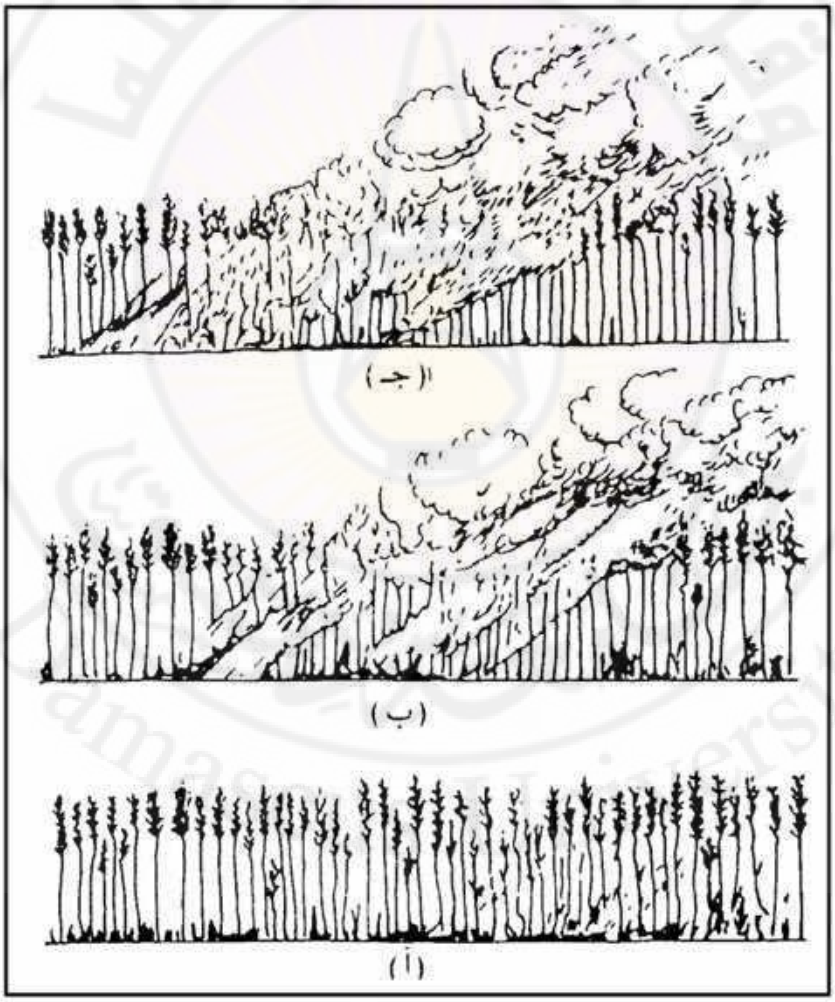
ترسب من غبار وأتربة فوق أرض الولايات المتحدة الأمريكية في عام (١٩٧٠م) بحدود (٣٠) مليون طن. وبالإضافة إلى الأتربة الدقيقة في الجو التي هي عبارة عن فتاتات الصخور السطحية للأرض، والتي قد تصل في بعض المناطق حتى سواحل البحار، كما في سواحل البحر المتوسط الجنوبية حتى الشمالية، فإن المناطق البحرية غنية بجزيئات الأملاح البحرية المتناثرة في الجو بفعل حركات الأمواج والمد والجزر، والرياح التي ترفعها للأعلى قليلاً، إذ يتركز وجود الأملاح البحرية في الأجزاء الدنيا من الطبقة الجوية الأولى (التروبوسفير).

بالإضافة إلى جزيئات الأملاح البحرية (خاصة ملح الطعام NaCl... وغيره)، فإن المناطق الساحلية تحتوي على جزيئات دقيقة الحجم من الكبريتات القابلة للانحلال في الماء خاصة الأمونيوم [$(NH_4)_2 \ So_4$] بجانب الجزيئات الأكبر حجماً من أملاح البحر. وقد قدر العلماء أن الرذاذ البحري يأتي بنحو ألفي مليون طن من الغبار الملحي إلى الهواء سنوياً، وأن التكوين الكيميائي لهذه المادة المالحة المتبقية في الهواء بعد تبخر الماء تتمثل في أملاح الصوديوم (كلور الصوديوم) والكالسيوم (كلور الكالسيوم) والماغنزيوم (كلور الماغنزيوم). كما أن النيازك تشكل مصدراً للغبار الجوي، حيث تحترق النيازك الصغيرة في الغلاف الجوي (على شكل شهب) مطلقة كميات كبيرة من الدقائق الترابية تتراوح ما بين (١٠٠٠ إلى ١٠,٠٠٠طن) يومياً.

٢ - ١ - ٣ - حرائق الغابات والمراعي:

كثيراً ما تتعرض مناطق الغابات وأراضي الحشائش في بعض أيام أشهر الصيف شديدة الحرارة والجفاف إلى حرائق تأتي على آلاف

الأشجار والشجيرات، وعلى مساحات كبيرة من أراضي الحشائش، مطلقة دخانها عالياً في الجو بشكل غيوم دخانية كثيفة، وقاتمة، شكل (٣٣). قد يصل مستواها العلوي حتى سقف الطبقة الجوية الأولى (التروبوسفير) مماثلة إلى حد ما لغيوم الحملان العادية (الركام، والركامي المزني) وإن كانت غيوم الحرائق تتميز بسرعة تطورها وبقتامة لونها، حيث تنتشر بسرعة إلى الجو المحيط، وتحمل بعيداً وبسرعة مع الرياح إلى مسافات بعيدة، ليبلغ امتدادها الأفقي أضعاف امتدادها الشاقولي.



الشكل (٣٣) مخطط لمراحل تطور الحريق الشجري، وتشكل السحب الدخانية

ومن الحرائق المشهورة، الحريق الذي شهدته غابات التايغا في سيبيريا (روسيا) في الأيام الأخيرة من شهر نيسان (١٩٨٧م) مستمرة نحو شهرين مطلقة كميات من نواتجها إلى الجو. وتقدر مساحات الغابات التي تأتي عليها الحرائق سنوياً في العالم بحدود (٣٠٥) ألف هكتار، حسب إحصاءات منظمة الأغذية والزراعة العالمية.

وبالإضافة إلى الكميات الكبيرة من بخار الماء التي تنطلق من الحرائق، والتي قد تكون كافية لتشكل غيوم ركامية حقيقية، فإنه ينتج عن الحرائق انطلاق كميات ضخمة من الغازات المختلفة التي يغلب عليها غاز ثاني أكسيد الكربون، وأول أكسيد الكربون، وأكاسيد الآزوت... إلخ. بجانب جزيئات الرماد الدقيقة التي تنطلق في الجو، والتي جميعاً تؤدي إلى تلويث ظاهر للجو.

٢ - ١ - ٤ - حبات الطلع:

في فصل الربيع، فصل إزهار معظم أنواع الأشجار، وحيث تزهر الكثير من النباتات أيضاً، تتطلب الأزهار لإخصابها وإثمارها تلقيحاً قد يكون ذاتياً، أو غير ذاتي عن طريق انتقال حبات الطلع المذكرة من أشجار أخرى، فإن أجواء المناطق الشجرية والنباتية الأخرى تكثر فيها حبيبات اللقاح (الطلع) التي تساعد على تشكل جو سديمي، يرف بعبق الشجر، وحيث تترك حبيبات اللقاح بعض الآثار الفيزيولوجية على جسم الإنسان. وقدر أنه في عام (١٩٧٠م) ترسب فوق أرض الولايات المتحدة الأمريكية نحو مليون طن من حبيبات اللقاح، في حين يقدر ما ينطلق إلى الجو والأرضي من حبيبات الطلع بضع مليارات الأطنان سنوياً يتركز معظمها في الـ (٢٠٠م) الأولى القريبة من السطح، وإن كانت بعض الحبيبات تصل

إلى ارتفاع ثلاثة كيلومترات. وتتراوح أقطار حبيبات الطلع بين (١٠ - ١٥) ميكرون، ليصل بعضها في حالات خاصة إلى نحو (١٠٠) ميكرون.

٢ - ١ - ٥ - الجراثيم:

يوجد في الهواء وبشكل دائم أعداد من أنواع البكتيريا، والعلاقة وثيقة ما بين التركيز البكتيري والكثافة السكانية، ودرجة التهوية، لكون الأماكن المغلقة ذات تركز بكتيري أكبر من الأماكن المفتوحة، لذا تكون الأماكن المغلقة المزدحمة السكان (دور السينما، المعارض، الشوارع المكتظة، المحلات التجارية، وسائط النقل العامة) ذات تلوث جرثومي واضح. وتعد أجواء المناطق الريفية أقل تلوثاً بالجراثيم من المناطق المدنية، ولاسيما الأحياء الفقيرة منها.

وكلما كانت نسبة تركز الغبار مرتفعة، والرطوبة الجوية وفيرة، كان الجو أكثر ملاءمة لوجود أعداد أكبر من الجراثيم.

٢ - ٢ - مصادر الملوثات البشرية:

تصنف مصادر الملوثات البشرية التي للإنسان الدور المباشر والرئيسي فيها، في خمس مجموعات هي التالية:

٢ - ٢ - ١ - الملوثات الناجمة عن احتراق الوقود:

ينجم عن استهلاك الوقود المتمثل في الفحم والبترول والغاز الطبيعي في المصانع والمعمل والاستخدامات المنزلية، انطلاق غازات مختلفة وجزيئات دقيقة صلبة، ومركبات كيميائية، ودخان. تعمل على تلويث الجو ملحقة آثاراً ضارة في الكائنات الحية التي تتعرض لها.

وتعد الملوثات الناتجة من احتراق الوقود، أو استهلاكه، من أكثر الملوثات انتشاراً وتأثيراً في النظام البيئي. ويستمد الوقود بصورة رئيسية

من المادة النباتية المتحجرة، ويتركب بشكل أساسي من الكربون ومركباته. وباحتراق الوقود في الهواء ينتج عنه طاقة حرارية، وغ ازات، ونفاي ات صلبة، وعندما يكون الاحتراق كاملاً، فإن الغاز الرئيسي الناتج يتمثل ف ي ثاني أكسيد الكربون (CO_2). أما في حال كون الاحتراق غير كامل ووجود أكسدة، فيكون الناتج عندئذ غاز أول أكسيد الكربون (CO)، بالإضافة إل ى الهيدروكربونات (الفحوم الهيدروجينية). فالاحتراق غي ر الكام ل للفح م الحجري (Coal) ينجم عنه دخان يتركب من جزيئات الـ شحوار (الهب اب Soot) أو الكربون، وقطرات قطرانية (مقطرنة) من الهيدروكربونات غير المحترقة، وأول أكسيد الكربون، ويحتوي الوقود المتحجر أيضاً على نحو (٠,٥ – ٤%) من الكبريت الذي يتأكسد إلى ثاني أكسيد الكبري ت (SO_2) في أثناء عملية الاحتراق.

والجدول (٨) يبين كمية الملوثات من دخان وثاني أكسيد الكبري ت الناتجة من احتراق الفحم، وغيره من أنواع الوقود، في المملك ة المتح دة خلال عام (١٩٧٥).

جدول (٨) كمية الملوثات من دخان ثاني أكسيد الكبريت الناتجة من احتراق الفحم وغيره من أنواع الوقود في المملكة المتحدة خلال عام (١٩٧٥م)

نوع الوقود	نموذج الاستعمال	الطاقة المستعملة (مليون طن)	الملوثات (م طن)	
			دخان	SO_2
فحم	منزلي	١٤,٤	٠,٤٤	٠,٢٤
	محطات طاقة كهربائية	٧٩,٩	–	٢,٠٤
	استعمالات صناعية وغيرها	١٩,٧	٠,٠٥	٠,٣٤
	أفران الكوك	٢١,٩	–	٠,١٠
	صناعة الغاز	٠,٥	–	٠,٠١

نوع الوقود	نموذج الاستعمال	الطاقة المستعملة (مليون طن)	الملوثات (م طن)	
			دخان	SO_2
الكوك والوقود غير الدخاني	منزلي	٤,٨	–	٠,٠٨
	استعمالات صناعية: وغيرها	٣,٠		٠,٠٥
بترول	منزلي	٣,٨	–	٠,٠٢
	استعمالات صناعية وتجارية	٥٧,١	–	٢,٣٧
	محطات طاقة كهربائية	١٧,٠	–	٠,٩٥
	مصافٍ (تكرير) بترولية	٣,٩	–	٠,٢٢
المجموع بما يكافئ من الوقود الإجمالي لكافة أنواع الوقود	منزلي	٢٦,٦	٠,٤٤	٠,٣٤
	صناعة، واستعمالات أخرى	١٦٥,٩	٠,٠٥	٣,٠٩
	محطات طاقة كهربائية	١١٠,٦	–	٢,٩٩

ولا تكفي كمية الوقود المستخدمة في الاستعمالات المنزلية لإلقاء صورة واضحة عن مبلغ التأثير الكبير لها في التلوث الجوي، لكون هذا القطاع لا يستعمل سوى (٨,٨%) من إجمالي الوقود المستعمل في المملكة المتحدة، لكنه يولد نحو (٨٩,٨%) من إجمالي الدخان المنبعث، ومن المعروف أن ثاني أكسيد الكربون (SO_2) ينتج عن سائر نماذج استعمالات الوقود ليشغل نحو (٢%) من وزن الفحم، (١,٧%) من الوقود غير الدخاني، و(٤,٣٥%) من البترول. أما قطاع الاستخدام المنزلي فلم يعطِ سوى (٠,٣) مليون طن من ثاني أكسيد الكبريت (٥,٣%). ذلك أن الصناعة، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية، ووسائط النقل، هي المنتج الرئيسي لهذا الملوث. بالإضافة إلى ما تقدم، فإن أكاسيد الآزوت إحدى الملوثات الأخرى الناتجة من احتراق نماذج الوقود كلها، غير أن كمياتها ليست كبيرة.

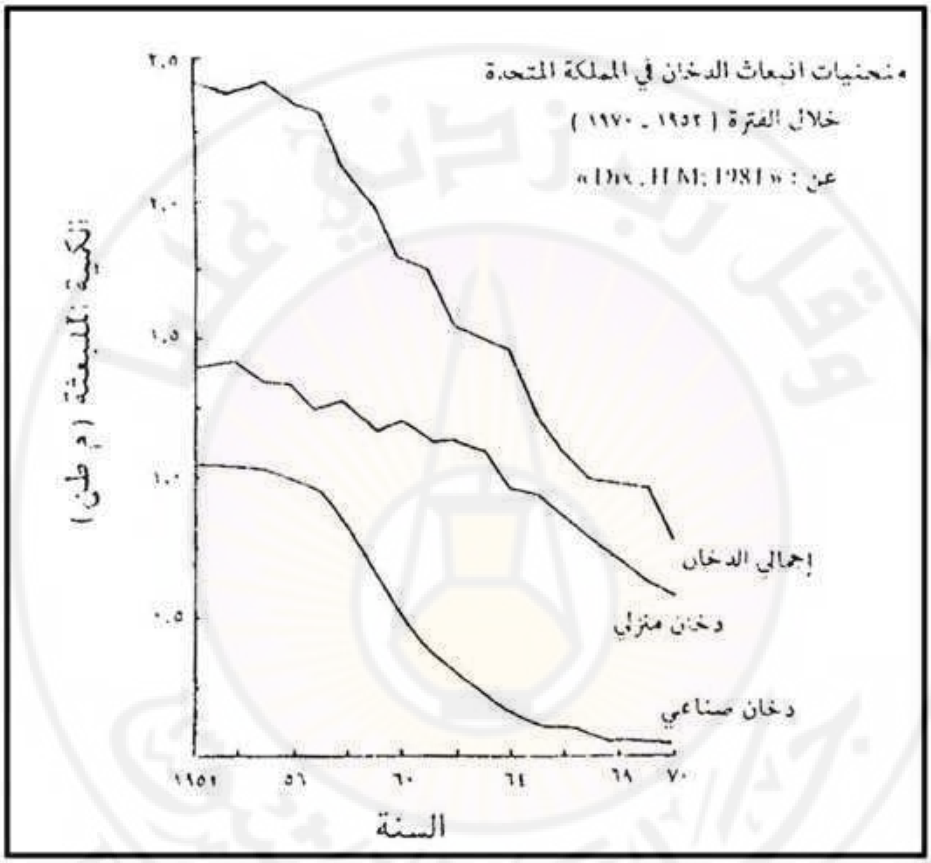
والصورة العامة لأهمية كل من الدخان وثاني أكسيد الكبريت تظهر في الشكلين (٣٤، ٣٥). فانبعاث الدخان تناقص في المملكة المتحدة بشكل ملحوظ منذ نحو عام (١٩٥٨م)، وهذا يعود إلى استخدام أجهزة للسيطرة على الدخان والحد منه للمحافظة على نظافة الهواء ونقاوته، وإلى التغير الحاصل في الوقود المستعمل، فالوقود اللادخاني أخذ يستعمل بالاستخدامات المنزلية بدلاً من الفحم، كما أن كلاً من القطاع الصناعي والمنزلي أخذ بالتحول من استعمال الفحم إلى استعمال الغاز الطبيعي والبترول، كما هو مبين في الجدول (٩).

جدول (٩) التغير في نوعية استهلاك الطاقة في المملكة المتحدة في الاستعمالات كلها خلال الفترة من عام (١٩٦٠ إلى عام ١٩٧٦)

السنة / نوع الوقود	١٩٦٠	١٩٦٥	١٩٧٦
الفحم	٢٠٢ م. طن	١٨٨ م. طن	٧٦ م. طن
غاز المدن	٢٦٣٦ م. وحدة حرارية	٣٣٣٨ م. وحدة حرارية	٤٧ م. وحدة حرارية
غاز طبيعي	–	–	٦٦١٠ م. وحدة حرارية
بترول	٣٨,٥ م. طن	٦٠,٥ م. طن	١٠٧,٥ م. طن

ففي ما بين عامي (١٩٦٠م و١٩٧٦م) انخفض استعمال الفحم في قطاعات الاستعمال كلها بمقدار (١٢٦) طناً سنوياً (نسبة٦٢%)، غير أن استهلاك الغاز ارتفع بمقدار (٤٠٢١) مليون وحدة حرارية (therms) أو بنسبة (٢٥٣%)، كما تزايد استعمال البترول بمقدار ٦٩ مليون طن (نسبة٢٧٩%). ومن ثم فإن انبعاث الدخان في المملكة المتحدة انخفض بنسبة (٦٨%)، من (٢,٤) مليون طن عام (١٩٥٥م) إلى (٠,٧٧٥) مليون

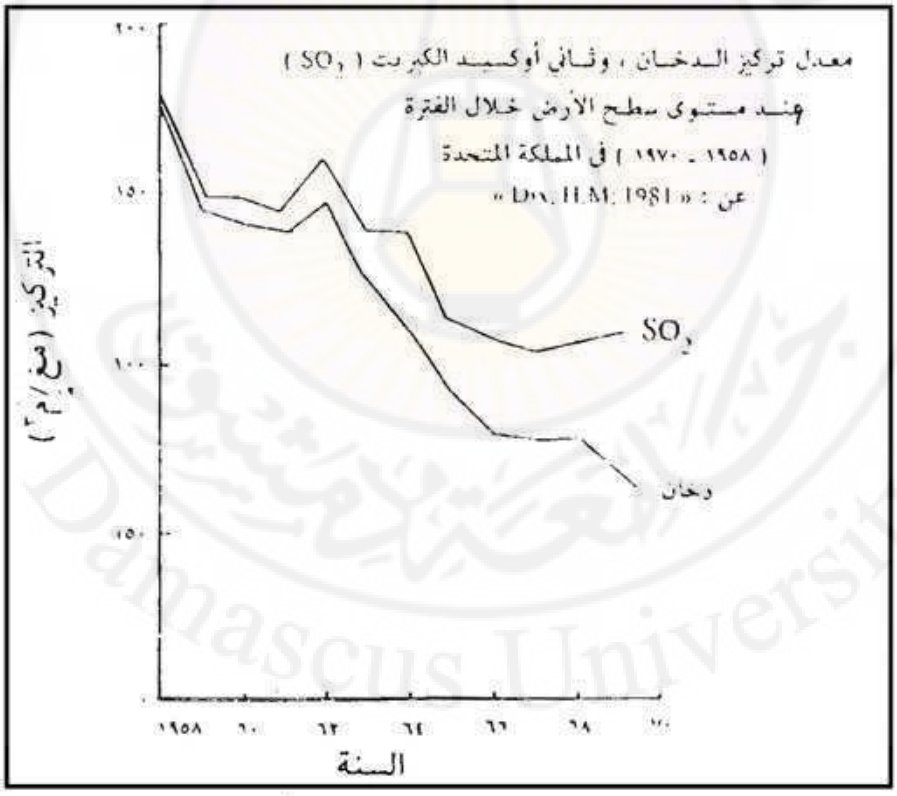
طن عام (١٩٧٠)، انظر الشكل (٣٤)، غير أنه ما زالت بعض الصناعات تستخدم الفحم، كما في محطات توليد الطاقة الكهربائية، وأفران الكوك لصناعة الحديد والصلب ومعامل الإسمنت.



الشكل (٣٤) منحنى انبعاث الدخان في المملكة المتحدة خلال الفترة (١٩٥٢ - ١٩٧٠م)

إن موقع الملوث (SO_2) تكون أقل طمأنة في الدول الصناعية كافة، بل في معظم دول العالم، ووضعه العام في المملكة المتحدة يظهر في الشكل (٣٥)، ولقد تزايدت الكمية المنطلقة من ثاني أكسيد الكبريت في المملكة المتحدة من (٥) مليون طن في عام (١٩٥٠م) إلى (٦) مليون طن تقريباً في عام (١٩٧٠م)، وبانخفاض نسبة التلوث الناجمة عن قطاع

الاستخدام المنزلي بحدود (٣٠%) خلاف فترة (٢٠سنة)، انخفضت معه درجة تركيز (SO_2) الناجمة عنه عند مستوى سطح الأرض، ومن المحتمل أن يكون مرد هذا الانخفاض يعود بمعظمه إلى تدني الاستهلاك من الفحم، وضبط الدخان (السيطرة عليه). وعلى كل حال فإن انبعاثات (SO_2) من الصناعة بقي ثابتة تقريباً، غير أن (SO_2) الصادر عن محطات توليد الطاقة الكهربائية تزايد بمقدار (٢) مليون طن سنوياً بين عامي (١٩٥٠م و١٩٧٠م)، وفي هذه الفترة تزايدت نسبة الوقود الرئيسي المستعمل في توليد الكهرباء من (٨ إلى ٢٧%)، وتضاعف استهلاك الكهرباء ليصل إلى (٢١١,٦) تريليون واط/ساعة.



الشكل (٣٥) معدل تركز الدخان و(SO_2) عند مستوى سطح الأرض خلال الفترة (١٩٥٨ - ١٩٧٠م) في المملكة المتحدة

وتطلق محطات الطاقة كميات مهمة من الملوثات إلى الهواء، إذ إنها أعطت في عام (١٩٧٠م) نحو نصف كمية ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) المنطلقة إلى الأجواء البريطانية، كما أن التلوث بثاني أكسيد الكبريت الصناعي قد تزايد، وعلى الرغم من الانخفاض في تركيز ثاني أكسيد الكبريت عند مستوى السطح، يكون التركيز الأشد منصراً في التروبوسفير الأعلى، ويعزى التركيز التربوسفيري لـ (SO_2) إلى التزايد في الإنتاج الصناعي، والتزايد في طلب الطاقة الكهربائية واستهلاكها.

وتجدر الإشارة إلى أن هذا الملوث (SO_2) وملوثات أخرى غيره، لا يتحدد تأثيره بمناطق انطلاقه، سواء في المملكة المتحدة، أم غيرها من دول العالم، بل يتعدى تأثيره حدود الدول، ليعم الكرة الأرضية، وليؤثر في ذلك على دورة الكبريت الحيوية في الطبيعة، فالكمية الكلية من الكبريت ضمن الدورة الطبيعة تقدر بحدود (١٤٢) مليون طن سنوياً، غير أن الإنسان باستخداماته للوقود في مجالات متعددة يسهم بنحو (٧٣) مليون طن من الكبريت سنوياً تدخل الجو وتلوثه.

وهكذا يمكننا أن نلخص أهم الملوثات الناجمة عن قطاع الصناعة، والاستعمال المنزلي، ومحطات الطاقة الكهربائية، بل الآتي:

أ – مركبات الكربون (CO_2,CO)، والهيدروكربونات.

ب – مركبات الكبريت، وأهما (SO_2) الذي يمكن أن يتحول إلى ثالث أكسيد الكبريت (SO_3)، والذي يتحول بدورة إلى حمض الكبريت في حال توافر رطوبة جوية.

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$
$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

ج – أكاسيد الآزوت (NO_2, NO).

د – الهباب، والدخان، والغبار.

جدول (١٠) مصادر المواد الملوثة للهواء في الولايات المتحدة لعام (١٩٦٥م)

المصدر	أول أكسيد الكربون	أكاسيد الكبريت	الهيدرو كربونات	أكاسيد الآزوت	الجسيمات	الإجمالي	النسبة
الصناعة	٢	٩	٤	٢	٦	٢٣	
محطات الطاقة الكهربائية	١	١٢	١	٣	٣	٢٠	١٧
التدفئة	٢	٣	١	١	١	٨	٦
المجموع	٥	٢٤	٦	٦	١٠	٥١	%٣٧

٢ – ٢ – ٢ – الملوثات الناجمة عن وسائط النقل:

تشكل وسائط النقل المختلفة (البرية والجوية والبحرية) المصدر الرئيسي الثاني للملوثات الجوية، وتعد وسائط النقل البرية هي الأهم في ذلك. إذ إنَّ لتلوث الهواء بمخلفات احتراق الوقود في السيارات وغيرها تأثيراً صحياً سيئاً على الإنسان وسائر الكائنات الحية، ولاسيّما أن مصدر هذا التلوث في حالة تزايد نتيجة للتزايد المستمر في أعداد السيارات وانتشارها في أنحاء العالم كلها. وتتمثل الأسباب التي تجعل من السيارات مصدراً رئيسياً لتلوث الهواء، فيما يلي:

أ – نوعية الوقود المستعمل، وزيادة نسبة الرصاص والمركبات الأوكسيجينية المضافة إليه لتحسين أداء المحرك ورفع كفايته.

ب – عدم الاحتراق الكامل للوقود داخل محركات السيارات.

ج – عدم إجراء الصيانة المستمرة لمحركات السيارات للتأكد من أداء المحرك، ومن عملية احتراق الوقود بداخله.

جدول (١١) الملوثات التي أطلقتها السيارات ونوعيتها في المملكة المتحدة عام (١٩٧٣م)

الملوث	الكمية (مليون طن)		المجموع
	محرك بنزين	محرك ديزل (مازوت)	
أول أكسيد الكربون	٨	٠,١٢	٨,١٢٠
هيدروكربونات غير محترقة	٠,٣٩	٠,٢٤	٠,٤٠٤
أكاسيد الآزوت (NO_X)	٠,٢٥	٠,٠٨	٠,٣٣٠
الألدهيدات	٠,٠١	٠,٠٣	٠,٠١٣
أكاسيد الكبريت (SO_X)	٠,٠١٦	٠,٠٣	٠,٠٤٦
الرصاص	٠,٠١	–	٠,٠١٠
المجموع	٨,٦٧٦ (٩٧,١%)	٠,٢٥٧ (٢,٩%)	٨,٩٣٣

والمعطيات الواردة في الجدول السابق مبنية على عدد وسائط النقل الذي بلغ إجمالية (١٧) مليون واسطة نقل. وتستعمل نحو (١١%) من السيارات والدراجات النارية البنزين، وكانت تستعمل (١١%) من وسائط النقل، للركاب والأمتعة، وقود الديزل (المازوت) بصورة رئيسية.

وإنه من الضروري التمييز ما بين محركات الديزل (المازوت) ومحركات البنزين، وعلى الرغم من أن كليهما لا يقوم بالتحويل الكامل للوقود إلى طاقة، إلا أن محركات الديزل أقل تلويثاً للجو من محركات البنزين. فنماذج الديزل ذات القدرة التحويلية نحو (٣٠%) تكون ذات كفاية أكثر واستعمال أقل للوقود من نماذج البنزين ذات القدرة التحويلية بين (١٥ – ٢٠%)، فالاحتراق في محركات الديزل غالباً ما يكون شبه تام نظراً لاستخدام هواء فائض عن الهواء اللازم للاحتراق، ولهذا لا تخرج عوادم

سيارات الديزل إلا نسباً ضئيلة من أول أكسيد الكربون، وكذلك أكاسيد الآزوت التي لا تتكون في محركات الديزل لانخفاض نسبة الوقود الذي يؤدي إلى انخفاض درجات الحرارة في داخل المحرك، لكون أكاسيد الآزوت لا تتكون سوى في ظروف درجات حرارة عالية.

وتشكل المواد التالية أهم ما تطلقه عوادم السيارات عند ما يكون احتراق الوقود غير كامل:

١ – مركبات هيدروكربونية غير محترقة (بارفينات، أوليفينات، عطريات).

٢ – نواتج تكسير هيدروكربونية منها: الإستيلين[(C_2H_2) CH]، والإيتيلين (C_2H_4)، والهيدروجين (H).

٣ – مركبات هيدروكربونية محترقة جزئياً، منها: الألدهيدات، الكيتونات، والحموض الكربونية.

٤ – كربون محترق جزئياً (أول أكسيد الكربون، هباب الفحم).

٥ – أكاسيد الكبريت (SO_X).

٦ – أكاسيد الآزوت (NO_X).

٧ – نواتج احتراق الإضافات المحسنة لمواصفات البنزين (أكاسيد الرصاص، ومركبات الرصاص الهالوجينية).

ويكون الاحتراق تاماً، إذا كانت نسبة الوقود إلى الهواء (٠,٠٦٦) وعندها يكون مردود المحرك أكبر ما يمكن، أما إذا زادت نسبة تركيز الوقود في محرك البنزين على النسبة الكيميائية المحددة، فسيترتب على ذلك خروج غازات مختلفة أهمها: أول أكسيد الكربون، المواد الهيدروكربونية، أكاسيد الآزوت، أكاسيد الكبريت، والرصاص.

جدول (١٢) أهم مكونات الاحتراق السامة الموجودة في غازات العادم عند استهلاك (١٠٠) ليتر من البنزين

المكونات السامة	الكمية (كغ)	المكونات السامة	الكمية (كغ)
أول أكسيد الكربون	١٨ – ٣٦	أكاسيد الكبريت	٠,٠٦ – ٠,١٢
مواد هيدروكربونية	٢,٤ – ٤,٨	حمض الكربون	حتى ٠,٠٢٤
أكاسيد الآزوت	٠,٣ – ١,٥	نشادر	حتى ٠,٠٢٤
ألدهيدات وكيتونات	حتى ٠,٠٦	مواد لا عضوية صلبة	حتى ٠,٠٠٣٦

إضافة إلى ما تقدم، فإنه يدخل ضمن مكونات غازات عوادم السيارات نسبة كبيرة من الغازات التالية: ثاني أكسيد الكربون الذي تفوق نسبته نسبة غاز أول أكسيد الكربون، الأوكسجين، وبخار الماء.

وتبدو المكونات الغازية الناجمة عن عمليات الاحتراق غير التام في محركات السيارات، من أخطر وأكبر ملوثات الهواء والبيئة المحيطة شكل (٣٦)، ويتعاظم تأثير هذه الملوثات، لما تشهده دول العالم الصناعية من تسابق في صناعة السيارات واستخدامها، ولما تفخر به دول العالم الثالث من اقتناء السيارات. وتشير الدراسات إلى أن عدد السيارات بلغ في عام (١٩٨٥م) نحو مليوني سيارة في المملكة العربية السعودية، بين ما بلغ إجمالي عدد السيارات بمختلف أنواعها وأحجامها في عام (١٩٨٣م) نحو (٢٣٦) ألف سيارة في القطر العربي السوري، يضاف إليها نحو (٤٢) ألف دراجة نارية، وقد بلغ استهلاك السيارات في سورية من الوقود البترولي عام (١٩٨٣م) نحو (٧٣٩١١٠ طناً) من البنزين، ونحو (٢,٤) مليون طن مازوت، وليتضاعف عدد السيارات في سورية عام (١٩٩٦م) إذ بلغ نحو (٤٤٦) ألف سيارة و(٨٨٤٥٣) دراجات نارية، وليتضاعف أيضاً استهلاكها من البنزين والمازوت.



الشكل (٣٦) السيارات ملوثة للبيئة

إن نماذج المحركات ذات الاحتراق غير الكامل للوقود تشكل مصدراً رئيسياً للتلوث بغاز أول أكسيد الكربون (CO)، حتى لنجد أن نسبته تعادل نحو (٩١%) من وزن جميع المنبعثات من عوادم وسائط النقل، إذ إن هذه المحركات تصدر أكثر من نصف كمية هذا الغاز الموجودة في الجو، وتتزايد نسبته في المناطق المزدحمة بالسيارات، وفي الأماكن التي يحدث عندها توقف للسيارات كما هو الحال عند تقاطع الشوارع الرئيسية ضمن المدن.

أيضاً فإن محركات الاحتراق الداخلي تنتج (٠,٠٥%) من الهيدروكربونات غير المحترقة، كما هو الحال في البارفينات، كغاز الميتان، والأوليفينات، كما في غاز الإتيلين، والإلدهيدات، كما في الإلدهيد الإتيلي ($CH_2\ CH_4$).

وبصورة عامة، فإن كمية الهيدروكربونات غير المحترقة المنطلقة من محرك ديزل، تتزايد إذا كان الاحتراق رديئاً، والمحرك غير رسليم،

حتى لنجد أن بعض السيارات تنتج دخاناً كثيفاً تقذفه إلى الجـ و بكميـ ات ملحوظة.

وخلال عملية الاحتراق في أسطوانة المحرك، يحدث تفاعـ ل بـ ين الأوكسجين الجو ي والآزوت لينتج من جراء ذلـ ك أول أكـ سيد الآزوت (NO)، وليمر هذا الغاز خارجاً من المحرك في مرحلة تفريـ غ وتبريـ د، وليتحد بعد ذلك مع أوكسجين أكثر ليتشكل من جراء ذلـ ك ثـ اني أكـ سيد الآزوت (NO_2) ورابع أكسيد الآزوت (N_2O_4). وبهـ ذه الطريقـ ة تتـ شكل مركبات أكاسيد الآزوت منطلقة إلى الجو.

$$2N_2O + O_2 \rightarrow 4NO$$
$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$
$$2N_2O_3 + O_2 \rightarrow 2N_2O_4$$

وبالإضافة إلى ما تقدم، تنتج كميات قليلة مـ ن أكاسـ يد الكبريـ ت، بخاصة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) الذي يتولد نتيجـ ة لأكـ سدة الكبريـ ت الموجود في كل من زيت الديزل والبنـ زين. وتختلـ ف نـ سبة الملوثـ ات الكبريتية، باختلاف نموذج المحرك، وسرعته، وكفايته التي تحددها صيانته المستمرة.

ويترتب على إضافة رابع إيتيل الرصاص [$Pb(C_2H_5)_4$] وألكلـ يلات الرصاص الرباعية (Leab Tetra - alkyis) الأخرى إلى البنزين التـ ي بـ دأ العمل بإضافتها منذ عام (١٩٢٣م) إلى خلق تأثير مزدوج، أحدها إيجابي، يتمثل في تحسين نسبة الأوكتان في البنزين ذي النوعية المنخفضة ليستعمل في محركات الضغط الانفجاري العالي، وليمنع الاحتراق نصف الانفجاري أو الاصطكاك (Knock) في المحرك. وخلال عمليـ ة الاحتـ راق، تتحلـ ل (تتفكك) مركبات الرصاص العضوية متولداً عنها رصاص غير عضوي،

ونحو (٦٠%) من كمية وقود الرصاص تعبر إلى الهواء ضمن الغازات العادمة (غازات التفريغ). وقدر في المملكة المتحدة، أن أكثر من (٨١٠٠ طن) من الرصاص دخلت إلى الجو من البنزين كملوث سام في عام (١٩٧٣م)، وفي عام (١٩٧٧م) قدرت الكمية بنحو (٢٥٠) ألف طن.

وتشير العديد من الدراسات، إلى أن كمية الرصاص الجوي لم تبلغ بعد الحد المسبب للأذى في معظم أجواء المملكة المتحدة. وللتخفيف من حدة تعاظم وجود الرصاص، أصدرت حكومة المملكة المتحدة عام (١٩٧٤م) أمراً يقضي بتخفيض نسبة الرصاص المسموح بها في البنزين من (٠,٦٤) غ/ل إلى (٠,٥٥) غ/ل، تلاها تخفيض مسموح به إلى (٠,٥٠) غ/ل، وحتى (٤٥) غ/ل في عام (١٩٧٨م)، كما أوصى المجلس الأوربي الاقتصادي (EEC) بخفض نسبة الرصاص حتى (٠,١٨) غ/ل كحد أدنى، وحدها الأعظمي لا يزيد على (٠,٤) غ/ل. كما أصدرت حكومة المملكة المتحدة أمراً في عام (١٩٨١م) يقضي بخفض كمية الرصاص في البنزين إلى (٠,٤) غ/ل.

والجدول (١٣) يبين عدد السيارات بمختلف أنواعها التي تعمل على البنزين والمازوت والدراجات النارية في المحافظات السورية، واستهلاكها من البنزين في عام (١٩٩٦م)، ولقد تضاعف عدد السيارات والدراجات النارية واستهلاكها من البنزين والمازوت في عام (٢٠١٠م) نحو ثلاثة أضعاف ما كان عليه في عام (١٩٩٦م).

جدول (١٣) عدد السيارات بمختلف أنواعها والدراجات النارية واستهلاكها من البنزين في سورية عام (١٩٩٦م)

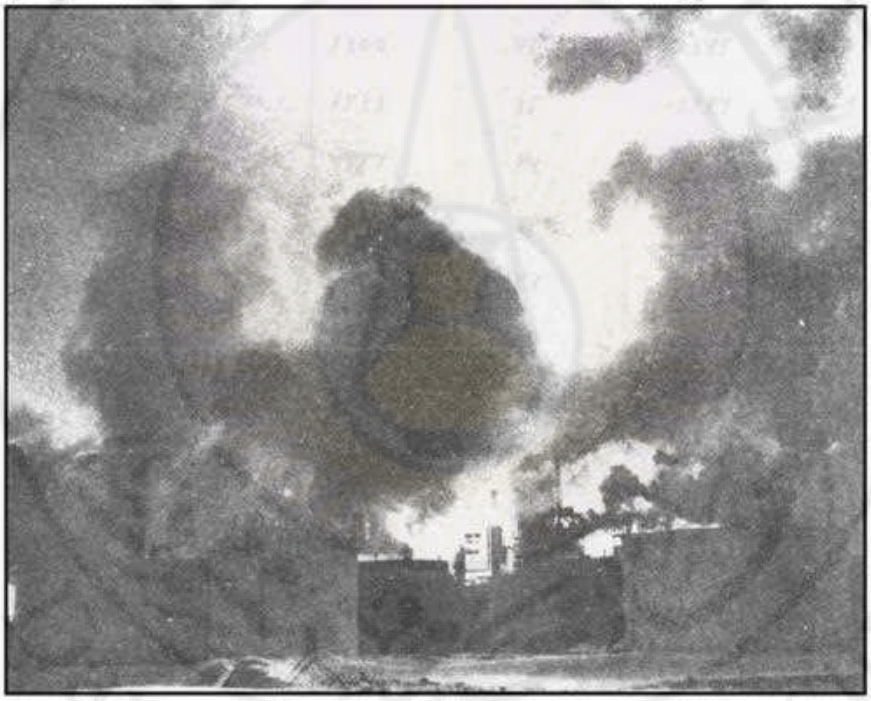
المحافظة	عدد السيارات بأنواعها المختلفة	عدد الدراجات النارية	النسبة التقريبية لسيارات البنزين (%)	استهلاك البنزين (م٣)	استهلاك المازوت (م٣)
دمشق وريفها	١٥٧٤٨٥	١٨٩٥١	٧٩	٣٧٥٤٦١	١١٩٦١٨٧
حلب	٨٣٥٩٤	١٠١٦٨	٧٨	٢٠٩٧٨٦	١١٤٦٠٠٢
حمص	٤٦٦٨٧	٨٩٤٢	٧٣	٦٣٠٢٤	٥٢٠٦٩٢
حماه	٢٦١٦٤	٨٦٣٧	٦٣	٤٩٣١٥	٤٤٣٠٥٥
اللاذقية	٢٧٧٤٦	٥٢٤٨	٨١	٥٠٤٦٤	١٧١٧٦١
طرطوس	١٧٨٠٤	٥٥٤١	٦٧	٦٧٤٨٧	١٨٦٢١٤
إدلب	١٢٨٩٣	٤٤٦١	٦٤	٢٩٩١٠	٣٤٧٢٠٢
الرقة	١٣٩١	٣٦٢٢	٧٩	٣٠٩٧٣	٢٥١٣٣٩
دير الزور	١٢٤٩٩	٣٨٦٦	٦٣	٢٨٤٥٠	٢٨٥٨٩٦
الحسكة	٢٥٣٣٨	١٠٥٨٤	٧٦	٦٤٢٦٧	٥١٣٥٨٦
درعا	١٠٠٦٦	٥٢١١	٧٥	١٩٨٧٢	١٥٥٧١٩
السويداء	٨٣٩٦	٣٠٢٢	٨٧	١٢٧٦٢	٧٧٣٨٤
القنيطرة	٢٣٨٥	٢٠٠	٦٥	١٣٦٢	١٦٤١١
المجموع	٤٤٥٧٧٠	٨٨٤٥٣	٧٣	١٠٠٣١٤٢	٥٣١١٤٤٨

المصدر: المجموعة الإحصائية السورية، ١٩٩٧م.

٢ - ٢ - ٣ - الملوثات الناجمة عن الصناعة:

يتمثل المصدر الرئيسي الثالث لتلوث الهواء في المصانع والمعامل، ومحطات توليد الطاقة الكهربائية. وبالإضافة إلى أن جميع المصانع والمعامل ومحطات توليد الطاقة التي تستخدم الفحم، الكوك، أو البترول لتوليد الحرارة والطاقة، ينتج عنها ملوثات رئيسية تتمثل في الدخان وغاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، إلا أن الملوثات الناتجة، تختلف من صناعة

إلى أخرى، فصناعة تكرير البترول تلوث الهواء بأكاسيد الكبريت والآزوت والنشادر وأول أكسيد الكربون وكبريتيد الهيدروجين (H_2S)، وتطلق صناعة الأمنيوم والأسمدة الفوسفاتية غاز فلور الهيدروجين (HF) وغيره من مركبات الفلور، وتوجد السيليكات في الهواء المحيط بمصانع الإسمنت، وتكثر أكاسيد الحديد في المناطق التي توجد فيه صناعة الحديد والصلب. والغبار وجميع أشكال الجسيمات الصلبة الأخرى الناتجة عن قطاع الصناعة في العالم تشكل عناصر تلويث مهمّة للهواء، شكل (٣٧).



الشكل (٣٧) صورة تبين تلوث الهواء الشديد الناتج عن إحدى محطات تكرير البترول الواقعة قرب بيلينج (مونتانا بكندا)

وفي المملكة المتحدة فإن نحو (٥٠,٥%) من إجمالي وزن المنبعثات من الدخان وثاني أكسيد الكبريت في عامي (١٩٦٩ - ١٩٧٠م) كان من قطاع الصناعة ومحطات توليد الطاقة. وعلى كل حال، فإن قطاع الصناعة

في العالم يحاول باستمرار الحد من نسبة ملوثات الدخان والغبار، ففيما بين عامي (١٩٥٦ – ١٩٧٣م) تناقص انبعاث الدخان الصناعي بنسبة (٩٦%) في المملكة المتحدة، على الرغم من التزايد في الاستعمال لوقود الطاقة، خاصة المواد البترولية.

إن المناطق الصناعية التي تبدو أنها تشكل مصادر رئيسية لتلوث الهواء تتضمن: مصانع الحديد والصلب، أفران الكوك، ومعامل الورق ولب الورق، محطات تكرير البترول، مصانع الكيماويات، ومعامل الإسمنت، بجانب وجود معامل ومصانع أخرى يمكنها أن تسبب تلوثاً جوياً محلياً، لكنها لا تشكل مصادر مهمّة للتلوث العام.

وبالإضافة إلى الدخان وثاني أكسيد الكبريت اللذين ينطلقان في معظم عمليات التصنيع الصناعية، فإن هناك الكثير من الملوثات الأخرى، متضمنة: غازات سمية، ومعادن ثقيلة، ومركبات عضوية معقدة لها تأثيرات مسرطنة، وجسيمات صلبة.. إلخ.

والجدول (١٤) يبين أهم الملوثات الغازية التي تطلقها الصناعات المختلفة، بجانب كميات كبيرة من الأغبرة الصناعية المنطلقة.

جدول (١٤) أهم الملوثات الغازية التي تطلقها الصناعات المختلفة

الصناعة	أهم الملوثات الغازية
محطات توليد الطاقة الحرارية.	ثاني وثالث أكسيد الكبريت، أكاسيد الآزوت.
صناعة الحديد.	ثاني أكسيد الكبريت، ثاني أكسيد الكربون، فلور، كبريت الهيدروجين، مركبات هيدركربونية.
صناعات كيميائية معدنية (أحماض وأسمدة).	ثاني أكسيد الكبريت، أكاسيد الآزوت، كلور الهيدروجين، كلور، كلور الصوديوم، كلورالهيدروجين، كبريت الهيدروجين، فلور، نشادر.

الصناعة	أهم الملوثات الغازية
صناعة بترولية.	أكاسيد الكبريت، أكاسيد الكربون، كبريت الهيدروجين، أكاسيد الآزوت، مركبات هيدروكربونية، الدهيدات وحموض عضوية، ونشادر.
صناعات بتروكيميائية.	مركبات هيدروكربونية مختلفة، بنزين، كحولات، إيترات، سيتونات، فينولات.
صناعة الخشب والورق.... وغيرها.	كبريت الهيدروجين، أكاسيد الكبريت، أكاسيد الكربون.
الصناعات الغذائية.	غازات متنوعة باختلاف الصناعة

ولقد أخذ قطاع الصناعة في معظم دور العالم بالعمل على التخفيف من نسبة الغبار المنطلق إلى الجو، بإدخال عمليات التفاعل القلوي (Alkali Act) في أكثر عمليات التصنيع.

والجدول (١٥) يبين التغير الواضح في نسبة الغبار الصناعي في عام (١٩٧٢م)، عما كان عليه في عام (١٩٥٨م) في المملكة المتحدة.

جدول (١٥) التغير الواضح في نسب الغبار الصناعي في المملكة المتحدة، خلال الفترة (١٩٥٨ - ١٩٧٢م)

الخاصية	ثاني أكسيد الكربون	الميثان	أوكسيد النتروز	الكلور والفلور والكربونات	الأوزون التروبوسفيري
مدة البقاء في الجو	(CO_2) ٥٠ - ٢٠٠ سنة	(CH_4) ٧ - ١٠ سنة	(N_2O) ١٥٠ سنة	(COC_s) ٦٥ - ٧٥ سنة للفريون ١١ (CHC. 11) و ١١٠ - ١٢٠ سنة للفريون ١٢ (CFC. 12)	(O_3) ساعات أو أيام
النسبة المئوية (%) للمساهمة في الدفيئة الجوية خلال الفترة (١٩٥٠ - ١٩٨٥م)	٥٣	١٢	٦ - ٧	٢٠	متغير نحو ٨

الخاصية	ثاني أكسيد الكربون	الميثان	أوكسيد النتروز	الكلور والفلور والكربونات	الأوزون التروبوسفيري
درجة التركيز قبل الثورة الصناعية (جزء من مليون من الحجم)	٢٧٥	٠,٧	٠,٢٢٨	صفر	٠,٠١٥
التركيز في عام ١٩٩٠ (جزء من مليون من الحجم)	٣٤٥	١,٧	٠,٣١٠	٠,٠٠٠٢٦ للفريون ١١ ٠,٠٠٠٤٤ للفريون ١٢	٠,٣٥
التركيز المتوقع في عام ٢٠٥٠م (جزء من مليون من الحجم)	٤٠٠ - ٦٠٠	٢,١ - ٤,٠	- ٠,٣٥ ٠,٤٥	٠,٠٠٠٧ - ٠,٠٣٠ للفريون ١١ ٨,٠٠٢ - ٠,٠٤ للفريون ١٢	- ٠,٠١٢ ٠,١٥٠
المعدل السنوي لزيادة درجة التركيز في الثمانينات من القرن العشرين (%)	%٠,٥	%٠,٩	%٠,٢٥	٤ - %٥	%١
التأثير التراكمي النسبي (%) للمنبعثات بفعل الإنسان عام ١٩٩٠ في الـ ١٠٠ سنة التالية	٦١	١٥	٤	١١,٥	٨,٥

المصدر: Bruce, j. 1990, p. 8.

٢ - ٢ - ٤ - الملوثات الناتجة عن الاستخدامات المنزلية:

إذا كان الإنسان مصدراً طبيعياً لتلوث الهواء، وخاصة في المدن الكبرى، بما يطلقه يومياً من هواء الزفير نحو (١٠م^3/فرد) الحاوي على نحو (٤%) من غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2) والمشبع ببخار الماء. فإن الإنسان من خلال الاستخدامات المنزلية لمواد الوقود المختلفة (فحم، مازوت، كيروسين، غاز البوتان) سواء في التدفئة، أم في تسخين المياه

للاستحمام والتدفئة، أم في أعمال الطهي... وغير ذلك، يطلق كميات كبيرة من الدخان والغازات الضارة (أكاسيد الكربون، أكسيد الكبريت.. وغير ذلك) والهباب، بجانب الحرارة المنطلقة إلى الوسط المحيط التي تسهم في منح المدن صفة الجزر الحرارية.

٢ - ٢ - ٥ - الملوثات الناتجة عن النفايات الصلبة:

تشكل مقالب النفايات الصلبة مصدراً للتلوث الجوي الكيميائي، كونها تحتوي على بقايا عضوية تسمح بنشاط الفعل البكتيري في ظروف وجود الأوكسجين (تحلل هوائي)، أو عدم وجود الأوكسجين (تحلل لا هوائي)، مما يترتب عليه انطلاق غازات مختلفة، كالنشادر (الأمونيا)، وأول وثاني أكسيد الكربون، والميتان (CH_4)، والآزوت، والهيدروجين، وكبريتيد الهيدروجين. وقدر أن الطن الواحد من النفايات الصبة يطلق نحو ١٣٠ متراً مكعباً من الغازات.

والجدول (١٦) يبين درجة تراكيز الغازات المتشكلة من مقالب النفايات المنزلية.

جدول (١٦) درجة تراكيز الغازات المتشكلة من مقالب النفايات المنزلية

الغازات	التركيز (%)	الصفات العامة
الميتان	٤٠ - ٦٠%	مشتعل، أخف من الهواء
ثاني أوكسيد الكربون	٢٠ - ٣٠%	خانق، أثقل من الهواء
أول أكسيد الكربون	تركيزات بسيطة جداً	سام
الآزوت	١٥ - ٢٥%	-
الهيدروجين	تركيزات بسيطة جداً	-
النشادر	تركيزات بسيطة جداً	روائح كريهة
كبريتيد الهيدروجين	تركيزات بسيطة جداً	روائح كريهة، وسام

الغازات	التركيز (%)	الصفات العامة
أوكسجين	حتى ٢%	-
بخار الماء	متغير	-
غازات أخرى	تركيزات بسيطة جداً	روائح

المصدر: سامح غرايبة، يحيى فرحان، ص١٦٨

كما ينتج عن عملية حرق (ترميد) النفايات الصلبة كميات كبيرة من غازات الكربون (CO_2, CO) والجسيمات الدقيقة، والهيدروكربونات، وأكاسيد الكبريت.... وغير ذلك. تقدر كمياتها بملايين الأطنان سنوياً في الولايات المتحدة الأمريكية.

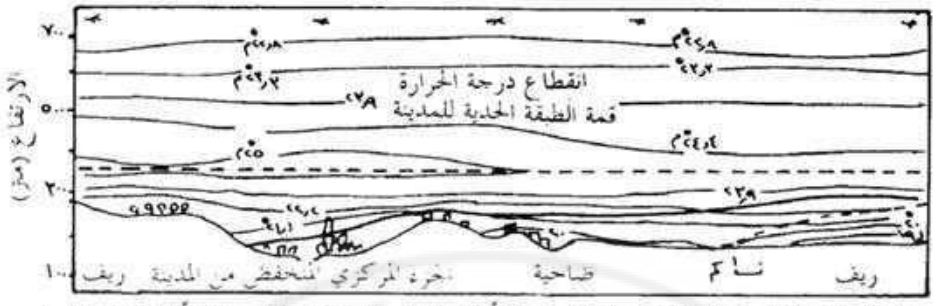
٢ - ٣ - مصادر الملوثات الجوية الثانوية:

إن الملوثات الرئيسية المنبعثة من محركات السيارات ومن احتراق الوقود في المصانع والمعامل تمر في الجو السفلي (التروبوسفير) وفي الجزء الأدنى من طبقة الستراتوسفير، بسلسلة من التفاعلات الكيميائية، متولداً عنها نواتج تفاعلات ثانوية، تعرف **بالملوثات الثانوية** (**Secondary Pollutants**)، ويستخدم في تلك التفاعلات الطاقة الشمسية فوق البنفسجية، لذا تدعى بتفاعلات التلوث الكيمضوئية، متولداً عنها ملوثات جديدة تعرف بالملوثات الكيموضوئية (الملوثات الثانوية). ولقد تم البرهان على طبيعة التغيرات الكيمضوئية في المختبرات، وهذا يعني أنها لا تمثل حقيقة ما يجري في الجو من تغيرات وتفاعلات بشكل دقيق، كما أنه لا يوجد تقديرات دقيقة لكميات الملوثات الكيمضوئية الناتجة. والجدول (١٧) يبين التفاعلات الكمضوئية والملوثات الناتجة عنها.

جدول (١٧) أهم التفاعلات الكيمضوئية الملوثات الناتجة عنها.

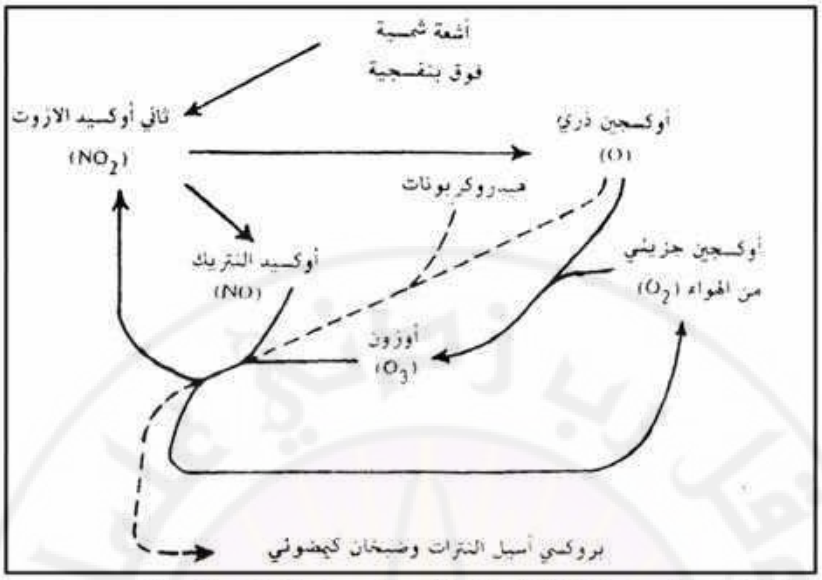
الملوث الرئيسي	التفاعل	الملوث الثاني
ثاني أكسيد الآزوت (NO_2)	(أ) فصل الأوكسجين الذري..	أول أكسيد الآزوت (NO)
	(ب) لا تغير في الأوكسيد	ثاني أكسيد الآزوت (NO_2)
الأوكسجين الجزيئي (O_2)	الفصل إلى أوكسجين ذري (O)	أوكسجين ذري (O)
هيدوكربونات والإلدهيدات	(أ) التفكك إلى جذور عضوية حرة. (ب) تفاعل الجذور مع الأوكسجين الذري (O) لتشكل جذور البيروكسيل. (ج) تفاعل جذور البيروكسيل مع (NO_2) لتعطي بيروكسيل إسيتيل النترات (PAN). (د) تفاعل جذور البيروكسيل مع (O_2) لتعطي الأوزون (O_3). (هـ) تفاعل الجذور الحرة مع الأكاسيد لتعطي ألدهيدات، الكيتونات، والبينزوبيرين، والبيروكسيبتزول	
أول أكسيد الكربون (CO)	تأكسد إلى	ثاني أكسيد الكربون (CO_2)

وتشكل الملوثات الكيمضوئية مصدراً رئيسياً للتلوث الجوي الخطر، والتي تتباين شدتها في المدن باختلاف كثافة الحرارة المرويـة والأحـوال الجوية السائدة، وفي المناطق الصناعية حسب طبيعة الصناعة، وكمية الوقود المستهلك، ودرجة التركيز الصناعي والشكل الطبوغرافي للمنطقة الصناعية، وكذلك الحلة الجوية، شكل (٣٨) يوضح المناطق الملائمة طبوغرافياً ومناخياً لتشكل الضباب والضبخان.



الشكل (٣٨) المناطق الملائمة طبوغرافياً (المناطق المنخفضة) ومناخياً لتشكل الضباب والضبخان

ويعد **الضبخان** (Smog) من أكثر الملوثات الكيميائية الجوية خطورة، الذي يتشكل بشكل عام في ظل سيادة ضغط جوي مرتفع مقترن بانقلاب حراري سطحي، مثل ما يحدث في بعض فترات الشتاء، وأحياناً في ليالي الصيف من العروض المرتفعة، في المدن الكبرى ذات الكثافة المرورية العالية، وكذلك في أجواء بعض المناطق الصناعية، التي تزداد في أجوائها نسبة أكاسيد الآزوت، وثاني أكسيد الكبريت، والهيدروكربونات، والدخان وبخار الماء، ويوجد فيها نسبة من غاز الأوزون، وهذا ما يحدث مراراً في مدينة لوس أنجلس الأمريكية، حيث يقدر ما ينطلق إلى أجوائها يومياً من أكاسيد الآزوت (NO_X) بحدود (٧٦٢ طناً) ومن المواد العضوية (الهيدروكربونات) نحو (٢٥٤ طناً) يومياً متولداً من جراء التفاعلات الكيمضوئية الضبخان الكيمضوئي المؤلف من خليط من الملوثات الرئيسية والثانية، والتي يلعب تمركز الأوزون وبيروكسي أسيل النترات (PAN) دوراً بالغ الأهمية، لمخاطرها على الصحة، ويبين الشكل (٣٩) مخططاً عاماً لآلية التفاعلات التي ينجم عنها تشكل الضبخان وبروكسي أسيل النترات وملوثات أخرى.



الشكل (٣٩) مخطط عام لآلية التفاعلات التي ينجم عنها تشكل الضبخان، وبروكسي أسيل النترات

وفيما يلي سلسلة التفاعلات الكيمضوئية المشكلة للضبخان ولبروكسي أسل النترات وغيره:

$$NO_2 \rightarrow NO+O$$
$$O_2 + O \rightarrow O_3$$
$$NO + O_3 \rightarrow NO_2+O_2$$
$$HC + O \rightarrow HCO$$
$$HCO + O_2 \rightarrow HCO_3$$
$$HCO_3 + HC \rightarrow \text{الدهيدات} + \text{كيتونات} + \ldots$$
$$HCO_3 + NO \rightarrow HCO_2+NO_2$$
$$HCO_3 + O_2 \rightarrow HCO_2+O_3$$
$$HCO_x + NO_2 \rightarrow \text{مؤكسدات عضوية آزوتية}$$
(PBN, PPN, PAN)

حيث ينتمي إلى المؤكسدات العضوية الآزوتية: بروكسي أسيل النترات، وبركسي بروبيونيل النترات Peroxypropionyl Nitrate (ppn)، وبروكسي بيوتيريل النترات Peroxydutyryl Nitrate (PBN). ويعد

البروكسي أسيل النترات أخطرها، لتتضاعف الخطورة في حـ ـال ارتفـ ـاع نسبة ثاني أكسيد الكبريت في الجو أيضاً.

ومن الظواهر المرضية المرافقة للـ ضبخان الكيمـ ضوئي، نـ ذكر: التهاب الشعب الهوائية المزمن، التهاب الرئة، تدرن في الجهاز التنفـ سي، سرطان الرئة، الربو، أمراض القلب، بجانب الحرقة في العيون بفعل تأثير الغاز الحارق (PAN)، مع ما يتسبب عن تلك الأمراض من حوادث وفيات عديدة.

ويندر أن تمر سنة دون أن تتعرض مدينة كبرى أو منطقة صـ ـناعية لجو ضبخاني. ولقد شهد العالم في المئة سنة الماضية تكرار العديـ ـد مـ ـن الأجواء الضبخانية الكارثية، التـ ـي ذهـ ـب ضـ ـحيتها آلاف الأشـ ـخاص، والجدول (١٨) يبين أهم تلك الحوادث.

جدول (١٨) يبين حوادث التلوث الهوائي الضبخاني وما رافقها من وفيات

المكان	التاريخ (الشهر والسنة)	عدد الوفيات (نسمة)
لندن (إنكلترا)	شباط ١٨٨٠م	١٠٠٠
وادي ماس (بلجيكا)	تشرين الأول ١٩٣٠م	٦٣
دونورا (بنسلفانيا الأمريكية)	تشرين الأول ١٩٤٨م	٢٠
بيكاريكا (المكسيك)	تشرين الثاني ١٩٥٠م	٢٢
لندن (إنكلترا)	كانون الأول ١٩٥٢م	٤٠٠٠
نيويورك (الولايات المتحدة)	تشرين الثاني ١٩٥٣م	٢٥٠
لندن (إنكلترا)	كانون الثاني ١٩٥٦م	١٠٠٠
لندن (إنكلترا)	كانون الأول ١٩٥٧م	٧٠٠ – ٨٠٠
لندن (إنكلترا)	كانون الأول ١٩٦٢م	٧٠٠
نيويورك (الولايات المتحدة)	كانون الثاني – شباط ١٩٦٣م	٢٠٠ – ٤٠٠
نيويورك (الولايات المتحدة)	تشرين الثاني ١٩٦٦م	١٦٨

وتعد مدينة لندن من أكثر المدن التي عانت من آثار الأجواء الضبخانية.

ويعاني كثيرٌ من المدن الأمريكية الأجواءَ الضبخانية التي تصل أحياناً إلى الحد الكارثي، كما في نيويورك، وواشنطن، وديترويت، ولوس أنجلس. وتشتهر لوس أنجلس في أيامنا الحالية بتكرار حدوث الضبخان الخفيف لعدد من الأيام في السنة يزيد على (٦٠ يوماً). وقدرت نسبة الأوزون في أجوائها بأكثر من (١٦٠) جزءاً من مليون خلال ثلاثة أيام من أربعة. كما تتعرض للضبخان مدينة طوكيو اليابانية... ومدن أخرى في العالم (باريس، بوداست، وارسو، سان باولو، مكسيكو...).

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

أنواع الملوثات الجوية

٣ - ١ - الملوثات الصلبة.

٣ - ٢ - الملوثات الغازية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تتنوع الملوثات الجوية وتختلف باختلاف مصادرها، وقل أن يوجد ملوث جوي بمفرده في الجو، إذ إن الاختلاط بين الملوثات الصفة المميزة لها، وإن كان بعضها أشد تركيزاً من غيره في مناطق معينة، نتيجة لشدة انبعاثه من المصادر المنتجة له. وهناك أجواء تخلو مناطقها الأرضية من أي إصدار للملوثات الغازية أو الصلبة، ومع ذلك توجد فيها أذواع عدة منها، نتيجة انتقاله بالحركات الهوائية من مصادرها إلى أجواء تلك المناطق، بجانب انتقاله من سوية جوية إلى أخرى.

ويمكن أن نميز في الهواء نوعين من الملوثات أحدهما نوع صلب، والثاني نوع غازي.

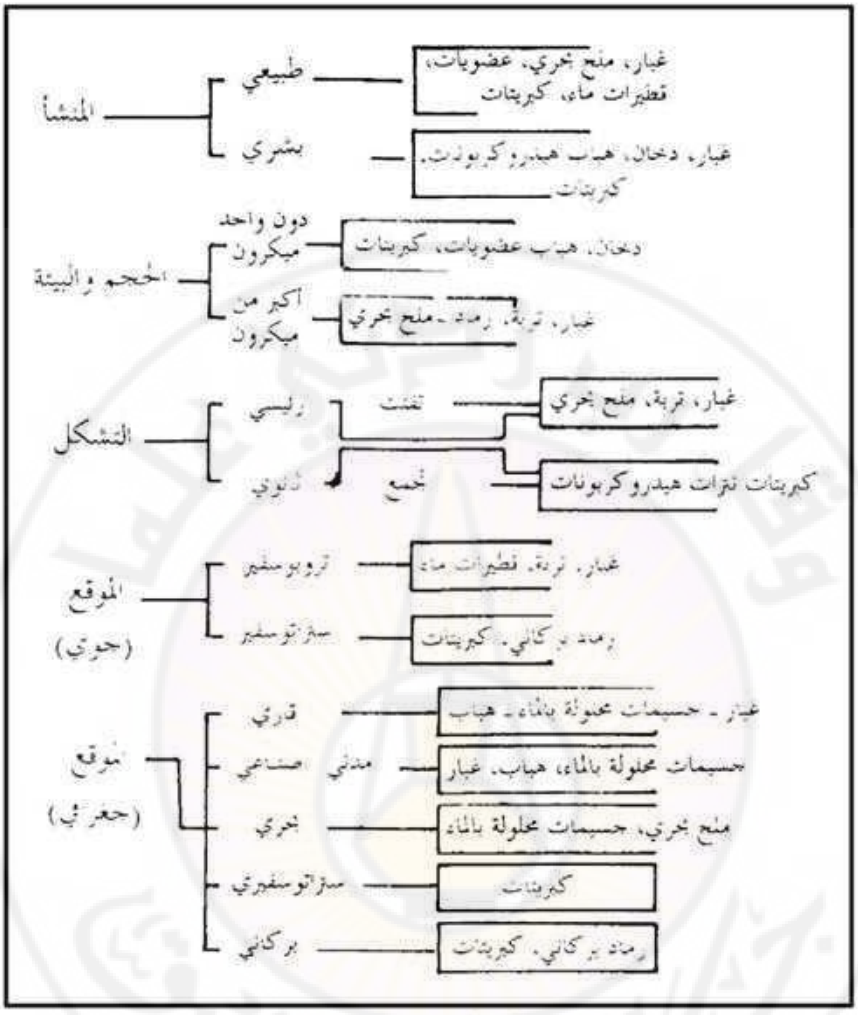
٣ - ١ - الملوثات الصلبة:

وهي ما تدعى بالملوثات الجسيمية (Pariculates Pollutants)، وهي ما شاع تسميتها بالإيروسول (Aerosols) الذي يشمل كلّ الجسيمات الصلبة، والجسيمات الكيميائية (الناتجة عن عمليات التفاعل الكيميائي) والجسيمات الحيوية (حبيبات الطلع، البكتريا، الفطريات بأنواعها وأبواغها... إلخ)، والأملاح الكيميائية البحرية، ويضاف إلى ما تقدم قطيرات الماء السائلة المنطلقة من سطح الأرض.

إن أحد أكثر الدلائل وضوحاً عن التلوث الجوي هو وجود الجسيمات الصلبة والسائلة، من خلال التعكر الجوي، ويقدر إجمالي المواد الجسيمية الصبة المنطلقة إلى الهواء سنوياً بنحو (٣×١٠^{٩} طن). وضمن الظروف

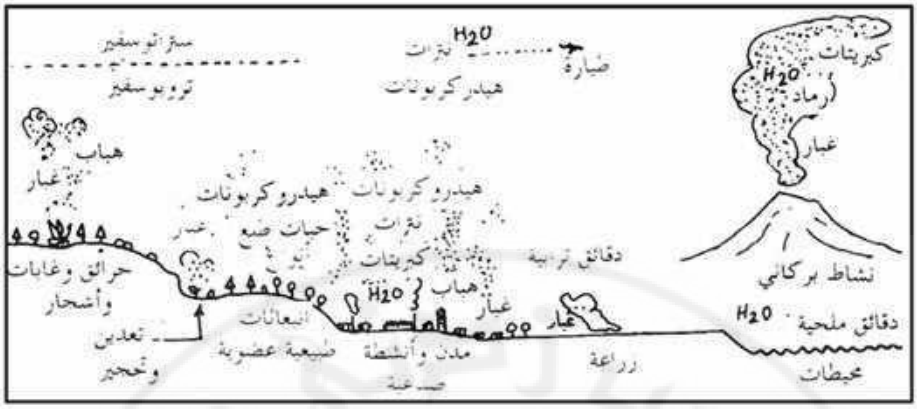
العادية، فإن معظم وزن المادة الجسيمية يتمركز بالكيلو مترين الأسفلين في الجو في المنطقة العرضانية بين (٣٠ – ٦٠ ْ شـ مالاً)، وإن مـ دة بقـ اء الإيرسول في الجو الأدنى بين (٥ – ٩ أيام)، حيث ينظف الهـ واء خـ لال بضعة أيام بعد توقف انطلاق الإيرسول، أما فترة بقائه في التروبوسـ فير العلوي فتصل إلـ ى نحـ و شـ هر لتـ صل إلـ ى (٢ – ٣) سـ نوات فـ ي الستراتوسفير. والنتيجة أن أية إضافات جسيمية إلى التروبوسفير العلـ وي أو الستراتوسفير ستدمج في الحركة الجوية العلوية، مما يساعد على بقائها لفترة طويلة مزيداً بذلك من تأثيراتها البيئية.

ويصنف الإيروسول حسب عدة طـ رق، إلا أن أكثـ ر التـ صانيف شيوعاً، هو الذي يعمد على عناصر:المنشأ (المصدر)، والحجم، والتطـ ور في الموقع الجوي والجغرافي، شكل (٤٠).



الشكل (٤٠) تصنيف الإيروسول

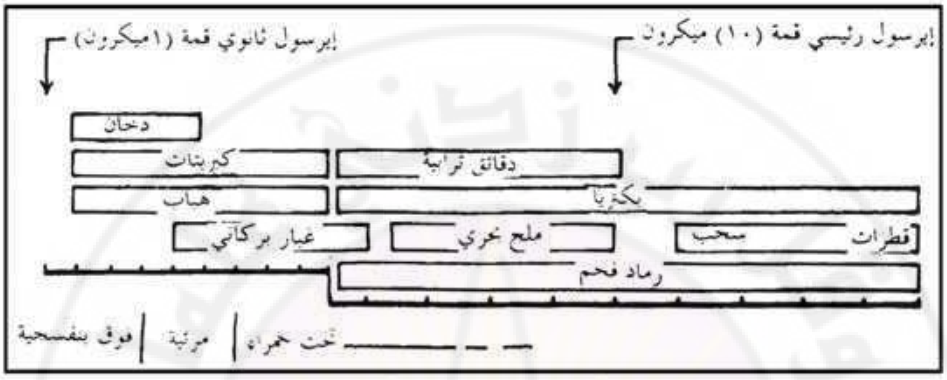
وإن أكثر من (٩٠%) من الإيروسول طبيعي المنشأ، على الرغم من سيادة الإيروسول البشري بخاصة في مناطق المدن وأجواء المناطق الصناعية، شكل (٤١). ويجب ألاّ نتجاهل أهمية الإيروسول العضوي (Organic Aeosols)، حيث تقدر كمية المنطلق منه إلى الجو سنوياً بنحو (٤,٤×١٠^٨ طن)، وهذا ما يعادل نحو (٠,١٣%) من إجمالي الملوثات الصلبة، وهو في غالبيته طبيعي المنشأ.



الشكل (٤١) مصادر ونماذج الإيروسول الجوي

ويختلف الإيروسو ل في الحجم، من جسيمات قليلة بحجم الحب ات المرئية من الغبار، ذا ت توزع غير محدد، غي ر أن الكتل ة الرئي سية للجسيمات تكون متمركزة حول قمتين، شكل (٤٢)، الأول ى، ج سيمات ذات أقطار تتراوح بين (٠,٠١) ميكرون إلى ميكرون واحد، مع أعظمي لها عند (٠,١) ميكرون، والثانية، جسيمات ذات أقطار بين (١ – ١٠٠) ميكرون، تتمركز حول (١٠) ميكرون. وتد دعى ج سيمات المجموع ة الأولى الصغيرة الحجم بالجسيمات الثانوية (الإيروسول الثانوي)، وه ي تنتج من عمليات طبيعية وكيميائية، ولها أهمية معتبرة في الجو، وتتضمن تجمعات من الجسيمات الغازية، وقطيرات الماء، والنواتج الكيميائية مثل الكبريتات (السولفات) والهيدروكربونات والنترات، ويقدر بأن أكثر م ن (٦٤%) من إجمالي الإيروسول الأرضي هو ج سيمات ثانوي ة، (٨%) منها من مصادر بشرية، وذلك من ن واتج الاحت راق ف ي ال سيارات والمصانع، وجزءٌ مما هو ناتج من عمليات التصنيع نفسها، و(٥٦%) من مصادر طبيعية (البراكين والمحيط ات ك أملاح بحري ة، والعملي ات الحيوية). وتشير بعض التقديرات إلى أن جسيمات الكبريتات ه ي الآن

أكبر مجموعة في الإيروسول الجوي حيث تقدر نسبتها بنحو (٥٠%) من الجسيمات الثانوية، ومعظم الكبريتات مصدرها بشري، وهي السبب الرئيسي في ظاهرة الأمطار الحامضية.



الشكل (٤٢) مقارنة أحجام الإيرسول مع أطوال الموجات الإشعاعية

أما الجسيمات الكبيرة ذات الأقطار بين (١ - ١٠٠) ميكرون والمعرفة بالإيروسول الرئيسي فتتضمن:الأتربة، والغبار، والمنبعثات الصناعية الصلبة الناتجة من عمليات التصنيع ذاتها، وتشغل نسبة نحو (٣٦%) من الإيروسول الأرضي، معظمها من نواتج فعل التذرية الريحية لفتات التربة المثار بفعل الرياح والعواصف الريحية.

إن الإنسان عامل معهم في تزويد الجو بالجسيمات الصلبة من خلال أنشطته المختلفة الباعثة لها، غير أن كميتها لا يمكن مقارنتها مع الكميات المنطلقة طبيعياً، فبينما تقدر كمية الإيروسول الطبيعي المنطلق إلى الجو سنوياً بنحو (٣٠٠٠) مليون طن، فإن كمية الإيروسول البشري بحدود (٣٠٠ - ٤٠٠) مليون طن (١٠ - ١٥% من إجمالي الإيروسول الجوي)، غير أن الملوثات الصلبة البشرية تتميز عموماً بنعومتها، فأكثر من (٢٢%) منها ذات أقطار أصغر من (٥) ميكرونات. والمصدر الرئيسي

للملوثات الصلبة البشرية هو النشاط الصناعي المتمركز في نصف الكـ رة الشمالي، كما تشكل حرائق الأراضي الحشائشية المدارية مـ صدراً مهمـ اً للإيروسول الثانوي.

وفي هذا السياق، لا بد لنا من الحـ ديث عـ ن أذ واع أخـ رى مـ ن **الجسيمات المعدنية المميزة الملوثة للهواء**، لما لها من آثار مهمة علـ ى الأحياء، وخاصة الإنسان، نذكر من تلك الملوثات الجسيمية:

١ - الرصاص (Lead):

يعد الرصاص من أكثر المعادن السامة انتشاراً في الهواء، وتـ شكل وسائط النقل (السيارات) أهم مـ صدر للرصـ اص الجـ وي (٩٠% مـ ن الرصاص الجوي)، لما يضاف إلى البنـ زين مـ ن تترااتيـ ل وتترامتيـ ل الرصاص، كما تقذف بعض الصناعات كميات منه. وتقدر كمية الرصاص المنطلقة من عوادم السيارات في العالم أكثر من (٧٠٠) ألف طن سنوياً.

ولم يعد التلوث بالرصاص مقتصراً على مناطق المـ دن والمراكـ ز الصناعية، بل تعدى ذلك، ليصبح الرصاص ملوثاً عالمياً، إذ عثر علمـ اء البيئة على الرصاص في مناطق متطرفة من الكرة الأرضية، كمـ ا هـ و الحال في قبعة جليد غرينلند، وبنسبة تزايد بلغة نحو (٣٠٠%) بين عامي (١٩٤٠ - ١٩٦٥م).

٢ - الزئبق (Mercury):

يعد الزئبق ملوثاً جوياً خطراً، لكونه يوجد في صورة بخـ ار زئبـ ق (جسيمات زئبقية صغيرة جداً)، وأهم مصادره الجويـ ة هـ ي: الأصـ باغ، ومصانع محطات الطاقة التي تعمل بالفحم، ومحطات تصنيع الزئبق، ولـ ه آثار تدميرية على الجهاز العصبي المركزي.

٣ - الفلور:

تنطلق جسيمات الفلور الدقيقة إلى الجو من معامل الآجر (القرميد) ومصانع الألمنيوم، والصناعات الفوسفاتية، ويمكن لتلك الجسيمات أن تترسب على أعشاب المراعي المحيطة التي تتغذى عليها الحيوانات.

٤ - البريليوم (Beryllium):

تنطلق دقائق البريليوم إلى الهواء في أثناء احتراق الفحم، ومن الصناعات التي تنتجه أو تستخدمه في صناعتها، كما في مصانع المفاعلات النووية، والطائرات والصواريخ.

٥ - الكادميوم (Cadmium):

يوجد الكادميوم كمركب طبيعي في التربة والماء بتراكيز منخفضة، وهو عادة يعدن ويستخلص من خامات الزنك، وخاصة كبيرتيد الزنك، ويستخدم صناعياً، كمادة مضادة للاحتكاك، وغير قابلة للصدأ وفي السبائك المعدنية، كما يستعمل أيضاً موصلات وأذرعاً في المفاعلات النووية، وفي صناعة البطاريات... وغير ذلك.

٦ - النيكل (Nickel):

للنيكل استخدامات متعددة، فهو يستخدم في التلبيس (التلبيس بالنيكل)، ومحفزاً ومثبتاً للألوان، وفي تلميع وصقل السيراميك، وتؤثر دقائقه على الجهاز التنفسي للعاملين بالصناعات التي تكثر من استخدام هذه المعدن ومركباته.

٧ - الزرنيخ (Arsenic):

الزرنيخ معدن واسع الانتشار، ويستعمل في السبائك المعدنية، وفي المبيدات العشبية، ومادة واقية وحافظة للأخشاب، وفي بعض

المستحضرات الطبية. وأكثر مركبات الزرنيخ خطورة في البيئة هو ثالث أكسيد الزرنيخ وثالث ميتيل الزرنيخ (Trimethyl Arsine) لسميتها الشديدة، ولخاصيته التراكمية.

ويتحدد تأثير الجسيمات الملوثة حسب حجمها وكميتها ومدة بقائها في الجو: فالجسيمات الصلبة الكبيرة ذات القطر أكبر من (٥٠ميكروناً) لها تأثير واضح على الرؤية، غير أنها سرعان ما تتبدد مترسبة على سطح الأرض، مما يجعل مخاطرها محدودة. وعلى كل حال، فإن غالبية الملوثات الناتجة من سطح الأرض تترسب قرب مصادر انطلاقها، نتيجة كبر حجمها الذي يزيد على (١٠ميكرونات)، ولهذا، نجد أن محاجر الرمال والغضار ومعامل الإسمنت والآجر، غالباً ما تحدث تراكمات موادها الصلبة كبيرة الحجم حولها. أما الجسيمات التي يتراوح حجمها بين (٥٠ -٠,٠١ ميكرون) فإنها أكثر أهمية في تلوث الهواء، وهي عادة لا تكون مرئية بشكل واضح، وتستطيع البقاء في الجو لفترات طويلة من الزمن، كما أنها تعاني تفاعلات كيميائية ينجم عنها ملوثات ثانوية. في حين تقوم الجسيمات التي قطرها ما دون (١٠ ميكرونات) بدور نويات تكاثف بخار الماء مكونة بذلك السحب. غير أن هذه الجسيمات صغيرة الحجم يمكن أن تخضع لعملية غسل من الهواء في أثناء هطول الأمطار خلال قرابة سبعة أيام من انطلاقها، أما الجسيمات الغازية والصلبة الأدق، فمن الممكن أن تبقى معلقة في الجو لعدة أيام، أسابيع، أشهر، أو حتى لسنوات. ففي التروبوسفير السفلي، كمثال، تبقى من (٦ - ١٤) يوماً، وفي التروبوسفير العلوي من (٢ - ٣) أسابيع، لتصل مدة بقائها في الستراتوسفير السفلي إلى ستة أشهر،

ولتتراوح بين (١ – ٣) سنوات في الستراتوسفير العلوي، وبين (٥ – ١٠) سنوات في طبقة الميزوسفير، شكل (٤٣).



الشكل (٤٣) متوسط مدة بقاء الجسيمات (الجزيئات) في الأجزاء المختلفة من الجو

وفي عصرنا الحالي، فإن التلوث الجوي يكون كبيراً في طبقة التروبوسفير، والجزء الأدنى من طبقة الستراتوسفير، مع تمركز أعظمي للجسيمات الدقيقة (ذات القطر ٠,١ – ١ ميكرون) عند سوية ارتفاع نحو (١٨كم)، ومن الممكن تقسيم الجو إلى أربع طبقات حسب سلوك الملوثات وتمركزها: **الطبقة الأولى** هي الأقرب إلى سطح الأرض بسماكة لا تزيد على (١٠٠م)، وهي الأكثر تلويثاً، خاصة في مناطق المدن والمراكز الصناعية، وتتعرض بعض الملوثات في هذه الطبقة للامتصاص من قبل النباتات،

والأبنية، والسطوح المائية، حيث يقدر أن نحو (٣٣%) من ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) في هذه الطبقة يزال بالامتصاص. **وتمتد الطبقة الثانية** من (١٠٠م)، حتى مستوى قاعدة السحب عند ارتفاع يتراوح بين (٥٠٠ - ٢٠٠٠م) في التروبوسفير، وفيها تصبح الملوثات ممتزجة جيداً بواسطة تيارات الهواء المضطرب، ونسبة كبرى من ملوثات هذه الطبقة تغسل منها بواسطة الرذاذ، والأمطار، والضباب. **أما الطبقة الثالثة** التي تحتوي على معظم بخار الماء الجوي والسحب، فتمتد حتى سقف طبقة التروبوسفير، ويمكن لبعض الملوثات في هذه الطبقة أن تذوب أو تصبح نويات في قطيرات ماء السحب، وبعد، ذلك، فإنها إما أن تزال خلال هطول الأمطار، أول تنطلق مرة أخرى إلى الجو عندما تتبخر مكونات السحابة. وتبقى الجزيئات دقيقة الحجم معلقة في الهواء، لتعاني تغيرات كيمضوئية بفعل تأثير الأشعة فوق البنفسجية، كما تتحرك الجزيئات نحو الأعلى بواسطة تيارات الهواء الصاعدة، لتنقلها إلى الجزء الأدنى من طبقة الستراتوسفير، كما تنتقل أفقياً مسافات مختلفة تحددها الظروف المناخية السائدة، وهناك أمثلة معروفة جيداً لانتقال الغبار وثاني أكسيد الكبريت بين أوربا وإفريقيا وإسكندنافيا. **أما الطبقة الجوية الأخيرة** (الرابعة) الملوثة، فهي طبقة الستراتوسفير الدنيا، وتحتوي هذه الطبقة على نسبة محدودة جداً من بخار الماء والسحب القليلة، كما أن نسبة الجزيئات الملوثة فيها محدودة. ومن المعروف أن الغبار الذي تحتوي عليه هو نتاج الانطلاق المباشر نحو الأعلى لبعض المواد الدقيقة خلال الاندفاعات البركانية، وبعض منه من نتاج الانفجارات النووية الجوية والأرضية، بالإضافة إلى احتوائها على نواتج التفاعلات الكيضوئية التي تتضمن ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) والميتان.

٣ - ٢ - الملوثات الغازية:

تتمثل أهم الملوثات الغازية الملوثة للهواء، في الآتي:

١ - غاز أول أكسيد الكربون (CO):

غاز عديم اللون والرائحة والطعم، أخف قليلاً من الهواء، درجة انحلاله في الماء قليلة جداً، يمكنه أن يحترق، لكنه لا يساعد على الاحتراق. وينتج هذا الغاز من عمليات الاحتراق غير الكاملة للوقود المتحجر في السيارات وغيرها، وتكرير البترول، وعمليات تصنيع لب الخشب، ومصانع الحديد والصلب، وحرائق الغابات وغيرها، والقليل منه ينتج من العمليات الحيوية الطبيعية. والمعدل العام لتركيز هذا الغاز في الجو الأرضي بحدود (٠,١ - ٠,٢) جزء من مليون، وتقدر زيادته السنوية في الغلاف الجوي بنحو (٠,٠٣) جزء من مليون.

وتعد السيارات من أهم مصادر هذا الغاز، حيث تشكل نسبته نحو (١١%) من الغازات المنطلقة من عوادم السيارات، وأكبر نسبة منه تنطلق في الدقائق الأولى من تشغيل المحرك قبل إحمائه، ولذا تزداد نسبة هذا الغاز في أجواء المدن لتزيد على (٥٠) جزءاً من مليون، وتكون زيادته كبيرة في أماكن الاكتظاظ المروري لوسائط النقل، إذ يمكن أن ترتفع النسبة لتتجاوز (٢٠٠) جزء من مليون، ولتصل في بعض الأماكن من المدن إلى نحو (٤٠٠) جزء من مليون. ويقدر إجمالي المنطلق من هذا الغاز إلى الجو سنوياً بنحو (٣٠٠) مليون طن.

٢ - غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2):

أحد الغازات الداخلة في تركيب الهواء، ولكن بنسبة ضئيلة (٠,٠٣% من الحجم) لا تشكل خطراً بيئياً. ولكن الاستهلاك المتزايد للطاقة من

بترول وفحم وغاز طبيعي، أدى إلى تزايد بشكل مضطرد في نسبته بالجو، كما أن اجتثاث الغابات كان عاملاً في تزايد هذا الغاز في الجو.

وتتمثل أهم المصادر الحالية لغاز ثاني أكسيد الكربون، في الآتي:

أ – البراكين والينابيع الحارة.

ب – تتحلل المواد الحيوية بعد انتهاء مراحلها الحياتية، وذلك بفعل عملية تفسخ وتحلل فضلات وأجساد الكائنات الحية الذي اختزن منها بصورة مركبات عضوية.

ج – تنفس الأحياء، ففي أثناء عملية التنفس التي تجري في الكائنات الحية ينطلق (CO_2) مباشرة إلى الجو.

د – حرائق الغابات ومشاكله.

هـ – احتراق الوقود في المصانع والمنازل ووسائط النقل.. وغير ذلك، وخاصة احتراق الفحم.

و – تحول أول أكسيد الكربون (CO) في الجو إلى ثاني أكسيد الكربون (CO_2). بجانب أكسدة بعض المركبات الكربونية الأخرى في الجو وتحولها إلى (CO_2).

وتقدر كمية ثاني أكسيد الكربون المتمثلة في الطبيعة بعشرات ألوف بلايين الأطنان، موزعاً هذا المخزون في العالم وفق الآتي:

(٥٦٠) بليون طن في نباتات العالم.

(١٥٠٠) مليون طن في ترب العالم.

(٧٣٥) بليون طن في الجو.

(٣٦) ألف بلين طن في المحيطات.

(٥٠٠٠ – ١٠,٠٠٠) بليون طن في الوقود المتحجر (الأحفوري).

٣ - ثاني أكسيد الكبريت (SO_2):

غاز ثاني أكسيد الكبريت، ذو طعم لاذع غير مرغوب، وهو غاز غير قابل للاشتعال، وعديم اللون. ويؤثر في حسن الذوق إذا وصل تركيزه في الهواء إلى (٠,٣) جزءاً من المليون أو أكثر. وينتج هذا الغاز من المصادر الطبيعة، كالبراكين، والينابيع الحارة، والمواد العضوية المتحللة (المتفككة)، أما مصادرة البشرية فتتمثل في، احتراق الوقود المتحجر، وأفران الكوك، وصهر المعادن، وإنتاج لب الخشب، وتكرير البترول، وصناعة الآجر (القرميد). ويقدر الإنتاج البشري الكلي من هذا الغاز بحدود (١٤٥) مليون طن سنوياً، يتركز (٩٠%) منه في نصف الكرة الشمالي.

ويتعرض (SO_2) في الجو إلى عدة تفاعلات، حيث يمكن أن يتحول إلى ثالث أكسيد الكبريت (SO_3) بتفاعله مع الأوكسجين بوجود الأشعة فوق البنفسجية، الذي يتحول إلى حمض الكبريت (H_2SO_4) بوجود بخار الماء. أو يتحول (SO_2) في الأجواء مرتفعة الرطوبة والمناطرة إلى حمض الكبريت المخفف (H_2SO_3) بتفاعله مع الماء، ليخلق بذلك مشكلة الأمطار الحامضية.

٤ - أكاسيد الآزوت (NO_X):

تتمثل أكاسيد الآزوت الموجودة في الهواء في كل من: أكسيد النتروز (N_2O)، وأكسيد النتريك (NO)، وثاني أكسيد الآزوت (NO_2).

يتميز أكسيد النتروز بعدم وجود لون له، وبمذاق حلو خفيف، ورائحة خفيفة، وسمية منخفضة. أما أكسيد النتريك، فلا لون له ولا رائحة، وسميته مرتفعة. بينما يتصف ثاني أكسيد الآزوت بلونه البني المحمر، ورائحته الواخذة الخانقة، وسميته المرتفعة.

وإذا كانت المصادر الطبيعية الأهم في إنتاجية أكسيد النتروز (٨٠%منه طبيعي المصدر)، فإن معظم ثاني أكسيد الآزوت، إن لم يكن كله، من نواتج الاستعمالات البشرية في الصناعة، خاصة الكيميائية، ومن عوادم السيارات، ويشكل التحلل الميكروبي للمركبات العضوية في التربة مصدراً رئيسياً لكل من أكسيد النتروز وأوكسيد النتريك.

ورغم أن الكمية الإجمالية من أكسيد النتريك أكبر من كمية ثاني أكسيد الآزوت، يُعد ثاني أكسيد الآزوت أهم أكسيد آزوتي ملوث للهواء، لآثاره المتعددة البيئية والصحية، حيث يسهم (NO_2) في مشكلة الأمطار الحامضية، بتحوله إلى حمض آزوت (HNO_3) في الأجواء الرطبة بتفاعله مع بخار الماء.

٥ - الهيدروكربونات (HC):

الهيدروكربونات عبارة عن مركبات مكونة من عنصرين فقط هما الكربون والهيدروجين. وهي أبسط المركبات العضوية، وتقسم إلى نوعين: المركبات الهيدروكربونية المشبعة أو البرافينات، كما في غاز الميتان (CH_4)، والمركبات الهيدروكربونية غير المشبعة، كما في الأوليفينات (الإيتلين C_2H_2)، والإستيلينات (الإيتان C_2H_2)، والعطريات (البنزين C_6H_6). وتتشكل الهيدروكربونات بصورة أساسية من عمليات الاحتراق غير الكاملة للوقود في وسائط النقل والصناعة والمواقد والأفران.. وغيرها، بجانب ما ينتج من عمليات التحلل البكتيري في المناطق المستنقعية وسواها، وما تطلقه النباتات. وتنتج السيارات وحدها نحو (٥٠%) من المركبات الهيدروكربونية المنبعثة إلى الهواء، ولذا فإن تركيزها يكون مرتفعاً في هواء المدن. وتقدر كمية الهيدروكربونات

المنطلقة إلى أجواء الولايات المتحدة بنحو (٣٢) مليون طن، نحو (٥٩%) من السيارات.

٦ - كبريتيد الهيدروجين (H_2S):

يتصف (H_2S) برائحته الكريهة التي تشبه رائحة البيض الفاسد، وينتج من تخمر المخلفات البشرية السائلة، ومن احتراق المواد التي تحتوي على الكبريت، ومن الصناعات الجلدية، وصناعة تكرير البترول، وصناعة المطاط... وغير ذلك. وتقدر الكمية المنطلقة منه إلى الجو سنوياً في العالم بحدود (١١٠) مليون طن، معظمها من مصادر طبيعية (نحو ٩٠%).

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

العوامل الجوية المحددة لكثافة الملوثات الهوائية

٤ - ١ - درجة الحرارة.

٤ - ٢ - الرياح.

٤ - ٣ - التهطال.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تتأثر شدة التلوث الجوي بثلاثة عوامل رئيسية، هي:

أ – كمية الملوثات المنطلقة إلى الجو.

ب – الأحوال الجوية السائدة.

ج – الشكل العام لمنطقة مصدر الملوث.

فإذا كانت كمية الملوثات ونوعيتها تحددها الظروف الداخلية الخاصة بمنطقة مصدر التلوث، ومدى مساهمة الإنسان المستمرة في التقليل من حجم تلك الملوثات المنطلقة من مصادر مختلفة، فإن للشكل العام لمنطقة المصدر دوراً في ذلك، خاصة فيما يتعلق، بالمظهر التضاريسي، كتصميم المصنع، والمنطقة الصناعية بكاملها، والمدن، وأبنية السكن، وارتفاع المداخن – حيث تؤثر على حجم التلوث المنطلق، ودرجة انتشاره –. فتجمع سكاني يقع في حوضة تضاريسية سيكون حجم تلوث هوائه أكبر مما لو كان ذلك التجمع منتشراً فوق سفح جبلي أو أعالي هضبة.

وسنحاول في هذا الفصل أن نتوقف قليلاً عند دور الأحوال الجوية في التأثير على كثافة الملوثات في الجو. وتعد درجة الحرارة، واتجاه الرياح من أهم العوامل المؤثرة على شدة تركيز الملوثات في الجو، يضاف إلى ذلك التهطال لما يقوم به من دور المنظف للجو من بعض ملوثاته.

٤ – ١ – درجة الحرارة:

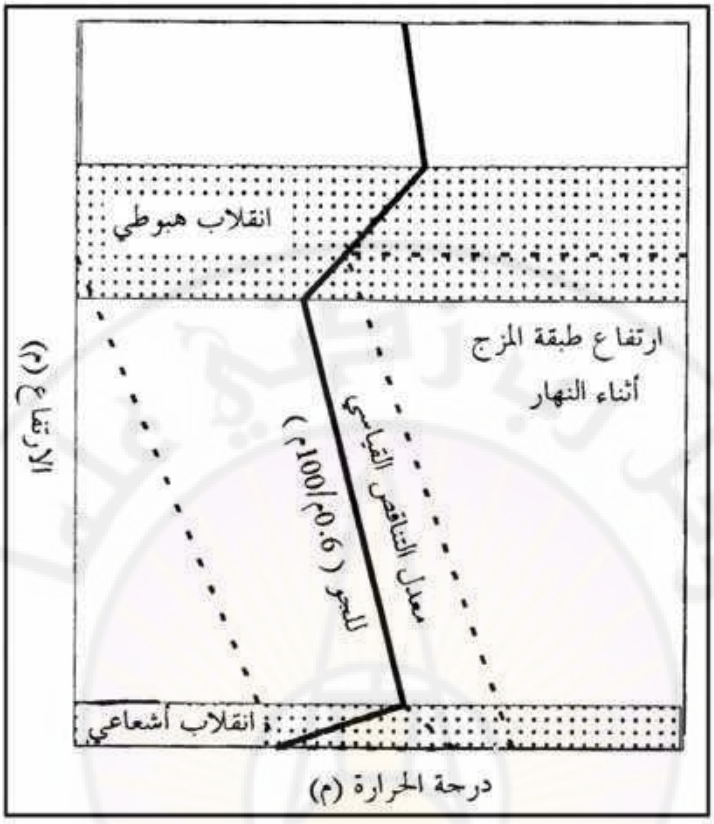
إن الارتفاع الشديد لدرجة حرارة سطح الأرض في ساعات النهار، وما يرافقه من تسخين للهواء القريب من السطح، يؤدي إلى حدوث

حركات هوائية صاعدة نشطة تعمل على نشر الملوثات شاقولياً على أكبر مدى ممكن. بينما ينجم عن التبرد الليلي لسطح الأرض والهواء القريب منها سيطرة حركات الهبوط الهوائية، والركود الجوي، متولداً عن ذلك تمركز معظم الملوثات الجوية قريباً من السطح، وانتشارها الشاقولي يكون محدوداً، مما يرفع من كثافة الملوثات بالقرب من سطح الأرض، وهذا ما يشاهده الواقف في أعالي جبل قاسيون والمطل على مدينة دمشق، ليرى جوها نقياً نسبياً في ساعات النهار رغم ازدياد كمية الملوثات المنطلقة، قياساً بساعات الليل – أو حتى ساعات المساء عند الغروب أو ساعات الشروق – حيث تبدو المدينة مغلفة بغشاوة سديمية من الملوثات.

إن الذي يحدد الانتشار الشاقولي للملوثات الجوية هو درجة استقرار الهواء التي تتعلق بالدرجة الأولى بالاختلاف الشاقولي لدرجة الحرارة، إذ يكون الهواء في حالة عدم استقرار، عندما يرتفع نحو الأعلى بحركة صاعدة، ويكون معدل تناقص حرارته أكبر من معدل تناقص حرارة الوسط المحيط، كما يحدث في ساعات النهار، حيث تنتشر الملوثات شاقولياً مع الهواء المتصاعد، بينما يكون الهواء في حالة استقرار، عندما يكون معدل تناقص حرارة الهواء المتصاعد أقل من معدل تناقص حرارة الوسط، كما يحدث في ساعات الليل.

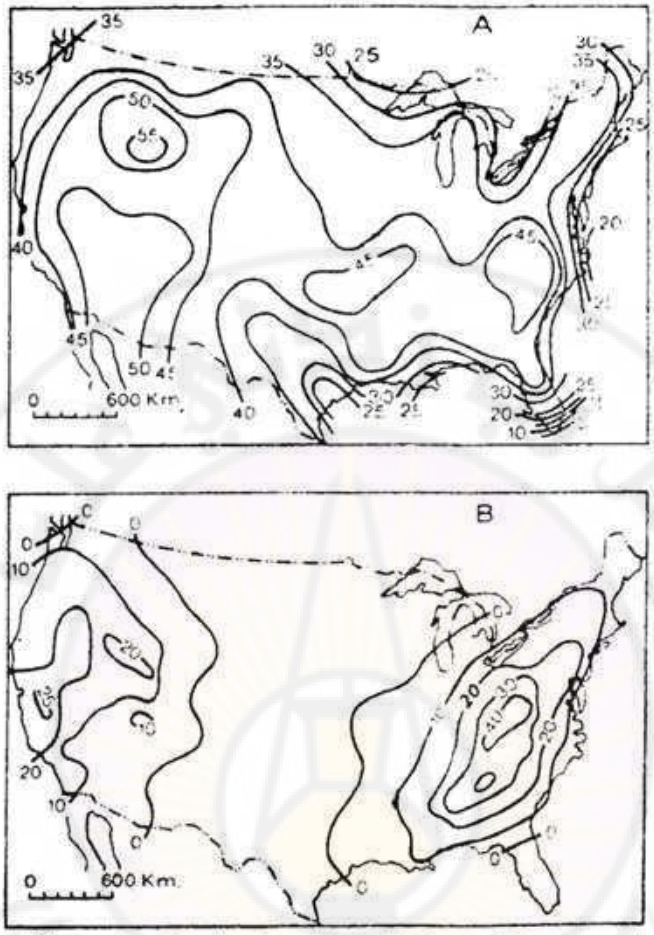
وتسود حالات الاستقرار الجوي بصورة عامة، عندما تكون المنطقة خاضعة لسيطرة ضغط جوي مرتفع، حيث تكون عندئذ حركة الهواء السائدة هابطة، بينما ترافق حالات عدم الاستقرار الجوي مع سيادة ضغوط جوية منخفضة، وحركات هوائية صاعدة.

ففي ساعات الليل، حيث تسود ظروف ضغط جـ وي مرتف ع، ف إن التبريد الليلي الشديد لسطح الأرض يجعل الهواء الأقرب إلى السطح أب رد من الهواء الأبعد قليلاً عن السطح، نتيجة لضعف ناقلية الهـ واء للبـ رودة، وانخفاض عملية النقل الحراري بالتماس، لتسود عندئ ذ ظ اهرة تع رف بالانقلاب الحراري، الشكل (٤٤)، التي تشير إلى تزايد في درجة الحرارة مع الارتفاع بدلاً من تناقصها كما هو معرف. وقد يكون الانقلاب قريباً من السطح، أو بعيداً عنه مئات الأمتار، كما في الانقلاب الهابط، ومما يميـ ز طبقة الانقلاب الحراري أن سقفها يشكل حاجزاً مانعاً، لا يـ سمح للهـ واء المرتفع إلى أعلى من تجاوزه، لذا فإنه يعيق، بل يمنع، انتشار الملوثـ ات شاقولياً، ليبقيها متركزة ضمن طبقة الانقلاب – خاصـ ة عنـ د سـ قفها – محدودة السماكة، التي قد لا تزيد سماكتها على (٢٠٠م)، ولذا تكون مناطق الانقلابات الحرارية السطحية ذات تركيز تلوثي شديد. وإذا أمكن القـ ضاء على الانقلاب الحراري في ساعات الصباح الأولى، فإن الملوثات ستنتشر عندئذ في طبقة من الهواء أكثر سماكة مما يخفف من حدة التلوث، ويجعله أقل تأثراً على البيئة المحلية، أما إذا مرت عدت أيام متتالية كانـ ت فيهـ ا أشعة الشمس ضعيفة وغير قادرة القضاء على الانقلاب الحـ راري، فـ إن تراكم الملوثات في الطبقة السطحية من الهواء سيرفع من شـ دة تركيزهـ ا لتبلغ درجة الخطورة، كما حدث في مدينة لندن في شهر كانون الأول عام (١٩٥٢م)، عندما ساعدت ظروف جوية (سيطرة ضغط جوي مرتفع) على استقرار الهواء وتشكل انقلاب حراري دام نحو أسبوع.



الشكل (٤٤) تأثير وجود الانقلاب الحراري وعدمه، على تمركز الملوثات

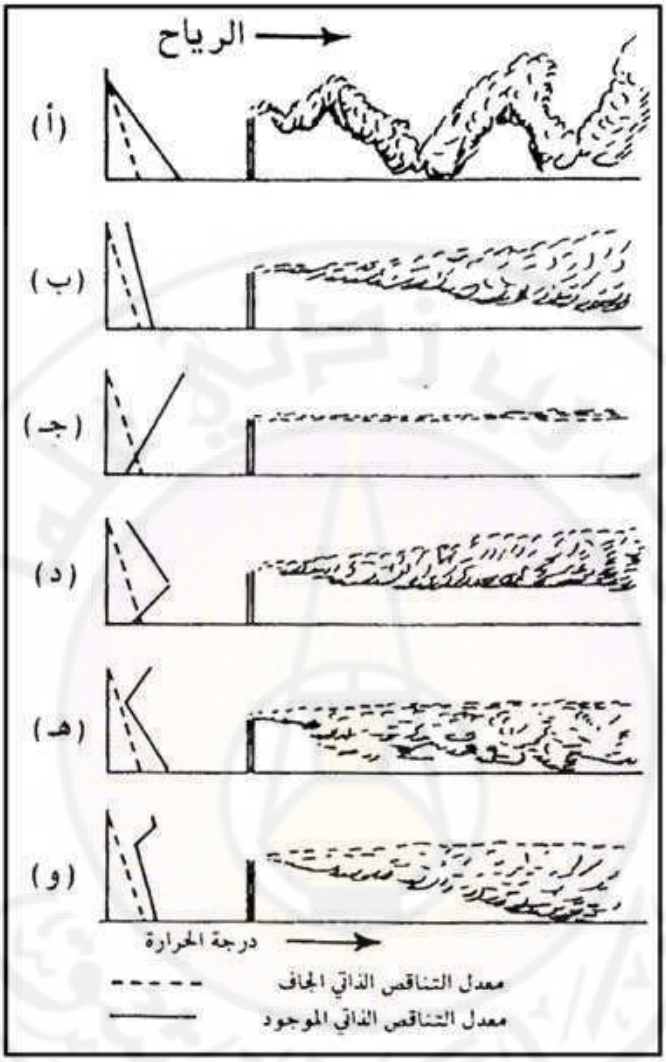
وتعد مناطق الحوضات التضاريسية والأودية مناسبة لتشكل انقلابات حرارية سطحية، في ظل ظروف سيادة ضغط جوي مرتفع. وإذا كانت تلك الحوضات والأودية تحتوي على منشآت صناعية ومراكز تجمعات سكنية، فإن الملوثات ستتركز بكثافة شديدة، كما حدث في وادي ماس (Meuse) قرب مدينة ليه (Liege) البلجيكية عام (١٩٣٠م)، وكما حدث أيضاً في وادي مونونغالا (Monongahela) قرب مدينة دونورا في الولايات المتحدة الأمريكية عام (١٩٤٨م). وكلما كانت ظروف المنطقة أكثر ملاءمة لحدوث الانقلاب الحراري، كانت أكثر تعرضاً لتركز الملوثات الجوية، شكل (٤٥ أ، ب) يوضح ذلك.



الشكل (٤٥) مدى إمكانية حدوث التلوث الشديد في المناطق المعرضة أكثر ما يكون لحوادث الانقلاب الحراري (أ، ب)

وبالنظر إلى الشكل (٤٦) الذي يبين ست حالات جوية مختلفة (أ، ب، ج، د، هـ، و) تختلف فيها درجة استقرار الجو، وشكل انتشار الملوثات، ودرجة تركيزها. ففي الحالة الأولى، شكل (٤٦ أ) كما يحدث في ساعات النهار، عندما يكون الهواء غير مستقر، وسرعة الرياح متوسطة، تنشأ من ذلك دوامات حرارية شديدة، ومزج شاقولي حملاتي كبير في الهواء، وتتشكل أنشوطات تجعل الهواء الملوث يقترب في بعض الأماكن من السطح. أما في الحالة التي يكون فيها معدل تناقص درجة

حرارة الهواء الصاعد يقارب من معدل تناقص درجة حرارة الوسط، فإن انتشار الملوثات يأخذ شكل ريشة رقيقة، شكل (٤٦ ب). وتعد الظروف الأكثر ملاءمة للانتشار الأفقي للملوثات الجوية، عند سيادة حالة من الاستقرار الجوي، كما في حالة حدوث انقلاب حراري إشعاعي في الليل، شكل (٤٦ ج). أما عندما يكون هناك انقلاب حراري ضحل بالقرب من سطح الأرض وظروف عدم استقرار ضعيفة فوقه، فإن الملوثات المنطلقة تنتشر عند قمة طبقة الانقلاب، مع وجهة انتشار ضعيفة نحو الأعلى، وليس نحو الأسفل، شكل (٤٦ د). وفي الأوقات التي يتشكل فيها انقلاب حراري بعيداً عن السطح، كما يحدث بعد شروق الشمس، وحيث تسود حالة عدم استقرار بالقرب من السطح، فإن سقف الانتشار للملوثات يتحدد بقاعدة طبقة الانقلاب العلوية، ولتتوزع ممتزجة في الهواء غير المستقر القريب من السطح، شكل (٤٦ هـ). وإذا ما كانت حالة عدم الاستقرار عند السطح، تحت طبقة الانقلاب العلوية الليلية، الناتجة بعد شروق الشمس من جراء التسخين الإشعاعي الشمسي، ضعيفة، فإن الملوثات المنطلقة من فوهة التصريف (المدخنة) تنتشر أفقياً عند قاعدة طبقة الانقلاب، لتمتزج تدريجياً بالهواء غير المستقر كلما ازداد الابتعاد عن فوهة التصريف، شكل (٤٦ و).



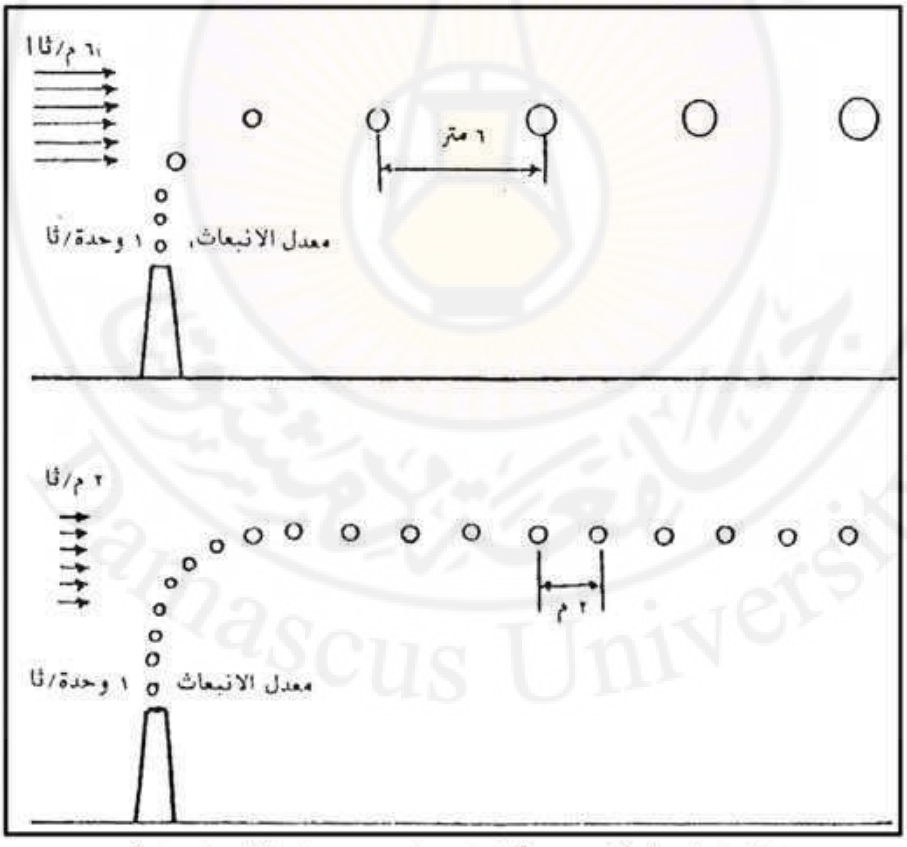
الشكل (٤٦) النماذج الرئيسية لطريقة انتشار الملوثات الجوية، حسب درجة استقرار الجو

٤ - ٢ - الرياح:

يلعب اتجاه الرياح وسرعتها أهمية كبرى في توزيع الملوثات في الجو، إذ تنطلق المواد الملوثة من سطح الأرض مع الاتجاه العام للرياح السائدة، ولذا فإن المناطق الواقعة في مهب رياح محملة بالملوثات ستكون حتماً أكثر تلويثاً من المناطق الواقعة عكس مهب الرياح. ومثال على ذلك، الملوثات

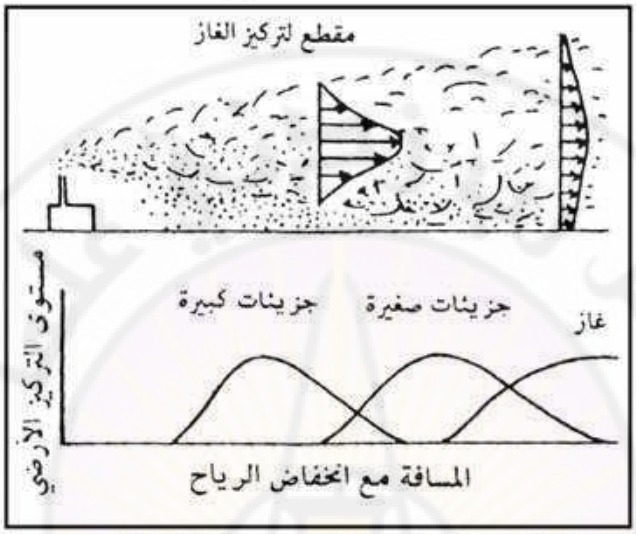
التي تحملها الرياح الغربية السائدة في منطقة الساحل السوري من معمل إسمنت طرطوس تجاه المناطق الواقعة إلى الشرق من المعمل. كما كان للرياح الجنوبية الشرقية السائدة في أثناء انفجار المفاعل النووي السوفييتي في محطة تشرنوبل في أواخر نيسان عام (١٩٨٦م) أن تحركت سحابة من الملوثات الإشعاعية تجاه شمال غربي أوروبا، والدول الإسكندنافية لتشيع الهلع والخوف.

أما فيما يخص سرعة الرياح، فكلما ازدادت سرعة الرياح، ازدادت حركة الملوثات الجوية، وكبر مدى انتشارها، وقل من ثمَّ تركيزها، شكل (٤٧).



الشكل (٤٧) تأثير سرعة الرياح على تمركز الملوثات الهوائية

وإذا كانت الرياح شديدة السرعة تعمل على إثارة الأتربة والرمال وتحملها بعيداً عن منطقة إثارتها، فإن تدني سرعة الرياح سيؤدي إلى ترسيب الجسيمات الصلبة الكبيرة، لتحمل الصغيرة إلى مسافات بعيدة، شكل (٤٨).



الشكل (٤٨) مخطط يبين تمركز الملوثات الصلبة والغازية حسب سرعة الرياح

٤ - ٣ - التهطال:

يقوم التهطال بأشكاله المختلفة (السائلة والصلبة) بالعمل على تنقية الجو من الجسيمات الصلبة العالقة به، فبعض تلك الجسميمات تشكل نويات تكاثف، يتكاثف عليها بخار الماء لتسقط معه في أثناء هطوله، وبعضها الآخر تكنسه الأمطار، أو الثلوج، الهاطلة معها وهي في طريقها نحو سطح الأرض، ولذا يبدو الجو نقياً في أعقاب هطول الأمطار والثلوج، أيضاً فإن الأمطار الهاطلة تطهر الجو من جزء من ملوثاته الكيميائية لتفاعلها معها، ولتأخذ الأمطار الهاطلة خصائص كيميائية معينة، كما هو الحال في الأمطار الحامضية التي بدأت تشكو منها الكثير من الدول الأوربية، وبقاع عدة من الولايات المتحدة الأمريكية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الخامس

آثار الملوثات الجوية

٥ – ١ – التأثيرات الحيوية للملوثات الجوية.

٥ – ١ – ١ – التأثيرات الحيوية للملوثات الجسيمية.

٥ – ١ – ٢ – تأثير الملوثات الكيميائية الحيوية.

٥ – ٢ – التأثيرات المناخية للملوثات الجوية.

٥ – ٢ – ١ – التأثيرات غير المباشرة.

٥ – ٢ – ٢ – التأثيرات المباشرة.

٥ – ٢ – ٢ – ١ – الملوثات التبريدية.

٥ – ٢ – ٢ – ٢ – الملوثات التسخينية.

٥ – ٢ – ٣ – النواتج المناخية للملوثات الجوية.

٥ – ٢ – ٤ – تباين المناخ ما بين البيئات الملوثة وغير الملوثة.

٥ – ٣ – التأثيرات الحيوية لأهم الملوثات الحيوية النوعية.

٥ – ٣ – ١ – أول أكسيد الكربون (CO).

٥ – ٣ – ٢ – ثاني أكسيد الكبريت (SO_2).

٥ – ٣ – ٣ – كبريتيد الهيدروجين (H_2S).

٥ – ٣ – ٤ – غاز الأوزون (O_3).

٥ – ٣ – ٥ – الهيدروكربونات (HC).

٥ – ٣ – ٦ – ثاني أكسيد الآزوت.

٥ – ٣ – ٧ – الفلور.

٥ – ٣ – ٨ – الزئبق.

٥ – ٣ – ٩ – الرصاص.

٥ – ٣ – ١٠ – جسيمات معدنية أخرى.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

للملوثات الجوية بمختلف أنواعها العديد من الآثار المهمة على الوسط البيئي الذي تعيش فيه الكائنات الحية، بجانب تأثيراتها المباشرة على الكائنات الحية. ومن الممكن تحديد أهم الآثار في الآتي:

٥ - ١ - التأثيرات الحيوية للملوثات الجوية:

تمارس الملوثات الجوية تأثيرات عديدة ومهمة على مختلف أشكال الحياة من نباتات وحيوانات وإنسان، حتى أصبحت أمراض التلوث الجوي محددة ومخاطرها معروفة. وهذا ما شكل دافعاً للعديد من سكان البيئات الملوثة للانتقال ولو لفترات من السنة إلى بيئات ذات هواء نقي، ولهذا نجد الأطباء ينصحون المرضى بأمراض معينة الذهاب إلى بيئة نقية الهواء معتدلة الحرارة بغية الاستجمام والاستشفاء.

٥ - ١ - ١ - التأثيرات الحيوية للملوثات الجسيمية:

تتمثل الجسيمات الصلبة ذات التأثير الملحوظ على **الإنسان** في الغبار المعدني المتضمن: دقائق فحمية وحجرية وغضار ناري وميكا وغضار خزفي (صيني) وغرافيت والألياف. وأبرز التأثيرات على الإنسان والحيوان تمثل في الجهاز التنفسي، ففي الإنسان، فإن الجسيمات الأكبر قطراً من (٥٠٠٠ نانو متر) لا تتجاوز في مداها المجرى التنفسي الأعلى، بينما تتمكن الجسيمات ذات القطر من (٥٠٠ - ٥٠٠٠ نانو متر) من الوصول إلى الشعب الرئوية الهوائية (Bronchioles)، كما يمكن للجسيمات ذات القطر أقل من (٥٠٠ نانو متر) من بلوغ الحويصلات الرئوية. ومن أهم الآثار

الصحية التي تظهر في الأشخاص الذين يتعرضون للجسيمات الصلبة على اختلاف مصادرها، نذكر:

أ – التهاب القصبات الرئوية، وحدوث مرض الربو.

ب – اضطرابات في الجهاز التنفسي.

ج – أمراض رئوية ومعدية مختلفة، أهمها، سرطانات الرئة والمعدة.

د – أمراض العيون (سيلان الدمع، الرمد، التهابات... إلخ).

أما تأثير الجسيمات على النباتات فيظهر واضحاً في ناحيتين هما:

أ – دورها في التقليل من عملية التمثيل الضوئي، وذلك لحجبها جزءاً من الضوء الواصل إلى الأوراق ولتداخلها مع الخارج من ثاني أكسيد الكربون.

ب – بفعل ترسيب الجسيمات الغبارية على أوراق النباتات، مغلقة مساماتها، مؤدية إلى إعاقة التبادل الغازي والتنفس والنتح، مما يترتب على ذلك اصفرار الأوراق وذبولها، ومن ثم موتها، وموت الشجرة بكاملها، كما أن ترسب الجسيمات على مياسم الأزهار يعيق عملية تلقيحها مما يقلل من عدد الثمار المتكونة.

٥ – ١ – ٢ – تأثير الملوثات الكيميائية الحيوية:

إن خطورة الملوثات الكيميائية على الكائنات الحية يفوق خطورة الجسيمات الصلبة، وبخاصة على الإنسان والحيوان.

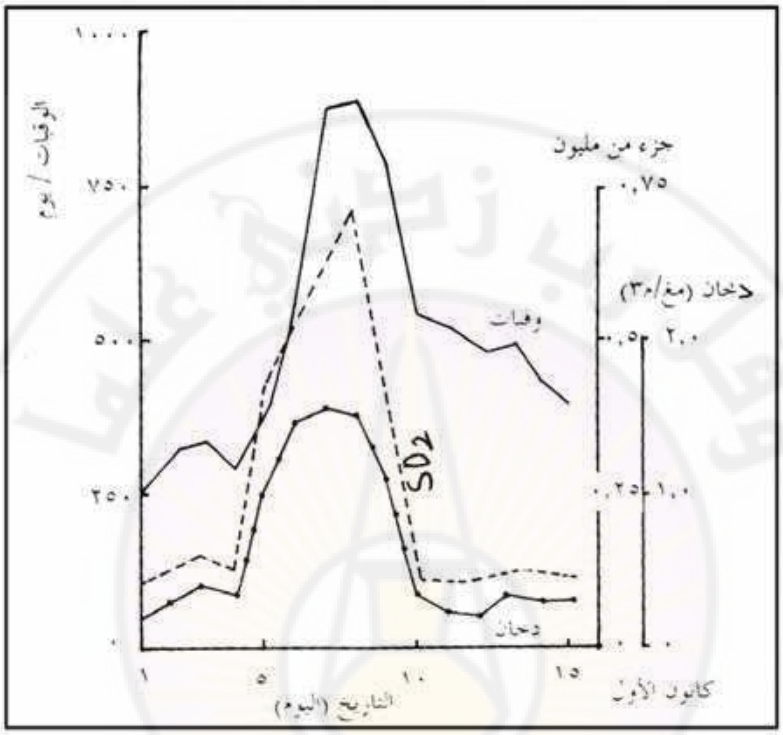
وتتمثل أهم **الآثار في النباتات** في نقص نموها في الأماكن شديدة التلوث مقارنة مع أماكن أقل تلوثاً، وقد نجم عن الملوثات (SO_2)، والملوثات المعدنية في وادي سكرامنتو بولاية كاليفورنيا الأمريكية، القضاء على نباتات منطقة مساحتها نحو (٢٦٠كم^2)، بجانب تأثير نمو نباتات

مساحة تزيد على (٣٢٠كم^{٢}). ومن الممكن أن ينجم عن زيادة تركيز (CO_2) في الجو تزايد في عملية التمثيل الضوئي في النباتات، إذ لم يترافق التلوث بـ (CO_2) بملوثات كيميائية أخرى ضارة، مثل ما يحدث في المناطق الريفية غير الملوثة بملوثات مؤذية، أما في المناطق الملوثة بثاني أكسيد الكربون وملوثات أخرى شديدة الأذى (SO_2، وغيره) فستكون نتائج ذلك على النباتات سلبية.

ولا تقل معاناة **الحيوانات** عن معاناة الإنسان عند تعرضها لأجواء كيميائية ذات سمية واضحة، كما في حال سيادة جو ضبخاني، حيث يمكن أن تتعرض عندها إلى الموت من جراء صعوبات التنفس، كما حدث عام (١٩٥٧م) في إحدى مزارع العاصمة البريطانية، إذ نَفَقَ عدد من رؤوس الماشية، بينما كانت الأغنام والخنازير أقل تأثراً.

وبصورة عامة، فإن بعض التأثيرات واسعة الانتشار لملوثات الهواء الكيميائية على **الإنسان**، يسببها الدخان وغاز ثاني أكسيد الكبريت، ويوجد هذان الملوثان بتركيزات عالية في الفترات التي يسود فيها انقلاب في درجة الحرارة بالقرب من سطح الأرض. وتشكل المدن الكبرى شديدة التلوث والمناطق الصناعية الأماكن الأكثر تلوثاً بهذين الملوثين. ففي صباح الخامس من شهر كانون الأول عام (١٩٥٢م) شهد سكان مدينة لندن انحجاب الشمس بصورة كاملة عن سماء العاصمة البريطانية، بفعل طبقة دخانية ضبابية (ضبخان Smog) كثيفة جداً رمادية اللون، لم يعهدوها من قبل، استمرت لمدة خمسة أيام متواصلة، لاقى خلالها أكثر من أربعة آلاف شخص حتفهم، شكل (٤٩)، حيث انتشرت عدة أمراض رئيسية مثل: التهاب القصبات الهوائية، والالتهاب الرئوي، وأمراض مرافقة في الجهاز

التنفسي، كانت السبب الأساسي في الوفاة، وكان الضباب الكثيف فوق لندن يحتوي على عدة أطنان من الدخان ومركبات المواد الكبريتية.



الشكل (٤٩) منحنى تلوث الهواء والوفيات في لندن عام (١٩٥٢م)

وفي شهر كانون الأول من عام (١٩٦٢م) حدثت ظروف مشابهة لما حدث في عام (١٩٥٢م) في العاصمة البريطانية، غير أن عدد المتوفين لم يزد على (٧٠٠ شخص)، وتعزى معدلات الوفيات الأخفض خلال العشر سنوات التالية لعام (١٩٥٢م) إلى انخفاض درجة تركيز الدخان، رغم أن تركيز (SO_2) كان في عام (١٩٦٢م) مشابهاً لما كان عليه في عام (١٩٥٢م)، وهذا يكشف عن الدور الذي يلعبه الدخان.

وفي شهر تشرين الأول من عام (١٩٣٠م) حدثت ظروف ضبخانية في وادي ماس البلجيكي، بالقرب من مدينة ليه (Liege)، استمرت مدة

خمسة أيام كاملة، ذهب ضحيتها نحو (٦٣) شخصاً، وعدد أكبر بعدة مرات من الناس شعروا بسوء حالتهم الصحية لفترات طويلة بعد انقشاع الضباب الدخاني. وقد حدثت مثل هذه الظاهرة الضبخانية في عام (١٩٤٨م) في بلدة دونورا الأمريكية بالقرب من مدينة بتسبرغ. ويندر أن تمر سنة دون أن تتعرض مدينة من مدن العالم إلى ظاهرة الضبخان. ففي مدينة نيويورك حدثت هذه الظاهرة عدة مرات نذكر منها، ما حدث في شهر تشرين الثاني عام (١٩٥٣م) وفاة (٢٥٠) شخصاً، وفي شهر كانون الثاني عام (١٩٦٣م) وفاة نحو (٢٠٠ - ٤٠٠) شخصاً، وفي شهر تشرين الثاني عام (١٩٦٦م) وفاة (١٦٨) شخص.

إن الدخان وثاني أكسيد الكبريت هما بالتأكيد السبب في التهاب القصبات الهوائية، وكلما كان الهواء أكثر رطوبة كانت خطورة هذين الملوثين أكبر. وعلى الرغم من أن الدخان الجوي يحتوي على مركبات عضوية مسرطنة (مسببة للسرطانات) مشابهة لتلك التي يحتويها دخان سجائر التبغ، ليس هناك دليل واضح يشير إلى أن الملوثات الجوية هي السبب المباشر في مرض سرطانات الرئة، ولكن يبدو أن الملوثات الهوائية تشجع على حدوث أمراض الصدر، والالتهاب الرئوي، والتدرن (السل التدرني) وأمراض القلب.

وللملوثات الكيميائية تأثير كبير على **الأبنية والمواد والأدوات المختلفة**، ففيما يتعلق بالمنشآت العمرانية السكنية وسواها، فإنها تكون محاطة بهواء ملوث جداً لعدة سنوات، مما يجعل تلك الأبنية تعاني تغيرات كيميائية، فالتعرية التدريجية تبرز واضحة مع تقدم الزمن، وهذا ما يظهر جلياً عندما يزال عن هذه الأبنية السطح العلوي الوسخ. وهناك أمثلة عدة

عن التعرية التي أصابت العديد من النقوش الأثرية مما جعل معالمها تبدو بصورة غير واضحة خلال مئات السنين. وتبدو عملية التأثير على النقوش الصخرية، والمنحوتات الأثرية أكثر سرعة قي الصخور الأ ين (الأق ل صلابة)، حيث يتوافق عندئذ تأثيرات الملوثات الكيميائية مع تأثير الري اح والأمطار، وجسيمات الغبار والرمال المعلقة.

ويبرز دور الملوثات الغازية في الهواء، كما في غاز ث اني أك سيد الكبريت، ثاني أكسيد الكربون، الهيدروجين، الكبريت، والفلوريدات، فعالاً في تأثيرها على الأبنية في حال وجود أمطار وأشعة شمسية، وبخاصة تلك الأبنية المكونة من حجر كلسي وحجر رملي، ذلك أن ثاني أكسيد الكبريت يتحول إلى حمض كبريت مخفف، ليتفاعل هذا الحم ض م ع كربون ات الكالسيوم والمغنزيوم (حجر كلسي) متشكلاً من جراء ذلك الكبريتات، التي يمكن أن تكون قشرة سطحية قاسية.

$$CaCO_3 + H_2SO_4 \rightarrow CaSO_4 + H_2O + CO_2$$
$$Mg_2CO_3 + H_2SO_4 \rightarrow Mg_2SO_4 + H_2O + CO_2$$

أيضاً، نجد أنه في الحجارة الرملية، أن الم لاط الكال ستي يت أثر بحمض الكبريت، ومن ثَمَّ تتفكك (تتحلل) الحبيب ات الرملي ة السيل سية، وتغسل ذاهبة بعيداً بواسطة الفعل المزدوج للمطر والرياح، وتتزايد تعرية الحجارة أيضاً بواسطة ثاني أكسيد الكربون الذي يتفاعل مع المطر ليشكل حمضاً كاربونياً ضعيفاً، يؤثر على الحجارة ليتشكل من جراء ذلك كالسيوم منحل وكاربونات هيدروجين المنغنزيوم.

وتخضع السطوح المعدنية لتأثير الملوثات الجوية، إذ إنها تعاني التحات والتقشر والتغير في مظهرها الخارجي وتركيبها. فالسطوح المكونة من الحديد

والصلب تطرأ عليها تغيرات في حال توافر الرطوبة الجوية والأوكسيجين، إذ إنها تتحول إلى أكسيد الحديد المهدرت (هيدروكسيد الحديد) أو الصدأ (Rust $Fe_2O_3, {}_3H_2O$)، وتنشط عملية التغير هذه في حال وجود ثاني أكسيد الكبريت، وثاني أكسيد الكربون. كما تصبح الأسطح النحاسية وسبائك النحاس، مغ شاة بصدأ النحاس (الجنزارة) أو كبريتات النحاس الأساسية في ظ روف ت وافر الرطوبة، والأوكسجين وثاني أكسيد الكبريت. ومما تجدر الإشارة إلي ه، أن الأكسدة الطبيعية للسطوح المعدنية وتحاتها تتم في هواء غير ملوث، لكنه ا تزداد بشك كبير في حال وجود الملوثات الجوية.

ويظهر تأثير الملوثات واضحاً في المواد المصنوعة من القط ن أو الصوف أو الكتان، كالأنسجة وغيرها، التي تك ون م صبوغة بأص بغة مختلفة، فثاني أكسيد الكبريت ينحل في قط رات الم اء م شكلاً حم ض الكبريتوز الذي بمقدوره التخفيض من الصبغات الكيميائية، ويتسارع فع ل ذلك في حال وجود الأوزون، كما أنه في حال وج ود حم ض الكبري ت المخفف يحدث تعفن وتفتت.

وتبدي المواد البلاستيكية مقاومة أكثر للملوثات، غير أن بعض المواد المجمعة للجزيئات تصبح سهلة التشقق والتقصف. أم ا الم واد الجلدي ة والمطاطية، فلها القدرة على امتصاص حمض الكبريتوز، بجانب تأثره ا بغاز الأوزون، مما يجعلها تتلف في خلال فترة من الزمن. ويؤثر كبريتيد الهيدروجين المتوفر بكثرة في أجواء المدن على بعض أن واع الـ دهانات (الطلاء) التي تحتوي على صبغة كربونات الرصاص الأساس ية، والت ي يزال لونها عندما يتشكل كبريتيد الرصاص، وهناك ملوثات أخرى ت ؤثر أيضاً على الدهان مسببة في تهشمه وتقشره.

٥ – ٢ – التأثيرات المناخية للملوثات الجوية:

إن لبعض الملوثات الجوية آثاراً مباشرة على المناخ، من حيث تأثيرها على شدة الإشعاع الشمسي ودرجة الحرارة... وما إلى ذلك. بينما لبعضها الآخر تأثيرات غير مباشرة من خلال دورها في تغير نسبة بعض مركبات الجو المهمة ذات التأثير المناخي والحيوي الكبيرين، كما يحدث في غاز الأوزون الجوي.

٥ – ٢ – ١ – التأثيرات غير المباشرة:

تعد طبقة الستراتوسفير الجوية بغازها الشهير المتمركز فيها وهو غاز الأوزون (O_3) الطبقة الواقية للأرض من تأثيرات الأشعة فوق البنفسجية شديدة الضرر على عالم الأحياء، لما يتمتع غاز الأوزون من قدرة كبيرة على امتصاص هذه الأشعة ذات الطول الموجي بين (٠,٠١ – ٠,٤) ميكرون، وخاصة ما كان منها ذا طول موجي أقل من (٠,٢٩) ميكرون، وبالتالي فإن زيادة أو نقصان الأشعة فوق البنفسجية المرتبط بتغيرات كمية غاز الأوزون ستترك تأثيرات مهمة أيضاً في المناخ الأرضي.

وللعديد من الملوثات الكيميائية الأرضية تأثيرٌ بارزٌ على الأوزون الجوي، خاصة أكاسيد الآزوت ومركبات الكلورو فلور وميتان، مع أن طبقة الستراتوسفير تصلها ملوثات أخرى مثل، أكاسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، والهيدروكربونات، وجسيمات الأتربة الدقيقة. وتتميز ملوثات الستراتوسفير ببطء تبددها بسبب كون الحركة الغازية محدودة جداً، لذا فإنها ذات مدة بقاء بين (١ – ٣) سنوات.

وتلعب شدة الإشعاع الشمسي فوق البنفسجي في الستراتوسفير دوراً واضحاً في ازدياد نشاط التفاعلات الكيمضوئية، ومما يترتب على ذلك من

تغير في خصائص هذه الطبقة، التي يمكن أن يكون لها انعكاسات على الظروف المناخية عند سطح الأرض.

ويعود إلى أكاسيد الآزوت تخريب نحو (٦٠ – ٧٠%) من الأوزون الجوي المعرض للتخريب، معيدة إياه إلى عناصره الأوكسجينية الأساسية (O_2, O)، إذ تتفاعل أكاسيد الآزوت مع الأزون وفق الآتي:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$
$$NO_2 + O \rightarrow NO + O_2$$

وأهم مصادر أكاسيد الآزوت الستراتوسفيري، التفجيرات النووية، والطيران فوق الصوتي، وهو الأهم في ذلك، ذلك أن هذا النوع من الطائرات (SSTS) يشكل المصدر الرئيسي للتلوث الستراتوسفيري، كما في طائرة الكنكورد الفرنسية – البريطانية، والطيران الحربي، الذي يطير على علو يقارب من (٢٠كم) فوق مناطق مأهولة وغير مأهولة بالسكان من الكرة الأرضية، كما أن أعداداً كبيرة من الطيران المدني (طيران النقل) فوق الصوتي يطير في التروبوسفير العلوي على علو يزيد عبى (١٠كم) مما يجعل جزءاً من ملوثاته تنقل إلى الستراتوسفير الأدنى، ذلك أن عوادم محركات الطائرات النفاثة تطلق كميات كبيرة نسبياً من: بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، وكميات أقل من أول أكسيد الكربون، وأكاسيد الآزوت، وثاني أكسيد الكبريت، والهيدروكربونات. ولقد أشار تقرير وضعته أكاديمية العلوم الأمريكية عام (١٩٧٥م) إلى أن (١٠٠) طائرة صوتية يمكنها أن تخفض نسبة الأوزون الجوي بمقدار (٠,٠٢%) بينما (١٠٠) طائرة فوق صوتية تخفضه بمقدار (٠,٧%)، وترفع درجة حرارة سطح الأرض نحو (٠,٥ م)، إذ تزداد نسبة الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى سطح الأرض بنقصان الأوزون الجوي.

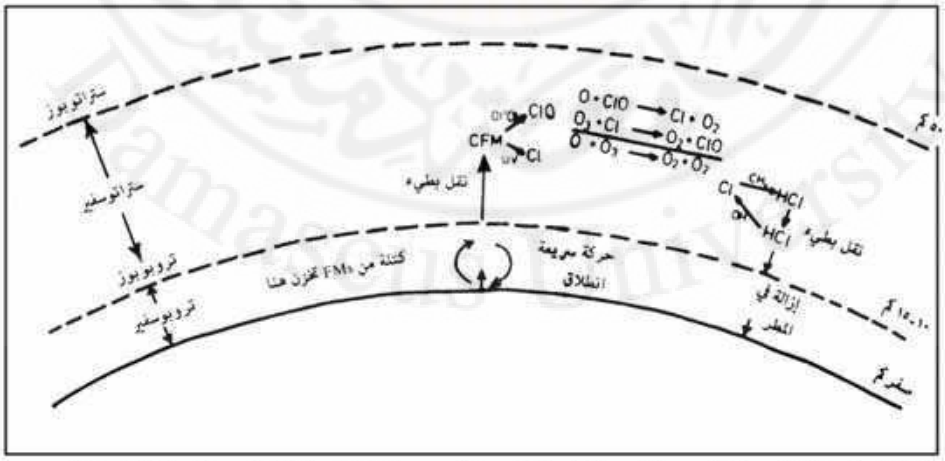
وأول أكسيد الآزوت هو الأكسيد الآزوتي الفعال في عملية تحويل الأوزون إلى أوكسجين، حيث كميات قليلة منه تحول كميات كبيرة من الأوزون، لعدم استهلاكه بسرعة في أثناء قيامه بالتحويل، لكونه يقوم بدور الوسيط من جهة، ومن جهة أخرى فإنه يدور نفسه بنفسه معيداً خلق نفسه في سلسلة من التفاعلات البسيطة.

أما أهم مصادر المركبات الكلوروفلورميتانية الملوثة للستراتوسفير، فهي: صفائح الرش الترابية المضغوطة (Aerosol Spray Cans) ذات الاستخدامات المتنوعة (الدهانات، الروائح العطرية، رشاشات الشعر، بوليش السيارات... إلخ)، المتزايد استخدامها سنة بعد أخرى، والتي يتم تشغيلها من خلال استعمال مدفع غازي من نوع الفريون (Freon) الذي هو أحد مركبات الكلوروفلوروكربون، كما في التريكلوفلورومیتان، المتصفة بخمولها الكيميائي في طبقة التروبوسفير، وبشدة تطايرها وانتشارها نحو الأعلى حيث تبلغ طبقة الستراتوسفير لتصبح نشطة كيميائياً. ويقدر أن (٧٥%) من كامل الغازات الفلوروكربونية (الفريونات) تطلقها صفائح الرش الترابية، وما تبقى تطلقه المكيفات الهوائية والبرادات ورغوة البلاستيكات. ويقدر إجمالي المركبات الفلوروكربونية (فريون ١١ $CFCL_3$، وفريون ١٢ CF_2CL_2) التي تنطلق سنوياً باتجاه الستراتوسفير، ما بين (٥٠ - ١٠٠) ألف طن.

وتعاني مركبات الكلوروفلورومیتان تغيرات كيميضوئية في الستراتوسفير، متفككة، متولداً عن تفككها كميات كبيرة من ذرات الكلور (CL) النشطة التي تتفاعل مع الأوزون مفككة إياه:

$$CL + O_3 \rightarrow CLO + O_2$$
$$CLO + O \rightarrow CL + O_2$$

ومما لا شك فيه أنَّ تأثر الفلور كربونات بالغ على طبقة الأوزون الستراتوسفيرية. إن أي تأثير كيمضوئي يؤدي إلى إنقاص كمية الأوزون في الجو سينجم عنه تأثيرات مناخية وحيوية مهمة، شكل (٥٠). فغاز الأوزون الجوي يحد بدرجة كبيرة من كمية الأشعة فوق البنفسجية الواصلة إلى الأرض. ويسبب التزايد في هذه الأشعة الشمسية أضراراً في النباتات، والحيوانات، وأمراضاً بشرية منها سرطانات الجلد. وبوجه عام، فإن كيميائية طبقة الأوزون لم تزل بعيدة عن الفهم الكامل، ولقد أشارت القياسات، إلى أن هذه الطبقة ازداد سمكها بحدود (١٠%) خلال الفترة (١٩٥٧ - ١٩٧٠م)، لتنخفض سماكتها بنسبة (٣ - ٦%) فيما بين (١٩٧٠ - ١٩٧٣م). وقد ربطت هذه التغيرات في السماكة بدورة البقع الشمسية كل (١١) سنة، وبشدة الإشعاع الشمسي، أكثر من ارتباطها بتزايد نسبة الملوثات الجوية، غير أنه لا ينفي مطلقاً الآثار الواضحة للملوثات الجوية في خلال سنوات النصف الثاني من القرن الماضي على الطبقة الأوزونية في الستراتوسفير، وانعكاس ذلك المحدود على المناخ والأحياء.



الشكل (٥٠) الدورة الجوية لمركبات الكلوروفلوروميتان المؤثرة في غاز الأوزون الجوي

٥ - ٢ - ٢ - التأثيرات المباشرة:

وهي إما تأثيرات تبريد، وإما تأثيرات تسخين.

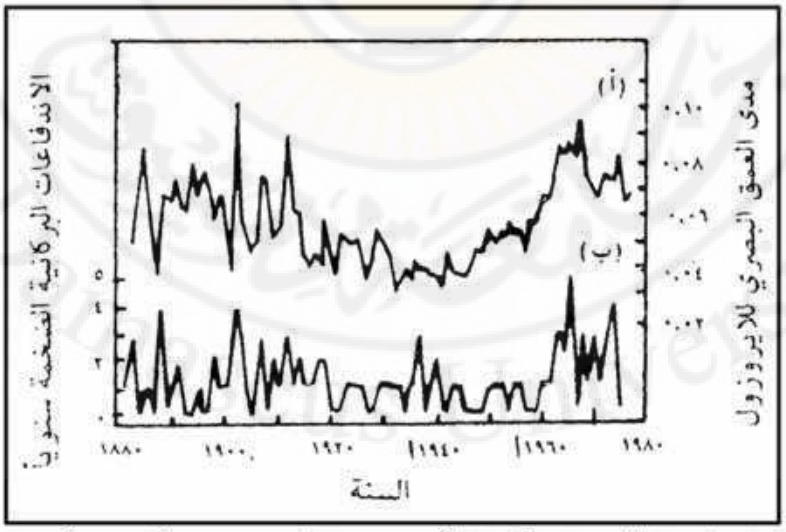
٥ - ٢ - ٢ - ١ - الملوثات التبريدية:

تلعب الجسيمات الصلبة العالقة في الجو والملوثة له، عام ل تبري د مهمّاً، لما تقوم به من عكس لنسبة من الأشعة الشمسية الم صطدمة به ا، تتناسب مع كثافة تلك الجسيمات ومع كبر أحجامه ا. وتـ أثير الج سيمات الصلبة التبريدي واضح وملموس في أثناء وأعقاب حدوث عواصف ترابية أو انفجارات بركانية ضخمة، أو حريق كبير، وكنا أشرنا إلى بعض م ن ذلك سابقاً.

ويعد النشاط البشري مصدر تزويد الجو بالجسيمات الـ صلبة، التـ ي يزداد تركيزها بصورة ملحوظة في أجواء المـ دن الكبـ رى، والمنـ اطق الصناعية، محدثة تأثيرات عدة على البيئة المحليـ ة، فجـ سيمات الـ دخان والغبار تزيد من تعكر الجو، مما ينجم عن ذلك نقص في كميـ ة الأشـ عة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض. ولقد دلت القياسات التي تمت خـ لال (٦٠) سنة في بعض مدن الولايات المتحدة على تزايد تعكر الجـ و بنـ سبة (٥٧%)، وفي سويسرا حدث تزايد في تعكر الجو بنـ سبة (٨٨%) خـ لال ٣٠ سنة. ولما كانت الجسيمات (Particulates) تقوم بامتـ صاص وعكـ س جزء من الإشعاع الشمسي الوارد، لذا فإنها تسبب نقص في كمية الأشـ عة الواردة بنسبة (١٥ - ٢٠%) في المدن الكبرى مقارنة مع المناطق الريفية ذات الهواء الأنقى، وتشير تسجيلات مدة سطوع الشمس فـ ي لنـ دن بـ ين عامي (١٩٢١ - ١٩٥٠م) إلى انخفاضها في الشتاء بنسبة (٥٠%)، وفـ ي الصيف بنسبة (١٠%) عما هي عليه في الضواحي المحيطة. كما كـ شفت

القياسات التي أجريت في النمسا على طبقة من الهواء ارتفاعها (٧٠متراً) أن هذه الطبقة تقلل من الإشعاع الشمسي الوارد إلى سطح الأرض بمعدل (٥,٧%)، كما تغير من الطيف الشمسي، إذ يمتص البخار والدخان والهباب، بصورة خاصة، الأشعة فوق البنفسجية، لذا فإن نسبة هذه الأشعة في باريس، مثلاً، لا تزيد على (٠,٣%) من نسبة الإشعاع الشمسي، لتصل في الأرياف المحيطة بباريس والبعيدة عن مصادر التلوث إلى (٣%).

وما دامت الجسيمات الصلبة في حالت تزايد في الجو، بغض النظر عن الفترات التي تحدث فيها طفرات زيادة كبيرة بسبب اندفاع بركاني.. أو غيره، فهذا يعني أن شفافية الجو تقل، وكمية الأشعة الواصلة إلى الأرض تنخفض والحرارة كنتيجة ذلك تتناقص، والمحصلة حدوث تبرد، والشكل (٥١) يوضح العلاقة بين المتوسط السنوي لكمية الأشعة في الجو ودرجة شفافية الهواء، اعتماداً على (٤٢) محطة واقعة بين خطي عرض (٢٠ - ٦٠) شمالاً.



الشكل (٥١) العلاقة بين درجة شفافية الجو والاندفاعات البركانية الضخمة من جهة، والمتوسط السنوي لكمية الأشعة الواصلة إلى سطح الأرض من جهة أخرى

٥ - ٢ - ٢ - ٢ - الملوثات التسخينية:

تتوافق الملوثات التسخينية مع مفهوم الدفيئة الجوية المنبثق مما يعرف بظاهرة البيت الزجاجي أو البيت البلاستيكي، لما تتصف به العديد من الملوثات الكيميائية من خاصية شفافيتها للأشعة الشمسية وعدم شفافيتها للأشعة الأرضية، محافظة بذلك على درجة حرارة أرضية مرتفعة.

وإذا ما استثنينا بخار الماء (H_2O) من عناصر الدفيئة، لكونه عنصراً غير تراكمي في الجو، ولأن مصادره طبيعية ودورته متوازنة، على الرغم من خصائصه الحرارية المهمة. فإن عناصر الدفيئة الجوية الرئيسية التي يساهم الإنسان بقدر كبير فيها، والمتصفة بتراكميتها في الجو، هي: غاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وغاز الميتان (CH_4)، وأكاسيد الآزوت (NO_X)، وخاصة أكسيد النتروز (N_2O)، والمركبات الكلوروفلوركربونية ($CFCs$)، بجانب غاز الأوزون التروبوسفيري. وتختلف فترة الحياة (مدة البقاء) الجوية لتلك الغازات من ساعات قليلة أو أسابيع بالنسبة لغاز الأوزون في المستويات المنخفضة من الجو، إلى أكثر من (١٠٠) سنة بالنسبة للفريون ١٢ (CFC. 12)، وتتراوح بين (٥٠ - ٢٠٠ سنة) بالنسبة لغاز ثاني أكسيد الكربون، والجدول (١٩) يبين أهم خصائص غازات الاحتباس الحراري (الدفيئة الجوية).

جدول (١٩) أهم خصائص غازات الاحتباس الحراري (الدفيئة الجوية)

الخاصية	ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)	الميتان (CH_4)	أكسيد النتروز (N_2O)	الكلور والفلور والكربونات (CFCs)
مدة البقاء في الجو (سنة)	٥٠ – ٢٠٠	٧ – ١٠	١٥٠	(٦٥ – ٧٥) سنة للفريون ١١، و(١١٠ – ١٢٠) سنة للفريون ١٢
النسبة المئوية (%) للمساهمة في الدفيئة الجوية خلال الفترة (١٩٥٠ – ١٩٨٥)	٥٣ (٧١%، عام ٢٠١٠)	١٢ (١٤%، عام ٢٠١٠)	٦ – ٧ (٩%، عام ٢٠١٠)	٢٠ (١٤% عام ٢٠٠٠، ٥% عام ٢٠١٠)
درجة التركيز قبل الثورة الصناعية (جزء من مليون من الحجم)	٢٧٥	٠,٧	٠,٢٢٨	٠
التركيز في عام ١٩٩٠م (جزء من مليون من الحجم)	٣٤٥	١,٧	٠,٣١٠	(٠,٠٠٠٢٦) للفريون ١١ (٠,٠٠٠٤٤) للفريون ١٢
التركيز المتوقع عام (٢٠٥٠م) (جزء من مليون من الحجم)	٤٠٠ – ٦٠٠	٢,١ – ٤,٠	٠,٣٥ – ٠,٤٥	(٠,٠٠٠٧ – ٠,٠٠٣) للفريون ١١ (٠,٠٠٠٢ – ٠,٠٤٨) للفريون ١٢
المعدل السنوي لزيادة درجة التركيز في الثمانينيات من القرن العشرين %	٠,٥	٠,٩	٠,٢٥	٤ – ٥

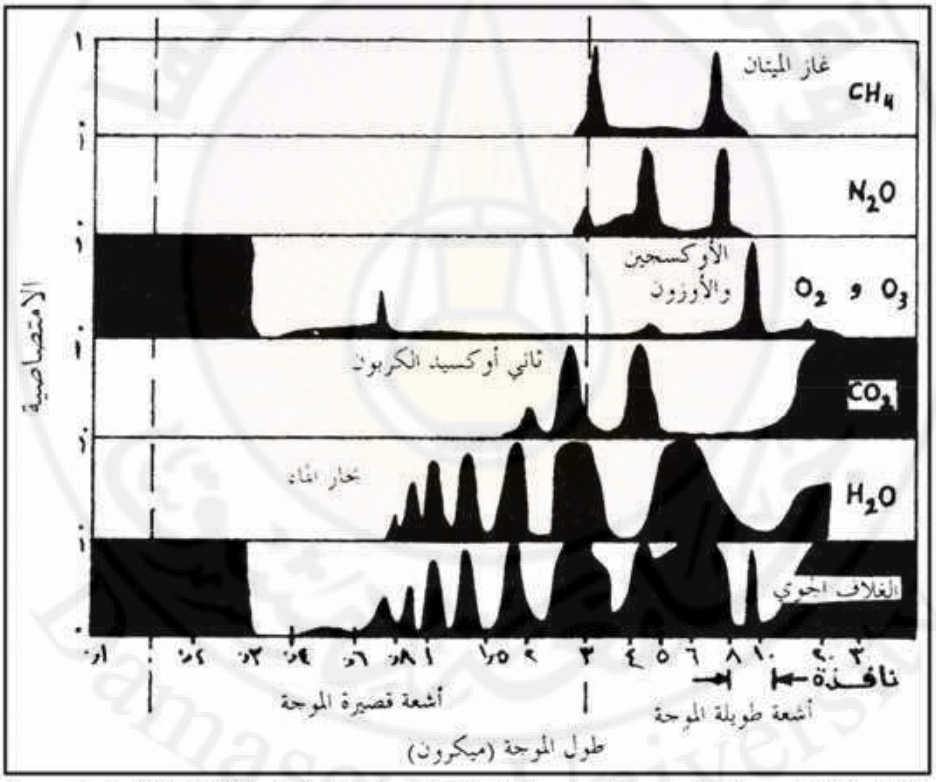
الخاصية	ثاني أوكسيد الكربون (CO_2)	الميتان (CH_4)	أكسيد النتروز (N_2O)	الكلور والفلور والكربونات (CFCs)
التأثير التراكمي النسبي (%) للمنبعثات بفعل الإنسان عام (١٩٩٠م) في الـ (١٠٠) سنة التالية	٦٧	١٥	٧	١١

المصدر: Bruce, J, 1990, P. 8.

ومما تجدر الإشارة إليه، أن عناصر الدفيئة الجوية بما تمتلكه من خاصية امتصاص الأشعة الحرارية (تحت الحمراء)، لا تمتص جميعها الحزم الإشعاعية نفسها من تلك الأشعة ذات الطول الموجي بين (٠,٧٥ – ١٠٠ ميكرون)، حتى ولو كان الجو مشبعاً بتلك العناصر، لكونها شفافة للحزمة الإشعاعية ذات الطول الموجي بين (٨ – ١١ميكرون)، لتشكل تلك الحزمة نافذة إشعاعية تبقى مفتوحة باستمرار أمام الأشعة الأرضية الواقعة ضمنها، لتهرب خارجاً دون إعاقة عائق. ودون أن تشارك في الدفيئة.

وبصورة عامة، فإن عناصر الدفيئة تكمل بعضها بعضاً في امتصاصها للحزم الإشعاعية التي تشكل الإشعاع الأرضي الذي يتراوح طول موجاته بين (٤ – ٥٠ ميكرون)، إلا أن امتصاصية تلك العناصر ليست تامة في الحزم الإشعاعية كافة، شكل (٥٢). فعلى الرغم من امتصاصية (CO_2) للحزم الإشعاعية (٣ – ٤ ميكرون، ٤ – ٥ ميكرون)، وفوق (١٣,٥ ميكرون) تكاد تكون تامة، إلا أن نسبة ماصيته تكون دون (٢٥%) للحزمة الإشعاعية (١,٧ – ٢,٥ ميكرون). أما غاز الأوزون فقوته الامتصاصية تكون في الأشعة فوق البنفسجية، خاصة ما كان منها ذا

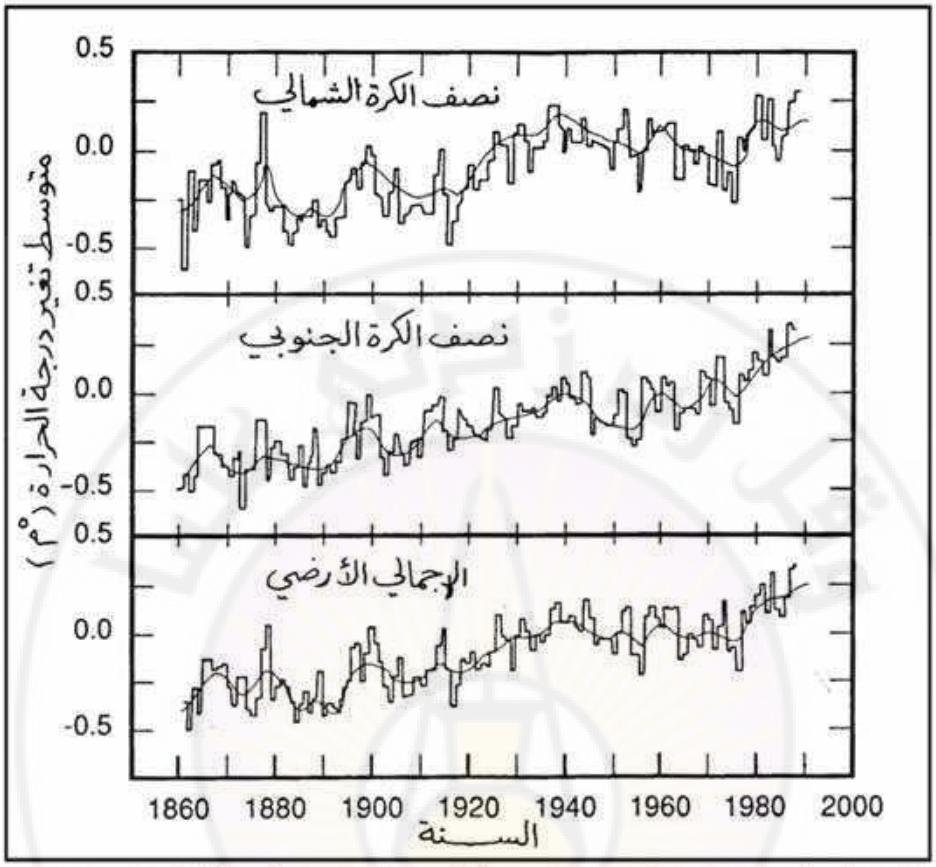
طول موجي أقل من (٠,٢٩ ميكرون)، كما يمتص الأوزون ومعه الأوكسجين الجزيئي (O_2) دوراً امتصاصياً فعالاً لحزمة إشعاعية تقع حول الطول الموجي (٩,٦ ميكرون). وتبرز فعالية أكسيد النتروز الامتصاصية كبيرة في حزمتين إشعاعيتين (٤,٢ – ٤,٨ ميكرون، و٧ – ٨ ميكرون) ومنخفضة فيما بين الطول الموجي (٢,٨ – ٤,٢ ميكرون). ويكاد أن يكون مجال غاز الميتان الامتصاصي متوافقاً مع مجال أكسيد النتروز، مع تباين في القمم الامتصاصية، كما هو موضح في الشكل (٥٢).



الشكل (٥٢) درجة امتصاصية بعض المركبات الجوية الهامة في الدفيئة للأطوال الموجية المختلفة

إن ظاهرة الدفيئة الجوية تعود إلى التغير الحاصل في نسبة المركبات الكيميائية الملوثة للجو الأرضي. وقد توقفت معظم الدراسات عند أهم

عناصر الدفيئة وهو ثاني أكسيد الكربون لكون تركيزه يفوق تراكيز بقية عناصر الدفيئة بأكثر من (١٥٠مرة)، ولكون مساهمته الحالية وحده في الدفيئة تقارب من (٧٠%). وقد اختلفت التقديرات الحرارية التي أعطتها العديد من الدراسات لفعالية (Co_2) المتزايد في الجو، فقد أظهرت الدراسة التي نشرها بروسي (Bruce, J. P عام ١٩٩٠م)، أن مضاعفة درجة تركيز (CO_2) في الجو تقود إلى زيادة في درجة الحرارة تتراوح بين (٢ – ٥ °م)، بمتوسط قدره (٣ °م)، متوقعاً ارتفاع درجة الحرارة من عام (١٩٩٠م حتى عام ٢٠٣٠م) بحدود درجة مئوية واحدة. بينما في رأي العالمين (رسول وشنايدر Rasool & Schnader) أن مضاعفة (CO_2) في الجو لن تؤدي إلى زيادة في درجة الحرارة لأكثر من (٠,٣ °م). أما التقرير الذي نشرته اللجنة الحكومية للتغير المناخي (IPCC) ضمن منشورات المنظمة العالمية للأرصاد الجوية عام (١٩٩٠م)، فقد أشار إلى إمكانية ارتفاع في درجة الحرارة بمقدار (٣ – ٦ °م) بين عامي (١٩٩٠ – ٢١٠٠م)، حيث يتضاعف عندها تركيز (CO_2) في الجو. وقد اعتمد مؤتمر (فيلاخ Villach) الذي عقد في النمسا في شهر تشرين الأول عام (١٩٨٥م)، بتنظيم كل من برنامج الأمم المتحدة للبيئة والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية والمجلس الدولي للاتحادات العلمية، على الزيادة المتوقعة في درجة حرارة الأرض بين (١,٥ – ٤,٥ °م) خلال الفترة (١٨٥٠ – ٢٠٥٠م)، والتي تقابله زيادة بحدود (٠,٧ – ٢,٠ °م) خلال الفترة (١٨٥٠ – ١٩٩٠م). غير أن المعطيات الحديثة اعتماداً على المتوفر من درجات الحرارة في محطات مختارة من العالم لم تقدم زيادة في معدل الحرارة الأرضية خلال الفترة (١٨٥٠ – ١٩٩٠م) أكثر من (٠,٧ °م)، انظر شكل (٥٣).



الشكل (٥٣) الاتجاه العام للتغيرات الحرارية في نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي وعلى مستوى الكرة الأرضية بشكل عام منذ عام (١٨٦٠م) وحتى عام (١٩٩٠م)

ومما يمكن قوله أن ظاهرة الدفئية الجوية أضحت واحدة من مشاكل البيئة، التي تحاط باهتمام كبير في أنحاء العالم كلها تخوفاً من آثارها المستقبلية، إذا ما كان التوجه المقبل نحو الارتفاع الحراري المستمر دون أن يعوقه عائق، أو يعكس وجهته عاكس، وما سيجري في الواقع على مستوى الكرة الأرضية بأغلفتها المختلفة، ليس من السهل التكهن به، أو اعتماده من خلال نماذج أصغرية يحاول العلماء تعميمها وإسقاطها مستقبلياً.

٥ - ٢ - ٣ - النواتج المناخية للملوثات الجوية:

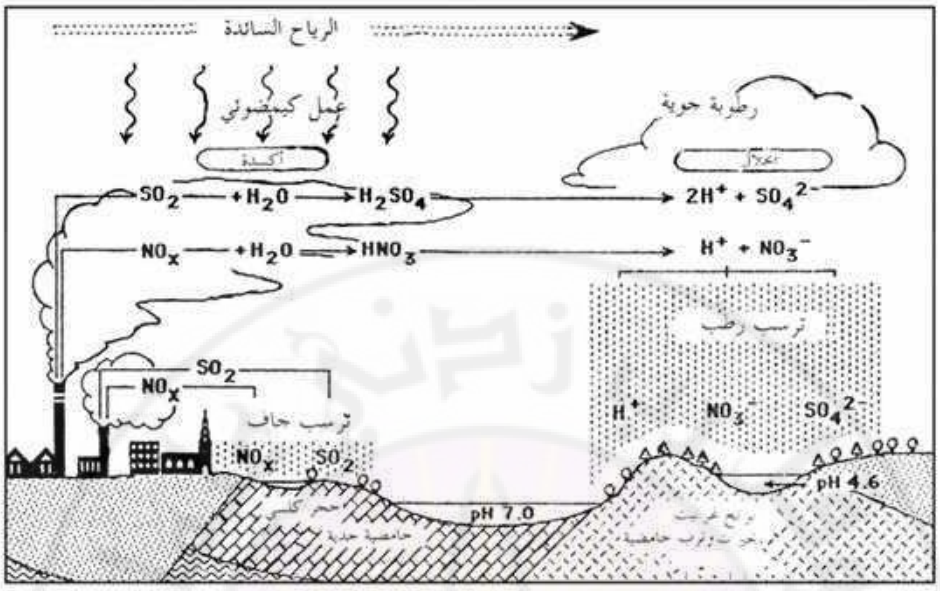
إن من أبرز نواتج الملوثات الجوية، بالإضافة إلى تأثيراتها الحرارية وما ينتج عن ذلك، هي الهطولات الملوثة بالملوثات المختلفة الكيميائية والجسيمية، ممثلة بالأمطار الحامضية والأمطار الطينية، وليتعدى ذلك إلى الهطولات الصلبة من ثلج وبرد.

٥ - ٢ - ٣ - ١ - الأمطار الحامضية (Acidic Rains):

إن المطر الحامضي هو أحد مشاكل العصر الحالي، وهو نتاج تلوث الجو ببعض المركبات الكيميائية (أكاسيد الكبريت وأكاسيد الآزوت والكربون) السريعة التفاعل مع الماء، خاصة في ساعات النهار حيث تقوم أشعة الشمس بدور مساعد على حدوث التفاعل.

ويشكل حمضا الكبريت والآزوت عند صري المطر الحامضي الأساسيين، شكل (٥٤). حيث باتحاد ذرة الأوكسجين المفردة (O) مع الماء (H_2O) يتولد جذرا هيدروكسيد ($O+H_2O \rightarrow OH+OH$)، فاعليتهما كبيرة في تحويل ثاني أكسيد الآزوت إلى حمض الآزوت:

$$NO_2 + OH \rightarrow HNO_3$$



الشكل (٥٤) آلية تشكل الأمطار الحامضية

وفي تفاعلات ثاني أكسيد الكبريت الذي يتحول إلى حمض الكبريت.

$$SO_2 + OH \rightarrow SO_3 + H$$
$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

أو

$$SO_2 + OH + O_2 \rightarrow SO_3 + HO_2$$
$$HO_2 + HO_2 \rightarrow H_2O_2 + O_2$$
$$H_2O_2 + SO_2 \rightarrow H_2SO_4$$

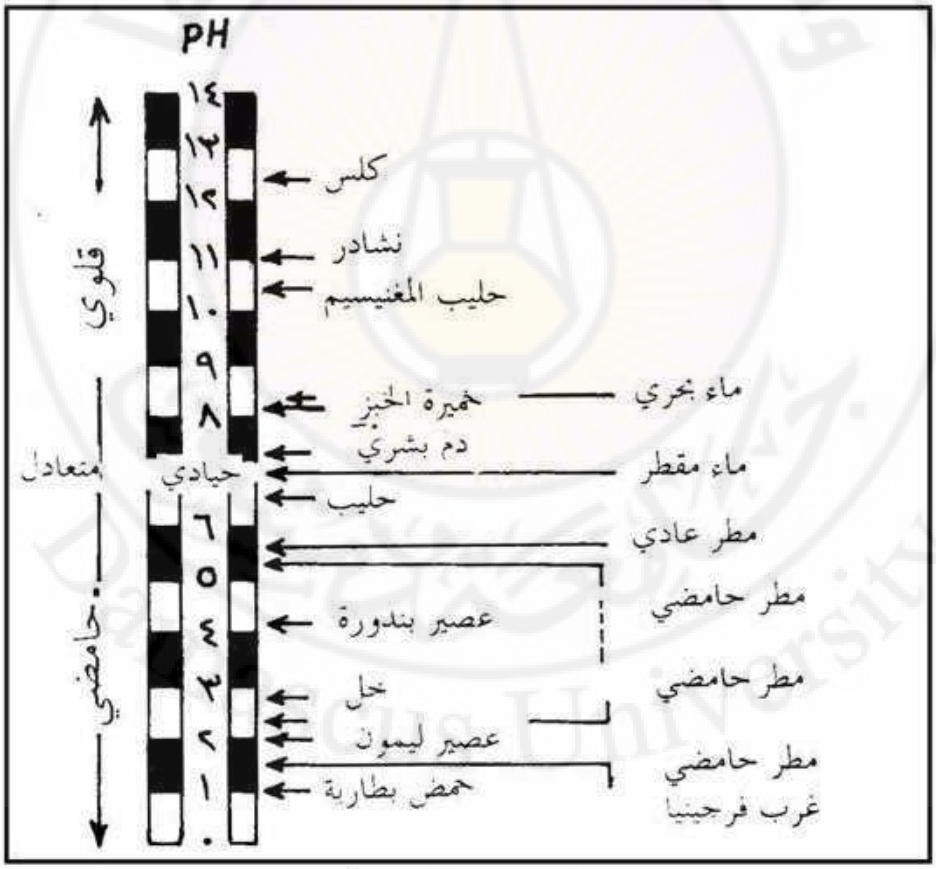
وقد يتشكل حمض الكبريتي (حمض الكبريت المخفف) من تفاعل (SO_2) مع (H_2O):

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$$

الذي يمكن أن يتأكسد متحولاً إلى حمض الكبريت:

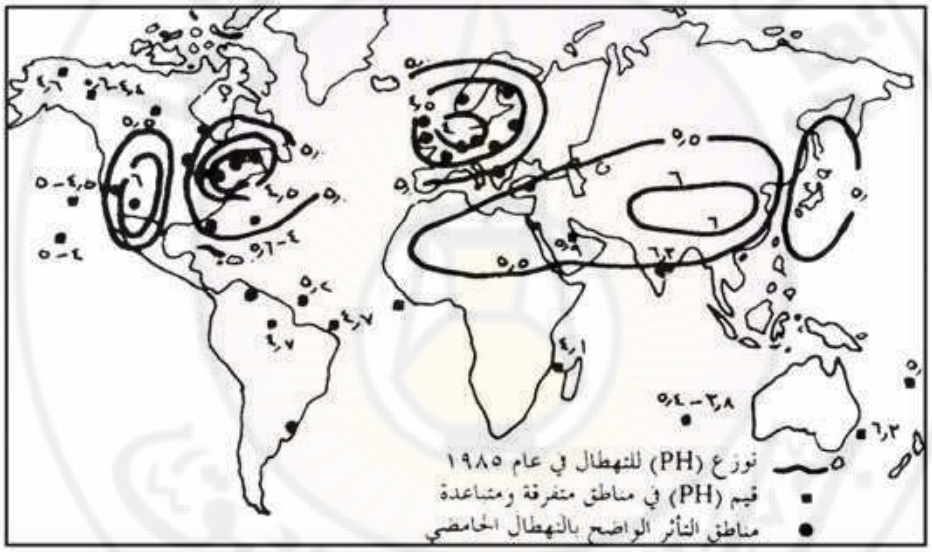
$$2H2SO3 + O_2 \rightarrow {}_2H_2SO_4$$

ويمكن لحموض الكبريت والآزوت أن تجد سبيلها بسهولة إلى السحب (الغيوم)، بالإضافة إلى تكون جزءاً من حمض الكبريت مباشرة في السحب. وإذا كان حمض الآزوت يذوب بسهولة في قطيرات السحب، فإن جزءاً من حمض الكبريت يتكاثف على شكل جسيمات بقطر بين (٠,١ - ٠,٢ ميكرون) يترسب بعضها على الأرض مع العوالق الهوائية بصورة ترسب جاف، وأغلبها يدخل ضمن قطرات الماء السحابية كنوى تكاثف لبخار الماء الذي شكلها، ويبين الشكل (٥٥) مقياس الحامضية (PH)، ومستويات الرقم الحامضي (PH) في المطر الحامضي مقارنة له مع مواد أخرى.



الشكل (٥٥) مقياس الحامضية (PH)

وتعاني الدول الصناعية والمناطق المجاورة لها (الدول الأوربية والولايات المتحدة وكندا)، والمناطق الصناعية والمدن الكبرى وما يجاورها من التغير في نوعية أمطارها، حيث أصبحت تغلب الصفة الحامضية على أمطارها، إذ تدنى الرقم الهيدروجيني في بعض هطولاتها المطرية إلى أقل من (٤,٥). وكلما كانت الأجواء الصناعية أكثر رطوبة كانت الحامضية أكبر (الرقم الاهيدروجيني أقل)، ويبين الشكل (٥٦) توزع الحامضية في العالم في منتصف الثمانينات من القرن العشرين.



الشكل (٥٦) توزع حامضية التهطال في منتصف الثمانينات من القرن العشرين

وتتبع أهمية الأمطار الحامضية من تأثيرها الكبير على العالم الحيوي، من نباتات وأحياء مائية، وكذلك منشآت بشرية، فهي تؤدي إلى أضرار واضحة في الغطاء النباتي تصل إلى يباسه، كما أنها تسبب في موت العديد من الأحياء المائية كما في الأسماك وغيرها، ففي الترويج انتهت الأسماك من نحو (٢٠٠٠) بحيرة من بحيراتها، بجانب نحو (١٠٠٠) بحيرة أخرى في طريق زوال الحياة منها، وفي كندا لم تعد

(٤٦٠٠) بحيرة صالحة لحياة الأسماك والحيوانات المائية الأخ رى. كم ا تعمل الأمطار الحامضية على تآكل سطوح الأبنية المعرضة لها، وهذا أمر مهم وخطير في ما يتعلق بالأبنية الأثرية، وكذلك تؤثر على المواد المعدنية والجلدية والمطاطية والبلاستيكية. بجانب ما تخلقه من مظاهر أرضية ف ي الصخور الكلسية من (تقارير وخدوش وحزوز). وما تفعله من تغيير مهم في الخصائص الكيميائية للتربة الزراعية بزيادة حموضتها مما يعيق نم و العديد من النباتات.

٥ - ٢ - ٣ - ٢ - الأمطار الطينية:

وهي ما تعرف بالأمطار الترابية أو الغبارية، أو بالأمطار الحم راء أو أمطار الدم (Blood Rains)، وهي أمطار تحتوي على كميات كبيرة من الجسيمات الترابية أو الغبارية التي شكل بعضها نوى تكاثف في القطيرات المطرية، والبعض الآخر انسحب مع المطر الهاطل إلى الـ سطح متلون ة الأمطار بألوان الجسيمات الصلبة التي هي عموماً من ن واتج العواص ف الترابية والأتربة المثارة من سطح التربة، والاندفاعات البركانية.

٥ - ٢ - ٣ - ٣ - الأمطار السوداء (Black Rains):

وهي أمطار ملونة عموماً بلون السواد، ب سبب دخ ول الج سيمات الدخانية السوداء في تركيبها كنوى تكاثف، أو هطولها معها. ومث ل ه ذه الأمطار تحدث في الأجواء المليئة بال دخان الأس ود (دخ ان المـ صانع والسيارات، أو دخان الحرائق)، كما هو الحال في الأمطار السوداء الت ي نتجت من دخان حرائق آبار البترول ومنشآته في الكويت التي حدثت أثناء الحرب العراقية - الكويتية في مطلع عام (١٩٩١م)، ومثل ذلك أمطار يوم ١٧ شباط عام (١٩٩١م) فوق جنوبي إيران... ومناطق أخرى.

٥ - ٢ - ٤ - تباين المناخ ما بين البيئات الملوثة وغير الملوثة:

إن اختلاف درجة تركيز الملوثات الجوية والجسيمية والكيميائية وما يتولد في الأجواء شديدة التلوث من ملوثات جديدة (ملوثات كيم ضوئية)، وما لآثار تلك الملوثات على عناصر المناخ المختلفة، لذا اختلف المناخ ما بين البيئات شديدة التلوث، التي تمثلها المدن، والبيئات غير الملوثة أو قليلة التلوث، التي تمثلها المناطق الريفية البعيدة نسبياً عن المدن وعن مناطق التركز الصناعي.

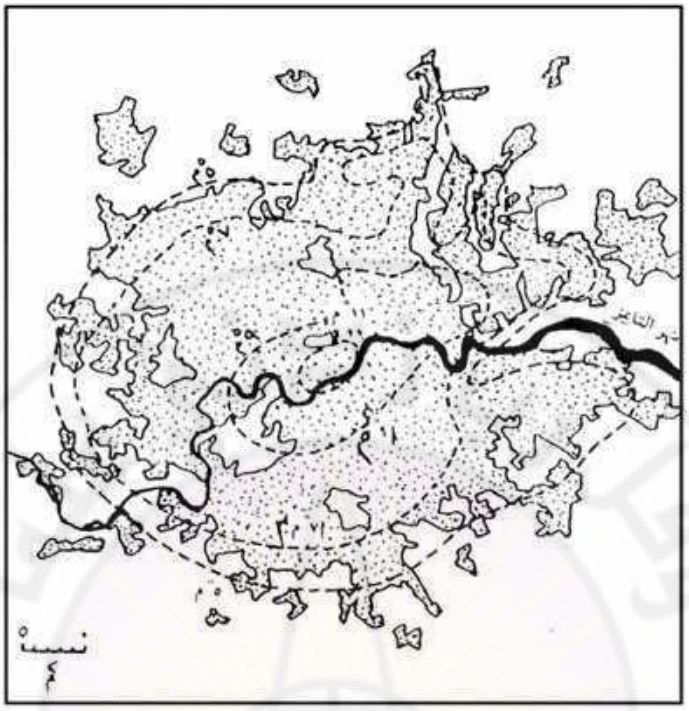
ويمكننا أن نلخص الفوارق ما بين المدينة والريف في الجدول (٢٠).

جدول (٢٠) الفوارق بين مناخ المدينة والريف

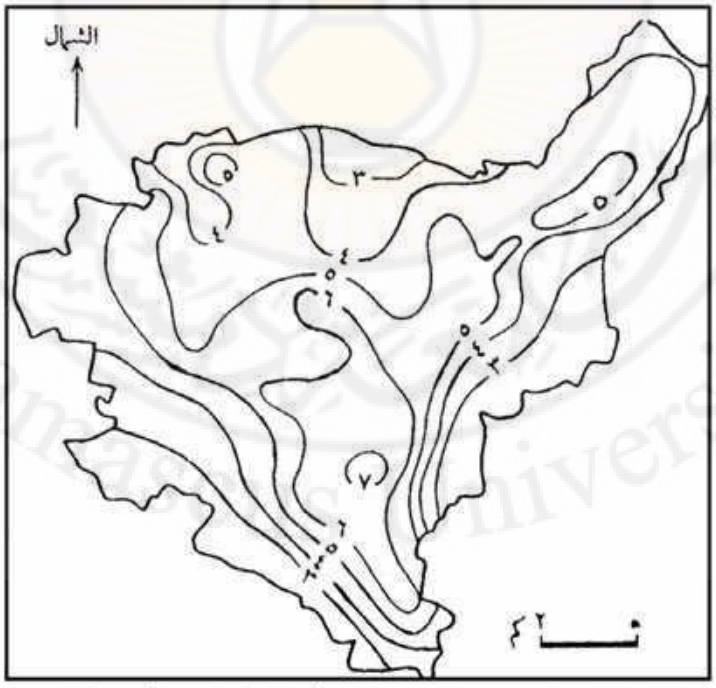
العنصر	الظاهرة	مقارنة بيئة المدينة مع بيئة الريف (- تشير إلى أقل، + تشير إلى أكثر)
الملوثات	جسيمات غبارية	+ ١٠ مرات
	ثاني أكسيد الكبريت	+ ٥ مرات
	ثاني أكسيد الكربون	+ ١٠ مرات
	أول أكسيد الكربون	+ ٢٥ مرة
الإشعاع	الإشعاع الكلي فوق سطح أفقي	- ١٥ - ٢٠ %
	الأشعة فوق البنفسجية شتاء	- ٣٠ %
	الأشعة فوق البنفسجية صيفاً	- ٥%
	مدة سطوع الشمس الفعلية	- ٥ إلى - ١٥ %
التغيم	كمية الغيوم	+ ٥ - ١٠ %
	الضباب شتاءً	+ ١٠٠ %
	الضباب صيفاً	+ ٣٠ %
التهطال	كمية التهطال الكلية	+ ٥ - ١٠%
	عدد الأيام التي كمية التهطال فيها أقل من ٥٥ مم	+ ١٠%
	كمية الثلج المساقط	- ٥%
	عدد أيام الثلج	- ١٤%

العنصر	الظاهرة	مقارنة بيئة المدينة مع بيئة الريف (- تشير إلى أقل، + تشير إلى أكثر)
درجة الحرارة	المتوسط السنوي	+ ٠,٥ - ١,٠ م
	الأصغري الشتوي	+ ١ - ٢ م
	طول الفترة الحرة من الصقيع	+ ٢ - ٣ أسابيع
الرطوبة النسبية	المتوسط السنوي	- ٦%
	المتوسط الشتوي	- ٢%
	المتوسط الصيفي	- ٨%
سرعة الرياح	المتوسط السنوي	- ٢٠ - ٣٠ %
	هبوب العواصف الشديدة	- ٥ - ٢٠%
	تردد حالات السكون	+ ١٥%

ليس هذا فحسب، بل تشكل المدن جزراً حرارية مقارنة بالريف المحيط بها، بفعل عدة عوامل، منها: الطاقة الحرارية المنبعثة من السيارات ووسائط التدفئة في المنازل وغيرها، والمصانع، التي تضاف إلى الجو، وشدة تمركز الملوثات الكيماوية ذات خاصية امتصاص الأشعة الأرضية (خاصية الدفيئة)... وعوامل أخرى. وقد يصل الفارق الساعي في درجة الحرارة بين مركز المدينة وأطرافها الهامشية والريف المحيط بها إلى أكثر من (٤ م)، وهو في الليل يكاد يبلغ ضعف ما هو في النهار. وتكاد تكون جميع المدن الكبرى والمتوسطة جزراً حرارية، والشكلان الآتيان (٥٧، ٥٨) يبينان جزيرتين حراريتين، أحدهما ممثلة في مدينة لندن، والأخرى في مدينة عمان بالأردن.



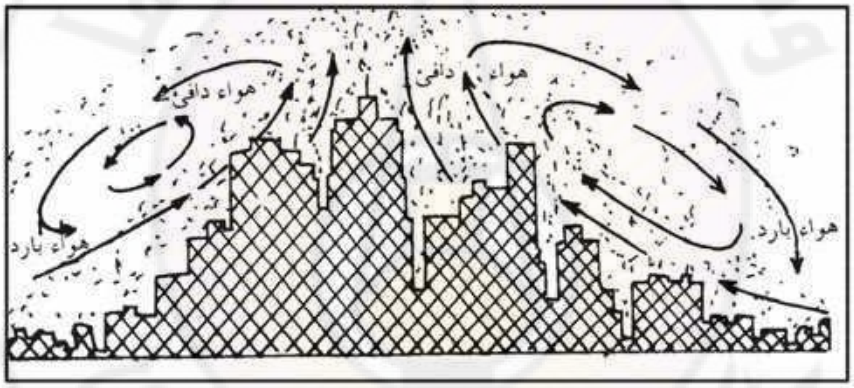
الشكل (٥٧) الجزيرة الحرارية في مدينة لندن



الشكل (٥٨) الجزيرة الحرارية لمدينة عمان الأردنية

وتبدو المدن الكبرى مغلفة بغلالة سديمية من الغبار، والدخان، والملوثات الجسيمية الأخرى، تأخذ شكل قبة تبدو واضحة في الأيام الهادئة الصحوة.

ومن نتائج الجزر الحرارية المدينية تولد حركة هوائية محلية حملانية في وسط المدينة الأحر، يتحقق من خلالها تبادلاً وحركة متواصلة بين هواء الريف والمدينة، إذ يرتفع الهواء الساخن وسط المدينة ويحل محله هواء من الريف المجاور الأبرد والأكثر كثافة، وسماكة هذه الدورة الهوائية المحلية لا يزيد عموماً على (١٠٠ م)، شكل (٥٩).



الشكل (٥٩) الحركة الهوائية المحلية فوق المدينة

٥ - ٣ - التأثيرات الحيوية لأهم الملوثات الجوية النوعية:

لبعض الملوثات تأثيرات متميزة على الأحياء، وخاصة الإنسان، ولذا فإنه من الضروري العمل على تخفيض نسبة تلك الملوثات في الجو إلى المستويات التي لا تؤثر فيها سلباً على صحة الإنسان خلال الفترات قصيرة الأجل وطويلة الأجل. وتحدد الفترات قصيرة الأجل بمدة حياة الأشخاص، لتمتد فترات الأجل الطويل إلى عدة أجيال قادمة. ويحتاج ذلك إلى معايير لضبط التأثيرات الحالية والمقبلة للملوثات.

والمعايير البيئية الموضوعة بشكل عام لحماية الأشخاص، سواء في مكان عملهم أم في بيئة واسعة خارج عملهم، من مخاطر المواد الملوثة للهواء والماء، تقوم على حدود التعرض أو قيم الحدود القصوى للمواد النوعية الملوثة التي يعتقد أن غالبية الأشخاص البالغين العاملين يمكن أن يتعرضوا لها لمدة (٤٠) ساعة، أسبوع، ولكامل حياتهم دون تأثيرات مرضية.

ولقد حددت العتبات الحدية القصوى للملوثات النوعية من معلومات تجريبية حيوانية، ومن المعرفة والتجارب الطبية، والمسح الوبائي، والدراسات البيئية. ففي المملكة المتحدة وأقطار المجموعة الاقتصادية الأوربية الأخرى (EEC) تستعمل القيم الحدية التي تم نشرها من قبل المؤتمر الأمريكي للصحة الصناعية (ACGIH) للعاملين في بيئات صناعية، ويمكن أن يعبر عن قيم العتبات الحدية بشكلين:

١ - أجزاء من مليون (PPm) التي تحدد نسبة الحجم الجزئي للغاز الملوث إلى الحجم الجزئي للهواء.

٢ - جزء من مليون من الغرام (ميكروغرام) في المتر المكعب (Mg/m3، مغ/م^{3})، معبراً عن حمولة الهواء من الجزيئات الملوثة.

إن موضوع تحديد المعايير الحدية للملوثات ليس أمراً سهلاً، إذ إن كثيراً من المواد الملوثة تكون ضارة بصحة الإنسان، مع صعوبة تحديد المستوى الذي يكون تركيزها عنده ضاراً بالصحة العامة للإنسان، وهذا يصعب الكشف عن التأثيرات الآنية، لكون آثار تلك الملوثات يمكن أن تتراكم في جسم الإنسان، بحيث تصبح نتائج التأثيرات طويلة الأمد هي الأساس، رغم التعرض الظاهري المنخفض للملوث.

والجدول (٢١) يبين قيم العتبة الحدية التي يبدأ عندها الملوث بممارسة تأثيره الضارة بوضوح، وفق تحديد (ACGIH).

جدول (٢١) العتبة الحدية التي تبدأ عندها الملوثات بإحداث تأثيرات ضارة واضحة

الملوث	التركيز	
	جزء من مليون (PPm)	مغ/م^3 (mg/m^3)
أول أكسيد الكربون	٥٠	٥٥
فلورين	٠١	٠٢
كلوريد الهيدروجين	٠٥	٠٧
فلوريد الهيدروجين	٠٣	٠٢
كبريتيد الهيدروجين	١٠	١٥
هيدروكربونات	٥٠٠	–
جسيمات وأغبرة الرصاص	–	٠,١٥
أكاسيد الآزوت	٥	–
أول أكسيد الآزوت	٢٥	٣٠
أوزون	٠,٠٥	٠,٢
بيروكسي أستيل الآزوت (PAN)	٠,٠٨	–
حمض الكبريت	–	١
ثاني أكسيد الكبريت	٥	١٥

وفيما يلي عرض لآثار أهم الملوثات:

٥ – ٣ – ١ – أول أكسيد الكربون (CO):

يعد غاز أول أكسيد الكربون من أكثر الغازات الملوثة للهواء سمية، فعندما يستنشق الإنسان هذا الغاز، يتحد مع خضاب الدم الأحمر المعروف بالهيموغلوبين (Haemoglobin) حارماً الجسم بذلك من الأوكسجين، وليتشكل من جراء ذلك الكاربوكسي هموغلوبين (Carboxy Heamoglobin)

الذي يتميز بعدم قدرته على الاتحاد مع الأوكسجين، مما ينتج عنه نقص في أوكسجين الدم في البدء، ومن ثم نقص أوكسجين عام يؤثر على الأجهزة المختلفة كلها في الجسم. والناس الذين يتعرضون إلى (٨٠) جزءاً من غاز أول أكسيد الكربون تنخفض لديهم قدرة حمولة الدم بحدود (١٥%)، والتي تكون مكافئة لفقد بنت واحد (Pint) من الدم.

ويكون هذا الغاز سمياً متراكماً، وإذا ما وصلت درجة تركيزه إلى نسبة (١٠٠٠) جزء من مليون أو أكثر، فستكون محصلته الموت المحتم. أما في حال التركيزات الأكثر من (١٠٠) جزء من مليون فتسبب أمراضاً كثيرة، منها: الصداع، دوار الرأس (الدوخة)، الفتور، غثيان النفس، الإقياء، خفقان القلب، وصعوبة التنفس. بينما لم يعرف تماماً تأثير التركيزات المنخفضة لـ (CO) خلال فترة طوية، وإن كانت تلك التأثيرات تختلف حسب العمر والجنس والوضع الصحي العام، وتتمثل بوجه عام في اضطراب نظام القلب والتنفس.

٥ - ٣ - ٢ - ثاني أكسيد الكبريت (SO_2):

إن تأثير التعرض لـ (SO_2) لفترة زمنية قصيرة ليست واضحة المعالم بدقة، وعلى كل حال، فإن بعض العمال الذين يتعرضون لتركيزات (٣٦) جزءاً من مليون لعدة سنوات، سيعانون أعراضاً مرضية تنفسية عدة، كما في ؛ التهاب البلعوم الأنفي (Naso - Phargngintis)، والسعال، وضيق التنفس.

ونتيجة لازدياد تركيز هذا الغاز في أجواء المدن مقارنة مع أجواء الريف، خاصة في الأجواء الضبخانية التي يترافق فيها كثرة الملوثات الدخانية مع الملوث الكبريتي (SO_2) مما يجعل الناس يتعرضون إلى العديد

من أمراض الجهاز التنفسي، مثل: التهاب القصبات الهوائية، والربو، والانتفاخ الرئوي (Emphysema)، والضيق في التنفس. وإذا ما كانت تراكيز هذا الغاز مرتفعة كثيراً، يحدث تشنج في الحبال الصوتية الذي قد يؤدي إلى تشنج فجائي واختناق وموت. وإذا ما تعرض الإنسان لتركيزات منخفضة بحدود (١ - ٥) جزءاً من مليون فيتولد عنه توتر عصبي، وضيق في التنفس، وإذا ما زاد التركيز إلى نحو (١٠) جزءاً من مليون، واستمرت مدة التعرض بحدود عشر دقائق، فيلاحظ ازدياد في معدل التنفس، وتسارع في خفقان القلب.

٥ - ٣ - ٣ - كبريتيد الهيدروجين (H_2S):

إنه من الغازات شديدة السمية، ويدخل الجسم عن طريق التنفس والجلد، مؤثراً على الجهاز العصبي المركزي، ومُحدِداً من عملية الأكسدة الخمائرية، مترتباً على ذلك حدوث اضطراب في التنفس الخلوي، كما أنه يؤثر على القدرة على التفكير، ويقوم بتهييج الأغشية المخاطية للمجاري التنفسية وتخريشها، مسبباً في حدوث التهابات في الحنجرة والقصبات الهوائية.

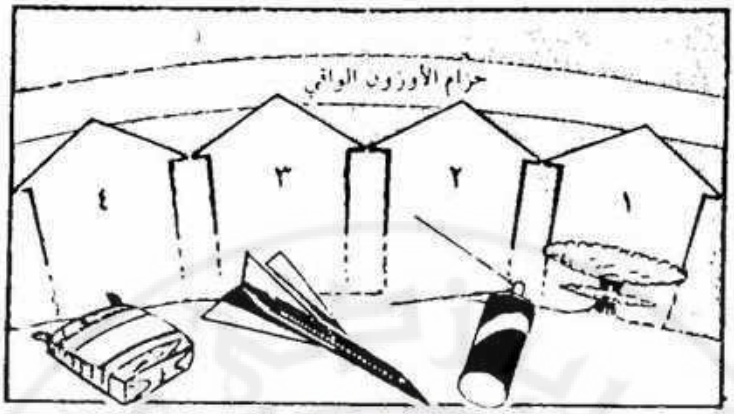
وفي شهر كانون عام (١٩٨٥م) أصيب عشرات الأشخاص بجروح وتقرحات داخلية نتيجة استنشاق غاز سام في بلدة (كارل سلوغا) السويدية القريبة من العاصمة استوكهولم، بسبب تسرب غاز حمض الكبريتيك من مصنع نوبل كيمي للكيماويات. وشكل هذا الغاز سحابة فوق المدينة التي يبلغ عدد سكانها آنذاك نحو (٣٦) ألف نسمة.

٥ - ٣ - ٤ - غاز الأوزون (O_3):

يوجد هذا الغاز بصورة طبيعية في المستويات المنخفضة من الجو، ليشغل نسبة (٠,٠٢) جزءاً من مليون، وتتزايد درجة تركيزه بفعل

الضبخان الكيمضوئي، نتيجة الملوثات المتزايدة المنطلقة من عوادم السيارات. فعندما تبلغ درجة تركيزه أرقاماً مرتفعة تتراوح بين (١,٥ - ٢,٠) جزءاً من مليون، فإنه سيترك آثاراً مرضية ملحوظة في حال استمرار التعرض لمثل هذه التركيزات لمدة ساعتين، تتمثل تلك الآثار في التهاب في العيون، والحنجرة، والرئتين، وتراجع في القدرة العقلية. كما أن الأشخاص الذين يعانون مرض الربو يكونون شديدي الحساسية والتأثير بتركيزات منخفضة من هذا الغاز تتدنى عن (٠,٢٥) جزءاً من مليون. أما التأثيرات طويلة الأمد لهذا الغاز فتتمثل بالإضافة إلى زيادة التأثيرات الخطرة على الجهاز التنفسي، في ازدياد تسارع ظهور الأورام (الخراجات). ويزداد تأثير الأوزون إذا احتوى الهواء على بيروكسي أسيل النترات (PAN).

ويترافق نقص الأوزون وزيادة نسبة الأشعة فوق البنفسجية عند سطح الأرض بأضرار كبيرة في النباتات والحيوانات، شكل (٦٠).



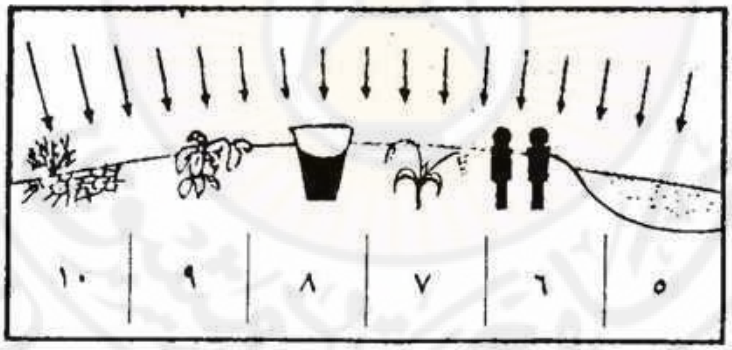
الملوثات التي تتلف الأوزون

١ ـ التفجيرات النووية كفيلة باتلاف الأوزون بنسبة ٢٠ ـ ٧٠٪

٢ ـ الاير وزول والفلوروكربون (١١) و (١٢) يتلفان الأوزون بنسبة ملحوظة وقد أقدمت بعض الدول على حظر صناعتها واستعمالها

٣ ـ الطائرات النفاثة التي تفوق سرعتها سرعة الصوت تقذف من عادمها أكاسيد الأزوت التي تتلف الاوزون

٤ ـ الاسمدة الازوتية يتصاعد منها أكسيد الأزوت الذي يتسبب بتلف الأوزون بنسبة لا تقل عن ١٥٪



الدمار الذي يحدثه الاوزون اذا تلف

٥ ـ يلحق الدمار بالبلانكتون تلك الكائنات البحرية الدقيقة التي تعتبر أساسا في بقاء الأحياء المائية

٦ ـ تكثر الاصابات بسرطان الجلد وتكثر الأمراض التي تصيب الانسان في جميع خلاياه

٧ ـ وتتناقص المحاصيل وتتعرض النباتات لأمراض وراثية مستعصية

٨ ـ ويصح من الصعب تكرير الماء وتصفيتها بالقدر الكافي

٩ ـ تلف الأوزون يتسبب في تحطيم خلايا الكائنات الدقيقة من الحيوان والنبات

١٠ ـ ويؤدي أيضا الى احداث تغييرات جذرية في المناخ

الشكل (٦٠) آثار نقص الأوزون على المناخ والأحياء

ولقد أظهر المسح الذي تم لكمية الأوزون الجوي فوق مدينة لـ وس أنجلس الأمريكية مستويات عظمى مقدارها (٩,٠) جزءاً من مليون، مقارنة مع المستويات الأعظمية فوق مدينة لندن البالغة (١,٠) جزءاً من مليون في ظروف موجة حرارية استثنائية.

٥ - ٣ - ٥ - الهيدروكربونات:

على الرغم من أن الهيدروكربونات تـ شترك فـ ي تكـ وين الـ ضبخان الكيمضوئي في أجواء المدن والمناطق الصناعية، بما له من آثار ضارة علـ ى الصحة. ورغم ازدياد تراكيز الهيدروكربونات في أجواء المدن، لم تتكشف بعد حقيقة آثارها المباشرة على صحة الإنسان، رغم أنهـ ا تـ شترك فـ ي تكـ وين الضبخان الكيمضوئي ذي الآثار الضارة على الصحة. ويعـ د الإتيلـ ين مـ ن الأهمية بمكان لكونه يسبب في تكوين مادة الفورمالدهيد المهيجة للعيون، وذلك خلال التفاعلات الكميضوئية. ومن المركبات الهيدروكربونيـ ة ذات الـ ضرر البالغ يمكن ذكر البنزوبيرين (C_2OH_{12}) الذي يعد من أهم المواد المسرطنة.

٥ - ٣ - ٦ - ثاني أكسيد الآزوت:

لثاني أكسيد الآزوت (NO_2) تأثيرات كبيرة علـ ى صـ حة الإنـ سان وراحته. فعندما يتم استنشاق هذا الغاز، يمكن أن تتشكل أحماض النتـ روز والنتريك التي تهاجم الغشاء المخاطي الداخلي للرئتين. وتتمثل الأعـ راض الفعلية الناجمة عن تركيزات مرتفعة في ؛ التليف الرئوي، وانتفاخ الرئتين، الذي يحدث عند العمال الذين يتعرضون لتركيزات تتـ راوح بـ ين (١٠ - ٤٠) جزءاً من مليون من ثاني أكـ سيد الآزوت، أمـ ا تـ أثير التركيـ زات المنخفضة فغير معروفة تماماً، ويمكن أن تنحصر فـ ي التهـ اب (تهـ يج) العيون، والحنجرة، والرئتين.

٥ - ٣ - ٧ - الفلور:

يمكن لجسيمات الفلور المعلقة في الهواء كملوث هوائي أن تترسب على أعشاب المراعي التي تتغذى عليها الحيوانات لتظهر آثارها المتمثلة في فقد الحيوانات لأسنانها، وفيما يمكن أن تعانيه من كساح ناتج عن تشوهات عظامية خلقية، وفي تآكل للأسنان.

كما يمكن للنباتات أن تعاني التسمم الفلوري، بتبقع الأوراق وتلونها باللون البني، ومن ثم جفاف الأوراق وموتها. ودخول الفلور ماء الشرب وبنسبة (١,٥ مغ/ل) يؤدي إلى إصابة الإنسان بتبقع الأسنان والاسمام الفلوري.

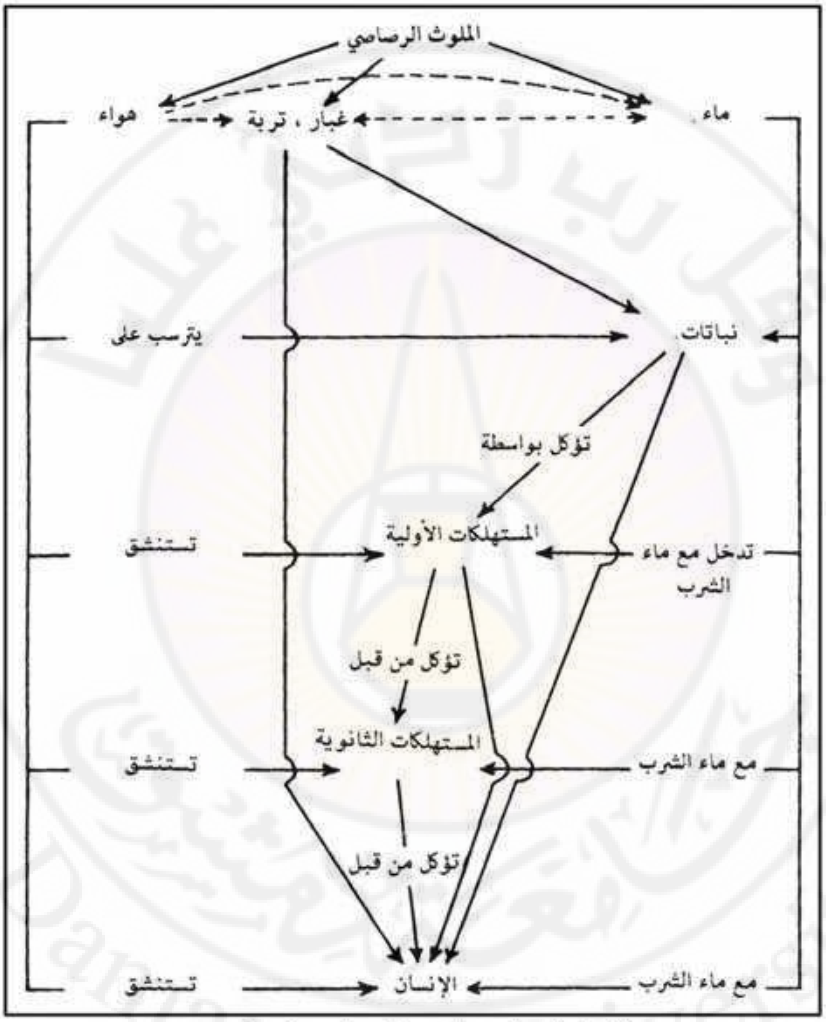
٥ - ٣ - ٨ - الزئبق:

تعد كل أشكال الزئبق ذات سمية عالية، ويعد بخار الزئبق أكثر الملوثات غير العضوية خطورة بسبب انتشاره ضمن الرئتين إلى الدم ومن ثم إلى المخ، وما يترتب على ذلك من آثار خطيرة، فلبخار الزئبق آثار تدميرية على الجهاز العصبي المركزي.

٥ - ٣ - ٩ - الرصاص:

إن جسيمات الرصاص الدقيقة الملوثة للهواء ذات أخطار كبيرة على الإنسان والحيوان. ويدخل الرصاص إلى جسم الإنسان عن طريق الرئتين والقناة الهضمية، شكل (٦١). ويمكن أن ينجم عن زيادة الرصاص في الجسم عدة حالات مرضية تتمثل في ؛ الضعف العام (الوهن) وفقر في الرباط العضلي، وإجهاض، وفقر دم، واضطراب في الجملة العصبية، والكليتين، بالإضافة إلى ما يمكن أن يحدثه من ضرر في المخ (ورم دماغي، شلل دماغي). ويسبب عند الأطفال الصغار تخلفاً عقلياً، أو

انخفاضاً في مستوى الذكاء، إذ يبدو أن الأطفال أكثر تأثراً بسم الرصاص من البالغين، بجانب كون الرصاص يتراكم في الجسم بسمية مؤذية ليحل محل الكالسيوم في العظام.



الشكل (٦١) مسارات الرصاص إلى الجسم

ولقد حددت منظمة الصحة العالمية (W. H. O) حد الرصاص في مياه الشرب بـ (٠,٠٥) جزء من مليون، كما أن من الواجب أن لا تزيد سويات الرصاص في الدم على (٠,٧) جزء من مليون، غير أن العديد من الهيئات

الطبية أقرت بأنه من الواجب أن لا تزيد المستويات العظمى للرصاص في الدم على (٠,٤) جزء من مليون عند البالغين، و(٠,٣) جزء من مليون عند الأطفال، والمستوى العادي للرصاص في دم البالغ (٠,٢ – ٠,٣) جزء من مليون يتلقاه جسم الإنسان عن طريق الطعام والشراب، غير أن هذه النسبة تزايدت بشكل عام لدى السكان كافة خلال الـ (٥٠) سنة الماضية، ويعزى هذا التزايد في الرصاص بالدرجة الأولى إلى الرصاص المنبثق من وسائط النقل التي تستخدم البنزين في إدارة محركاتها.

٥ – ٣ – ١٠ – جسيمات معدنية أخرى:

ينجم عن **البريليوم** حدوث تهيج في الجلد وفي الغشاء المخاطي، وتراكمه في الرئتين يسبب في أمراض البريليولي (Berylliosis)، كما يمكن أن يتسبب في حدوث سرطان في الرئتين وفي نقي (نخاع) العظام.

أما **الكادميوم**، فجرعة بسيطة منه تسبب التقيؤ والتهاب الغشاء المخاطي في الأمعاء الغليظة (قولنج) وإسهالات حادة. وينجم عن التعرض المستمر للكادميوم حدوث ارتفاع في الضغط الشرياني، وتضخم في القلب وموت مبكر، وهناك بعض الأدلة على تسبب الكادميوم في حدوث تشوهات خلقية، وتأثيرات مسرطنة على الرئتين.

ويسبب تلوث الهواء **بالزرنيخ** في حدوث تقيؤ وآلام بطنية حادة قد تؤدي إلى الموت، وكذلك التهاب في الشعب الهوائية الجلد، ويمكن أن يسرطن أنسجة الفم والحنجرة والمري والمثانة.

وينجم عن التلوث **بالنيكل** تأثيرات صحية عديدة تتمثل في: اضطرابات في الجهاز التنفسي، والتهابات جلدية، بالإضافة إلى إمكانية الإصابة بسرطان الرئة.

الفصل السادس

التلوث الإشعاعي

٦ – ١ – مفهوم التلوث الإشعاعي ومركباته.

٦ – ٢ – مصادر التلوث الإشعاعي.

٦ – ٣ – آثار التلوث الإشعاعي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

يمكن اعتبار التلوث الإشعاعي على أنه شكل م ن أش كال التل وث الجوي، ذلك أن معظم الإشعاعات تنتقل عبر الهواء لتمر في سلسلة م ن الانتقالات الأخرى عبر السلسلة الغذائية. وعلى الرغم م ن أن م صادر الإشعاعات متعددة، لم يظهر مفهوم التلوث بها إلا بعد أن بدأ الإنسان ف ي صناعاته النووية المختلفة، مطلقة الإشعاعات الضارة إلى الوسط المحيط.

٦ - ١ - مفهوم التلوث الإشعاعي ومركباته:

التلوث بالإشعاعات هو تزايد الإشعاع الطبيعي عقب استعمال الإن سان للمواد المشعة الطبيعية أو الصناعية. ولقد صاحب اكتشاف الطاق ة الذري ة، خاصة منذ اختراع القنبلة الذرية، انتشار مواد مختلفة خلفتها التجارب النووية على الأرض. وخلال السنوات الأخيرة تزايد انتشار المواد المشعة في الج و بصورة كبيرة، وأصبح يشكل خطراً على الصحة العامة.

وبصورة عامة، فإن العناصر الكيميائية تتركب م ن ذرات (Atoms) وتتركب الذرات من قلب مركزي (نواة Nucleus) يتكون م ن بروتون ات تحمل شحنة كهربائية موجب ة وم ن نيوترون ات (Neutrons) لا ش حنة كهربائية لها (جسيمات متعادلة الشحنة) تشكل معظم كتلة ال ذرة، وتح اط النواة بجسيمات إلكترون (إلكترونات) تحمل شحنة كهربائية سالبة ت دور بسرعة حول النواة في مدارات دائرية أو إهليليجية.

ولكل ذرة عدد كتل ي، ه و عب ارة مجم وع ع دد البروتون ات والنيوترونات، وعدد ذري، هو مجموع عدد البروتون ات فق ط. ولذ وى

العنصر الواحد العدد نفسه من البروتونات، إلا أن لها أعداداً مختلفة من النيوترونات، ذلك أن للعدد الذري للعنصر الواحد عدة نظائر ؛ فمثلاً للأوكسجين ثلاثة نظائر (O^{16}, O^{17}, O^{18}) وللهيدروجين أيضاً ثلاثة نظائر (هيدروجين، ديتريوم، تريتيوم).

وإذا كانت النوى الذرية غير مستقرة، فإنها يمكن أن تعاني تفككاً ذاتياً، متولداً عن هذه العملية انطلاق إشعاعات، وتدعى الذرات التي تعاني من التفكك بالذرات النشطة إشعاعياً. وفي الطبيعة نحو (٩٢) عنصراً نشطاً إشعاعياً، تختلف عن بعضها بخواصها الفيزيائية، وتشكل هذه العناصر بتفاعلاتها الكيميائية المختلفة جميع المواد المركبة العضوية وغير العضوية الموجودة في الطبيعة، ويوجد بصورة عامة، لكل عنصر عدد من النظائر قد تصل أحياناً إلى خمسين نظيراً للعنصر الواحد، وتعرف النظائر التي يحدث لها تفكك ذاتي باسم النظائر المشعة (Radioactive Isotopes)، حيث تتفكك نواة النظير إلى نواة أصغر مطلقة من جراء ذلك إشعاعات مختلفة (ألفا، بيتا، غاما، السينية).

ويمكن لبعض العناصر عن طريق تفككها أن تتحول بسرعة إلى عناصر غير مشعة، في حين يمكن لبعضها الآخر أن يبقى مدة طويلة، وقد استعملت عبارة مدة نصف الحياة (Half - Life) للدلالة على مدة بقاء المادة المشعة، ومدة نصف الحياة ؛ هي المدة اللازمة لذ صف المادة المشعة الموجودة في مكان مالكي تتحول إلى مادة أخرى، وتكون هذه الأخيرة إما مشعة أو غير مشعة، أما النصف الباقي من المادة المشعة فيتطلب المدة نفسها من جديد لكي تبقى نصف كميته فقط، أي ربع الكمية الأصلية، وكمثال: إذا كانت هناك عينة من الستروشيوم ٩٠ (Sr 90) تتضمن

(١٠٠٠) نواة ذرية، فإن (٥٠٠) منها ستتفكك خ لال فت رة (٢٨ س نة)، و(٢٥٠ نواة من الـ ٥٠٠ الباقية) ستتفكك خلال (٢٨ س نة) التالي ة... وهكذا. وتتراوح مدة نصف الحياة للنظائر المشعة من أجزاء الثانية إل ى ملايين السنين. والجدول (٢٢) يبين الأنواع النووية العنصرية التي يمك ن أن تنطلق إشعاعاتها إلى البيئة.

جدول (٢٢) الأنواع النووية العنصرية الإشعاعية

المصدر	نواة العنصر		نموذج الأشعة	نصف الحياة
	الاسم	الرمز		
إشعاع أرضي	رادون – ٢٢٢	Rn	ألفا	٣,٨ يوم
	راديوم – ٢٢٦	Ra	ألفا	١٦٢٢ سنة
	كربون – ١٤	C	بيتا	٥٥٧٠ سنة
	بوتاسيوم – ٤٠	K	بيتا	$١,٣ \times ١٠^{٩}$ سنة
	يورانيوم – ٢٣٨	U	ألفا	$٤,٥ \times ١٠^{٩}$ سنة
	ثوريوم – ٢٣٢	Th	ألفا	$١,٤ \times ١٠^{٩}$ سنة
تجارب الأسلحة النووية	ايودين ١٣١	I	بيتا، غاما	٨,١ يوم
	ستورنشيوم ٨٩	Sr	بيتا	٢٣ يوماً
	سترونشيوم ٩٠	Sr	بيتا	٢٨ سنة
	سيزيوم ١٣٧	Cs	بيتا، غاما	٣٠ سنة
	كربون ١٤	C	بيتا	٥٥٧٠ سنة
المفاعلات النووية	أرغون	Ar	بيتا، غاما	١,٨ ساعة
	كسينون ١٣٣	Xe	بيتا، غاما	٥,٣ يوم
	إيودين ١٣١	I	بيتا، غاما	٨,١ يوم
	كريبتون ٨٥	Kr	بيتا، غاما	١٠,٨ سنة
	تريتيوم ٣	H	بيتا، غاما	١٢,٣ سنة
	كربون ١٤	C	بيتا	٥٥٧٠ سنة

المصدر	نواة العنصر		نموذج الأشعة	نصف الحياة
	الاسم	الرمز		
معالجة معادة للوقود	إيودين ١٣١	I	بيتا	٨,١ يوم
	كريبتون ٨٥	Kr	بيتا	١٠,٨ سنة
	تريتيوم ٣	H	بيتا	١٢,٣ سنة
مصادر أخرى	كيوريوم ٢٤٤	Cm	ألفا، نيتوون	١٧,٦ سنة
	بلوتونيوم ٢٣٨	Pu	ألفا	٨٦,٤ سنة
	أمريكيوم ٢٤١	Am	ألفا	٤٥٨ سنة
	بلوتونيوم ٢٤٠	Pu	ألفا	$٦,٦ \times ١٠^{٦}$ سنة
	أمريكيوم ٢٤٣	Am	ألفا	٧٨×١٠^{٣} سنة
	بلوتونيوم ٢٣٩	Pu	ألفا	$٢,٤ \times ١٠^{٤}$ سنة
	بلوتونيوم ٢٤٢	Pu	ألفا	$٣,٨ \times ١٠^{٥}$ سنة
	نبتونيوم ٢٣٧	Np	ألفا	$٢,٢ \times ١٠^{٦}$ سنة

وتتمثل نواتج التفكك النووي للنظائر المشعة في إشعاعات مختلفة تتكون من أشعة ألفا، وجسيمات بيتا، وأشعة غاما، والنيترونات.

وأشعة ألفة Alpha، هي عبارة عن نواة عنصر الهليوم، وهي ذات شحنة كهربائية موجبة، وتتكون من بروتونين ونترونين، وتبلغ سرعتها نحو عشرين ألف كيلو متر في الثانية، وقدرتها على اختراق الأجسام الحية ضعيفة، وهي شديدة الضرر بالخلايا الحية التي تلامسها، لذلك تعد المواد التي تصدر عنها هذه الأشعة شديدة الضرر بالإنسان وغيره من الكائنات الحية الأخرى إذا ما دخلت أجسامها.

أما أشعة بيتا Beta، فهي أخف وزناً بنحو (٧٥٠٠مرة) من أشعة ألفا، وهي تحمل إما شحنة كهربائية سالبة (إلكترون) أو شحنة موجبة (بوزيترون) وقدرتها على النفوذ داخل الأنسجة الحية أكبر من قدرة أشعة ألفة، إلا أنها لا تتعدى (٢سم).

وأشعة غاما Gamma، وهي أشعة كهرطيسية ذات طاقة عالية، تشبه في سلوكها أشعة إكس (X). قابليتها شديدة لاختراق الأجسام، تنطلق بسرعة الضوء (٣٠٠ألف كم/ثا).

أما النيترونات، فهي جسيمات غير مشحونة كهربائياً، تنطلق من النوى الذرية، وتنتج النيترونات داخل المفاعلات النووية عن انفكاك نوى اليورانيوم، ويمكن لها أن تؤين المادة والأنسجة بصورة غير مباشرة.

٦ - ٢ - مصادر التلوث الإشعاعي:

يمكن تقسم مصادر التلوث بالمواد المشعة إلى قسمين ":

٦ - ٢ - ١ - المصادر الطبيعية:

وتتمثل في:

١ - **الأشعة الشمسية**، حيث يتألف الجزء الكوني منها (الأشعة الكونية) من أشعة غاما، والأشعة السينية، بالإضافة إلى أشعة جسيمية أخرى (ألفا، بيتا،...)، والكمية الواصلة من هذه الأشعة تختلف مع الارتفاع عن سطح البحر ومع درجة العرض، فالأحياء عند ارتفاع (١,٥كم) في العروض العليا تتلقى ضعف ما تتلقاه الأحياء عند مستوى سطح البحر في المنطلقة الاستوائية.

٢ - **القشرة الأرضية**، التي تحتوي على العديد من العناصر المشعة (اليورانيوم ٢٣٨، الثوريوم ٢٣٤، الراديوم٢٢٣، والراديوم٢٢٦... إلخ)، والتي تعطي جرعة إشعاعية للجنس البشري تزيد أحياناً على الجرعة الناتجة عن الأشعة الكونية.

٣ - **الماء والطعام**، توجد العناصر المشعة أيضاً في ماء الشرب الذي يتسرب ضمن التربة، وفي الغذاء الذي يستمد من الأرض، وهذه

العناصر، كما في (البوتاسيوم ٤٠، الكربون ١٤، والراديون ٢٢٢) تدخل إلى الجسم البشري مع الطعام وماء الشرب.

والجدول (٢٣) بين معدل الإشعاع الطبيعي في المملكة المتحدة عام (١٩٧٦م).

جدول (٢٣) معدل الإشعاع الطبيعي في المملكة المتحدة عام (١٩٧٦م)

مصدر الإشعاع	الجرعة في السنة (مل ريم)	
	في نخاع العظم	في الخلايا الإنتاجية
أشعة كونية	٣٣	٣٣
صخور، تربة	٤٤	٤٤
داخل الجسم	٢٤	٢٨
المجموع	١٠١	١٠٥

وبصورة عامة يقدر أن الجرعة الإشعاعية من المصادر الطبيعية تتراوح بين (٥٠ - ٢٠٠مل ريم/سنة)، حسب الارتفاع عن سطح البحر، والعروض والتشكيلات الصخرية.

٦ - ٢ - ٢ - **المصادر البشرية، وتتمثل في الآتي:**

١ - **الاستخدامات الطبية**، حيث تستخدم الأشعة السينية (X) في المجالات الطبية لتشخيص المرض وعلاجه، كما تستخدم في طب الأسنان، ويمكن للأشعة السينية النفاذ إلى الجسم، كأشعة غاما، وبالتالي يصبح الجسم مصدر أشعة.

٢ - **تجارب التفجيرات النووية:** تشكل تجارب التفجيرات والأسلحة النووية مصدراً مهماً من مصادر الإشعاع الذري، وهذه التجارب تتم إما في الجو أو على سطح الأرض، أو تحت الأرض، أو تحت سطحها أو في أعماق

البحار، وجميع تلك التجارب باستثناء ما تجري تحت سطح الأرض، تنتج كميات هائلة من منتجات الانشطار النووي، كما في (الكربون ١٤، السترونشيوم ٩٠، الايود ١٣١، والسيزيوم ١٣٧). وتتشتت المادة النشطة إشعاعياً في الجو حسب حجم الانفجار النووي الحاصل، فالنويات الناتجة من الانفجارات الضخمة (ميغا طن) تدخل إلى طبقة الستراتوسفير، حيث يمكن لها أن تبقى لمدة عشر سنوات، غير أنّ الانفجارات ذات الطاقة المنخفضة (كيلو طن) لا تتعدى نواتجها طبقة التروبوسفير، مستمرة فيها لعدة أسابيع فقط أو أشهر. ويمكن للنويات أن تعاني مزيداً من التفكك في الجو يمكنها من الانتشار فوق الأرض بكاملها، لتترسب في النهاية على سطح الأرض بصورة بقايا العناصر نشطة الإشعاع.

ويمكن أن تقسم تجارب الانفجارات النووية إلى ثلاث مراحل وفق فترة حدوثها:

أ – مرحلة ما بعد الحرب العالمية الثانية:

وتجارب هذه المرحلة حدثت فوق سطح الأرض بدءاً من عام (١٩٤٥م) مستمرة حتى عام (١٩٥٢م)، وفي سبع السنوات هذه استخدمت كل من الولايات المتحدة والاتحاد السوفييتي، والمملكة المتحدة عنصري اليورانيوم ٢٣٥، والبلوتونيوم ٢٣٩، كما مادة انشطارية في مجموعة التجارب النووية الجوية الـ (٣٨).

ب – المرحلة الثانية وتشمل التجارب التي استمرت من عام (١٩٥٢ حتى عام ١٩٦٢م):

وقد حدث خلالها العديد من التجارب على الأسلحة النووية الحرارية أو الهيدروجينية (٣٩٣ تفجيراً)، وقد رافق ذلك اهتمام متزايد بآثار التلوث

الإشعاعي، وأصوات تنادي بالحد من مثل تلك التجارب، مما حدا بـ القوى النووية الثلاث في عام (١٩٦٣م) لتوقيع معاهدة حظر جزئي على التجارب النووية، وذلك بالإبقاء فقط على التجارب التي تجري تحت الأرض.

ج - مرحلة ما بعد عام (١٩٦٣م):

فمنذ عام (١٩٦٣م)، أجرى كل من الاتحاد السوفييتي والولايات المتحدة وبريطانية تجاربهم النووية تحت الأرض، بينما بدأت كل من فرنسا والصين والهند تجارب أسلحتهم النووية في الجو في أعوام (١٩٦٠، ١٩٦٤، ١٩٦٧م) على التوالي، لكونهم لم يوقعوا على معاهدة (١٩٦٣م) حيث تم تسجيل (٤٨) تفجيراً نووياً جوياً فيما بين عامي (١٩٦٣ - ١٩٧٣م).

وإنه لمن الصعب إيجاد تقدير دقيق لكمية الإشعاع النووي في الجو الناتج عن فعل الإنسان من تجارب الأسلحة النووية، وكانت سنة (١٩٦٣م) القمة التي كان الناتج خلالها بحدود (١٢مل ريم). كما تشير إحدى التقديرات إلى أن متوسط الجرعة من الإشعاع المتراكمة فيما بين عامي (١٩٦٨ - ١٩٩٨م) بلغت نحو (١٤٠ مل ريم)، وهي من نتائج تجارب ما قبل (١٩٦٨م)، وكم هو العالم اليوم بحاجة لتوقيع معاهدة حظر شاملة للتجارب النووية المدمرة كافة.

٣ - **المصدر البشري الثالث للإشعاع:** هو من نتاج تزايد استعمال النظائر المشعة في الصناعة، والبحوث، والطب، ومن استعمال المفاعلات النووية في توليد الطاقة والكهرباء. ففي خلال مرحلة إنتاج الوقود النووي، وفي أثناء عمل المفاعل النووي، تنطلق كتل ضخمة من بقايا

الإشعاع إلى الجو الذي يمثل خطراً حقيقياً، بالإضافة إلى الخطر الـ ذي ينتج عن تلك المفاعلات النووية في حالات حدوث تـ سربات إشـ عاعية منها، كما حدث في عام (١٩٧٩م) في الولايات المتحدة، أو فـ ي حـ ال حدوث أي انفجار في تلك المفاعلات، كما حدث في محطـ ة تـ شرنوبل الأوكرانية عام (١٩٨٦م)، شكل (٦٢).



الشكل (٦٢) السحابة الإشعاعية الناتجة عن انفجار المفاعل النووي تشرنوبل في (٢٦) نيسان (١٩٨٦م)، ومسارها

٦ – ٣ – آثار التلوث الإشعاعي:

تعد المواد المشعة إحدى مصادر التلـ وث العديـ دة، التـ ي آثارهـ ا المباشرة وغير المباشرة تفوق كل وصف، وقنبلتا هيروشيما وناغـ ازاكي الذريتان مثال شاهد على ذلك. ومن المعروف أن نسبة من الطاقة المتولدة

من الانفجارات النووية تتحول إلى إشعاعات أيونية، وعند ما تنفذ تلك الأشعة إلى جسم الإنسان، أو غيره من الكائنات الحية، لا يشعر بها لقدرتها الكبيرة على اختراق الجسم. وتنتقل هذه الأشعة إلى أنسجة الجسم، مسببة في تأيين الذرات التي تتركب منها تلك الأنسجة، عن طرق فقد تلك الذرات للإلكترونات، وكل إلكترون ينفصل وينتقل بشكل حر يتولد عنه أضرار، ومن الممكن أن يحدث مثل ذلك، ضمن سلسلة من التأينات التي تسبب تفكك الجزيئات واضطراب في التوازن الوظيفي لأنظمة الجسم الحيوية، والضرر الذي يحدث في الجسم من الأشعة لا يمكن كشفه مباشرة بعد التعرض للإشعاع، بل تبقى تلك المؤثرات السلبية تتراكم لتظهر حتى بعدة عدة سنوات.

والواقع أن الخطر الأساسي، ينتج من التركيز العضوي الشديد للمواد المشعة التي تتعرض لها المواد الغذائية، وبهذا ينتج تلوث إشعاعي غير مباشر، يبدأ بسقوط هذه المواد من الجو على التربة والمياه، ولتتركز تلك الجسيمات المشعة في الحيوانات والنباتات التي تحصل على غذائها من التربة ومن الماء، ليتعرض مستهلكوها إلى خطر داهم.

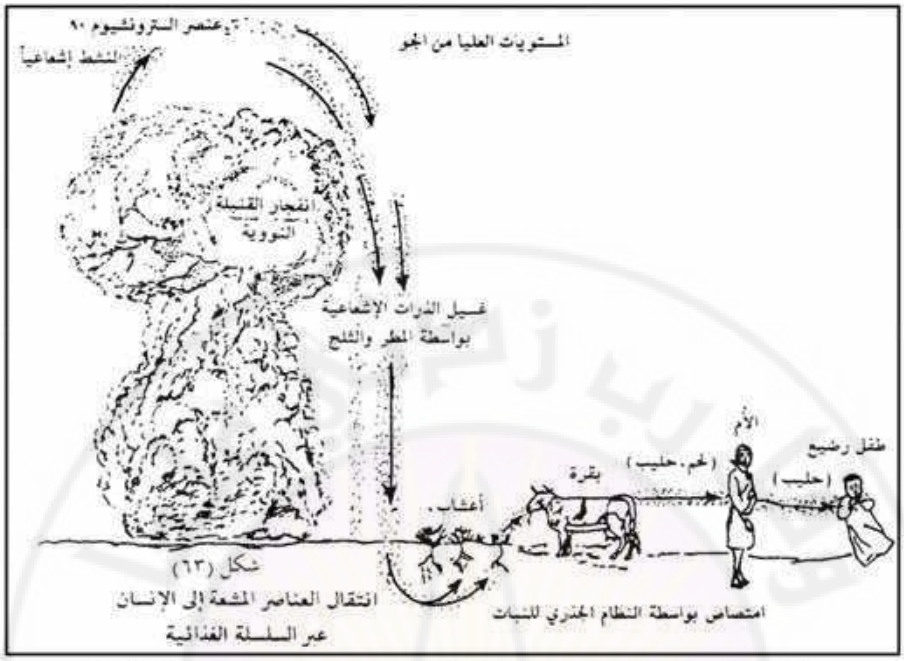
وفي حال تعرض الجسم بكامله للأشعة، تبدو عليه العديد من الأعراض المرضية التي سببها الإشعاع، منها ما هو معدي ومعوي، ومنها ما هو عصبي. وتتوقف حدة الأعراض وحدوثها إثر تشعيع الجسم بأكمله على الجرعة الكلية المتلقاة من الإشعاع، وعلى معدل سرعة تلقي الجرعة، ففي الجرعات السريعة والكبيرة التي تزيد على (٢٠ غراي)، تظهر أعراض مرضية في الجهاز العصبي المركزي يمكن أن تقود إلى الوفاة خلال بضع ساعات إلى يومين، بينما تظهر الإصابات المعدية والمعوية في

الجرعات الإشعاعية بين (٥ – ٢٠ غراي) التي قد تنتهي بالوفاة خلال أسبوع أو أسبوعين. وفي حال كون الجرعات بين (٢ – ٥ غراي) تبدو أعراض إصابة متنوعة (غثيان، إقياء، فتور عام، حمى، ظهور نقط دموية في الجلد، نزف في اللثة).

وتعد الأعضاء التناسلية شديدة الحساسية بالإشعاع الذي قد يؤدي إلى عقم مؤقت أو دائم، وكذلك الرئة ونقي العظام والعينان كلها أحاسة للإشعاع، والجلد سريع التأثر بالإشعاع.

ويمكن أن ينتج تلوث باطني بالإشعاع عند استنشاق الغبار المشع الذي تحمله السقاطة الإشعاعية، وقد تبتلع النواتج المشعة مع الغذاء أو الماء الملوث، مؤدية بذلك إلى أمراض رئوية وسرطانات، تكون نهايتها الموت في معظم الأحيان.

ويعد عنصرا السترونشيوم ٩٠ (Strontiun - 90) والسيزيوم ١٣٧ (Caesium - 137) خطرين جداً على الصحة، لكون أولهما مشابهاً كيميائياً للكالسيوم الذي يدخل في تركيب العظام، لذا فإنه يحل محل الكالسيوم، خاصة عند الأطفال، ولأن الثاني يشبه البوتاسيوم ويتوزع في الجسم مثله متراكماً في جميع الخلايا. ولا يقل عنصر البلوتونيوم ٢٣٩ (Plutonium - 239) عنهما خطورة، لإطلاقه الأشعة السينية، ولتراكمه في العظام مثل السترونشيوم، مع نتائج مشابهة من فقر دم وغيره. ويصل السترونشيوم (٩٠) إلى الإنسان من خلال اللبن واللحوم، بينما يصل إليه السيزيوم (١٣٧) من خلال السمك والخضروات والنباتات الأخرى، شكل (٦٣). ومن أبرز الأخطار: الأضرار المباشرة التي تصيب الدنا (DAN) وما ينجم عنها من تحطم الكروموزوم وتعديل الأسس التكوينية، وتشوهات بشرية وحيوانية مستقبلية.



الشكل (٦٣) انتقال العناصر المشعة إلى الإنسان عبر السلسلة الغذائية

وتضر المواد المشعة أيضاً الحيوان والنبات، حيث تتأثر بشكل واضح بالأشعة المؤينة التي تزيد من احتمالات حدوث الوفيات فيها، ويترافق ذلك أيضاً بتأثيرات بارزة، تتمثل في حدوث تشويهات كثيرة لتلك الكائنات، قد تتعدى التشويهات البشرية، وحدوث نقص في عملية التمثيل العضوي (Metabolism)، وغير ذلك.

ولا تزال أحداث ونتائج تفجير القنبلتين النوويتين فوق سماء مدينتي هيروشيما وناغازاكي اليابانيتين في (٦ و٩ آب من عام ١٩٤٥م)، ماثلة في أذهان العالم بأجمعه لما سببتاه من آثار تخريبية وتدميرية وبشرية راح ضحيتهما ما لا يقل عن (١٠٦ألف) قتيل ومفقود، بالإضافة لمن شوهته الإشعاعات. شكل (٦٤، أ – ب).



الشكل (٦٤ – أ) السحابة الإشعاعية الناجمة عن ضرب ناغازاكي بالقنبلة النووية



الشكل (٦٤ – ب) صورة لمعاناة هيروشيما من القنبلة النووية التي ألقيت عليها

لقد دخلت الإنسانية مرحلة جديدة من مراحل الخطر الداهم المهدد دائماً بالفناء، بعد اكتشاف النشاط الإشعاعي في عناصر اليورانيوم ومن ثم الراديوم وغير ذلك من العناصر المشعة، متجسداً ذلك الخطر في القنبلتين النوويتين اللتين فجرتا عام (١٩٤٥م) فوق مدينتي هيروشيما وناغازاكي اليابانيتين. ففي يوم السادس من شهر آب (١٩٤٥م) فجرت الولايات

المتحدة الأمريكية قنبلتها الأولى في سماء مدينة هيروشيما على ارتفاع (٥٨٠م)، وبقوة انفجار بلغة قرابة (١٥ طن) من الكيماويات المتفجرة، أما اليوم التاسع من الشهر نفسه ففجرت القنبلة الثانية في سماء مدينة ناغازاكي على ارتفاع (٥٠٠م) إلى الشمال من مركز المدينة. وبالإضافة إلى الآثار التخريبية التي نجمت عن الطاقة الانفجارية المتولدة، التي بلغت مئات الملايين من المليارات، فإن الطاقة الحرارية التي نتجت كانت من الكبر بحيث أحرقت كل الأجزاء العارية من جسم الإنسان حتى على بعد (٤كم) من مركز الانفجار في حالة قنبلة هيروشيما، أما الإشعاعات المؤينة الذي نفذت إلى الجسم فتولد عنها أخطار جسيمة.

وقد دلّت الإحصاءات في اليابان على أن نسبة المصابين بسرطان الدم من بين سكان هيروشيما وناغازاكي، الذين نجوا من خطر القنابل الذرية تزيد تسعة أضعاف عنها في سائر أنحاء اليابان، وقد ظهرت أعراض سرطان الدم عندهم بعد مرور عدة سنوات على الانفجار، مما يدل على أن خطر الإشعاعات النووية لا يظهر فوراً، وإنما بعد فترة من تاريخ التعرض لها. ومن أخطر تأثيرات الإشعاعات النووية، هي الأخطار الوراثية، التي تتمثل في إنجاب أطفال مشوهين جسمياً وعقلياً.

ويحتوي سجل عالمنا المعاصر، على الكثير من أحداث مخاطر التجارب على القنابل النووية وكذلك التجارب على الأسلحة النووية، بالإضافة إلى المحطات النووية، نذكر منها ما يلي:

١ - كارثة إحدى المحطات النووية عام (١٩٥٧م) في شمالي إنكلترا، حيث تلوث الهواء بكميات كبيرة من اليود ١٣١، والسترونشيوم ٩٠، والسيزيوم ١٣٧. وتبين أن التركز الأعظمي لهذه العناصر المشعة كان

على بعد (٢,٣ كم) من المحطة، وقد وجدت العناصر المشعة في حليب الأبقار التي تعيش على مسافة تقدر بـ (٥٠٠ كم) حول المحطة (٤,١ × ١٠ $^{-٦}$ كوري/ل).

٢ - ما تعرض له ستة من العلماء اليوغوسلاف عام (١٩٥٨م) في مركز الأبحاث النووية في فينكا، لأشعة غاما، وللنترونات الصادرة عن مفاعل نووي في أثناء إجراء بعض التجارب، فمات أحدهم، وتم إسعاف الخمسة الآخرين إلى مؤسسة كوري في باريس.

٣ - حادثة تشرنوبل في الاتحاد السوفييتي، حيث حدث الانفجار والحريق في محطة تشرنوبل في أوكرانيا، في السادس والعشرين من شهر نيسان عام (١٩٨٦م)، ناتجاً عن ذلك نشوء سحابة ضخمة من النظائر المشعة انتشرت فوق أوكرانيا، وعبرت أجزاء عديدة من الدول الأوربية. وعلى الرغم من استمرار الحياة العادية في مدينة كييف التي تبعد (١٣٠كم) عن مفاعل تشرنوبل النووي، دفعت آثار التلوث المسؤولين في المدينة لاتخاذ إجراءات صارمة لحماية المواد الغذائية وماء الشرب من أخطار التلوث.

٤ - حدثت في الولايات المتحدة الأمريكية أكثر من (٢٣٠٠) ظاهرة تسرب نووي، منها كارثة (ثري مايل آيلاند) التي وقعت عام (١٩٧٩م) والتي استمرت أعمال التطهير لآثارها حتى عام (١٩٨٥م).

ويبدو أن أعضاء الجسم ليست متساوية في درجة تأثرها بالإشعاعات، وأكثر أعضاء الجسم تأثراً هي، الأعضاء المكونة للدم (مخ العظام والعقد البلغمية)، والجهاز الهضمي، والجلد، والغدد التناسلية.

ويمكن أن تسبب المواد التي لا تذوب في الماء والتي يبتعلها الإنسان مع الأطعمة الملوثة سرطاناً في الجهاز الهضمي، خاصة في القسم الأخير من المعي الغليظ. كما تشكل المواد المشعة التي يتنشقها الإنسان والتي لا تذوب في الماء خطراً على الرئتين بالدرجة الأولى، أما المواد التي تذوب في الماء فإنها تنتشر في خلايا الجسم كلها، ويمكن أن تتمركز في أعضاء مختلفة.

الباب الثالث

التلوث الضوضائي

الفصل الأول: الصوت، والسمع، والضوضاء.

الفصل الثاني: مصادر الضوضاء.

الفصل الثالث: آثار الضوضاء.

الفصل الرابع: الضوضاء في مدينة دمشق.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

الصوت، السمع، الضوضاء

١ - ١ - الصوت وخصائصه.

١ - ٢ - الضوضاء.

١ - ٣ - الأذن والسمع.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

إن جمال الصوت، بعذوبته، ورقته، وتناسق نغماته، وكم يتحول الصوت الجميل عند بعضهم إلى مصدر إزعاج. فكما يطلقون العنان لدخان سيجارتهم غير عابئين بمن حولهم، نجدهم أيضاً، يتباهون في رفع أصواتهم، وأصوات مقتنياتهم، من مذياع وتلفزيون، وسيارة... إلخ، رغم إدراكهم لما يمكن أن تسببه من مضايقات للآخرين. ولقد أصبحت اليوم الضوضاء إحدى المظاهر التي تقلق حياة الإنسان، والتي قد لا تقل خطورة عن التلوث بمختلف أنواعه، حتى لينظر إليها على أنها مظهر من مظاهر التلوث، يعرفونها بعضهم بالتلوث الضوضائي.

إن الضوضاء شكل من أشكال التلوث البيئي، وهو من نتاج التطور العلمي والتقدم التقني الذي جعل في تناول الإنسان أشكال متنوعة ومختلفة من وسائل الضوضاء المتزايدة أعداداً يوماً بعد آخر، والتي تشبه التلوث الهوائي إلى درجة كبيرة في سعة انتشارها، وقد تكون الضوضاء أحياناً أكثر خطراً علينا من تلوث الهواء، خاصة في مجال البيئات المحدودة المغلقة وشبه المغلقة، لأن هذا النوع من التلوث ليس بالضرورة أن يكون محلياً، بل إن معظمه والمؤذي منه هو ضوضاء منقولة. ولقد تضافرت الضوضاء مع التلوث الكيميائي والجسيمي لهواء المدن الكبرى من جعل الحياة العصرية قاسية ومؤلمة في المدن، وخاصة في مراكزها.

١ - ١ - الصوت (Sound)، وخصائصه:

الصوت بالنسبة للهواء كالأمواج بالنسبة للماء، والصوت؛ عبارة عن حركة موجية تنتقل في وسط ذي خصائص مميزة، تمكنه من الانتقال

بحرية، ويمكن أن يكون هذا الوسط، الهواء، أو الماء، أو أجسام صلبة كالمعادن، البلاستيك، الآجر، والخرسانة. إذ لا بد من وسط مادي لانتقال الصوت، ذلك أنه لا يوجد صوت في الفراغ، إذ إنَّ الفراغ عدم، والصوت يحتاج إلى شيء ما كي يحمله، وهذا الشيء، هو ما يشار إليه باسم الوسط أو الناقل، وتنتقل موجات الصوت خلال الوسط الناقل لها من المصدر الذي ينتج منه الصوت إلى المتلقي.

وتنشأ موجات الصوت من فروقات في الضغط، أو من تذبذبات في الوسط الذي تنتقل فيه، فالصوت ينتقل في الهواء بضغط جزيئات الهواء غير المرئية بعضها مع بعضها الآخر بطرق منتظمة جداً، فعندما يتذبذب مصدر الصوت يدفع أمام ذبذباته الهواء، ثم يعود إلى وضعه الأصلي، ثم يدفع الهواء مرة أخرى ويعود، وهكذا دواليك، وينجم عن هذه التذبذبات حزم تبادلية متعاقبة من التكاثف (التضاغط) والتخلخل في الهواء، يتج عنها نطاق في إثر نطاق من الهواء الكثيف ينتشر نحو الخارج بعيداً عن مصدر الصوت.

إن السرعة أو البطء الذي يتذبذب به مصدر الصوت أو يجعل الهواء يتذبذب يحدد خاصية أساسية للصوت تعرف باسم التردد (Frequency)، إذ إن كل ضغط للهواء يتلوه انخفاض يسميان معاً، بالذبذبة أو الدورة (Cycle سايكل). ويقاس التردد بعدد الدورات في الثانية (سايكل/ثا) أو بالهيرتز (Hz)(*)، وعندما يكون التردد عالياً تكون الموجات الصوتية متضاغطة فيما بينها أكثر من تضاغطها في الترددات المنخفضة. ويحدد التردد طبقة الصوت، أو شدته، المتلقاة من قبل

(*) دورة/ثانية = سايكل/ثا = هيرتز.

المستمع، فالصوت ذو الطبقة العالية يمتلك تردداً مرتفعاً، وبالتالي يكون أشد إزعاجاً من الصوت ذي التردد المنخفض، بسبب الحساسية المختلفة للأذن البشرية للأصوات التي تتلقاها.

وتتوقف شدة الصوت على الضغط الذي تمارسه موجاته الصوتية، ولذا فإن الأصوات الخافتة ذات ضغوط منخفضة، بينما الأصوات العالية ذات ضغوط شديدة ويقاس ضغط الصوت بالنيوتن/م^{٢}، أو بالداين/سم^{٢}. وشدة الصوت هي تعبير عن كمية طاقة الصوت التي تتدفق في وحدة المساحة من الوسط المنتقل فيه في وحدة الزمن، وتقاس شدة الصوت بالواط/م^{٢}، والواقع أن مقدار الشدة في الصوت وفي الضوضاء ضئيل إذا قورن بمئات الأحصنة من مقاييس الطاقة التي تتوفر لمحركات السيارات، فمثلاً إن الضوضاء التي يكفي علوها لإيلام الأذن ذات طاقة لا تتجاوز (٠,٠١) من الواط. وبصورة عامة فإن مدى الطاقة الصوتية الذي تستطيع الأذن البشرية أن تسمعه ضخم جداً لا يكاد يصدق. وتتناقص شدة الصوت المسموع بازدياد بُعد السامع عن المنبع الصوتي، فهي تتناسب عكساً مع مربع البعد بين مصدر الصوت والمستمع.

١ - ٢ - الضوضاء (Noise):

لا يوجد هناك تحديد دقيق للضوضاء (الضجيج)، ويمكن عدها أصواتاً غير مرغوبة، تسبب إزعاجاً لسامعها، لأنه لا يوجد فيها أي تناسق أو انتظام، بل تتميز بشدتها، وبتداخل من الأصوات مع بعضها أحياناً، وبنوعية صوت مميزة. ويختلف الناس في قدراتهم على تحمل الأصوات الشديدة والمزعجة، فبعضهم لهم القدرة على تحمل مستويات صوت أعلى من غيرهم، وهذا قد يكون مردّه إلى تعود هؤلاء على الاستماع المستمر

لمستويات عالية من الضوضاء، فالأذن البشرية ليست متساوية في حساسيتها للترددات، ولشدّات الأصوات والضغوط المختلفة.

وبوجه عام، فإن الضوضاء لا تنتج عن ترددات صوتية منتظمة، ولا عن استمرارية خلال فترة محدودة من الزمن، إنها غالباً، ما تكون ذات مستويات صوت عالية متقطعة، أو متداخلة، كما في الضوضاء الناتجة عن محركات الطائرات والسيارات، التي تسبب مضايقات كبيرة. والوحدة السمعية العلمية شائعة الاستعمال لقياس الضوضاء هي الديسيبل (د.ب Decibel)، وهي الوحدة المقررة عالمياً لذلك، وهي ليست وحدة قياس طبيعية مطلقة كالغرام، أو الفولت، أو المتر، إنما هي نسبة[1]، فهي مقياس لوغارتيمي قائم على الداين (الديسيبل = ٠,٠٠٠٢٠٤ داين/سم^{٢})، ومن الممكن تحويل الديسيبلات بسهولة إلى واطات عند الضرورة.

هناك مقياسان مهمان للضوضاء هما: ضغط الصوت الذي يعبر عنه بواحدة قياس الضغط (المليبار وأجزائه أو نيوتن/م^{٢})، وشدة الصوت معبراً عنها بواحدة الواط على المتر المربع الواحد، إلا أن أكثر المقاييس استخداماً في قياس الضوضاء هو مقياس مستوى شدة الصوت أو ما يعرف باسم مقياس الديسيبل (Decibe). وهذا المقياس ليس مقياساً طبيعياً مطلقاً كالغرام أو الفولت أو المتر، ولكنه نسبة تعبر عن مقياس لوغارتيمي بالنسبة إلى مستوى ضغط صوت مرجعي، فهو إذن مقياس نسبي لشدة الصوت، إذ إنه يمثل عشرة أضعاف لوغارتيم النسبة بين شدتين للصوت، إحداهما شدة الصوت المرجعية، ويعبر عن هذا المقياس بالعلاقة التالية:

---

(1) ينسب مقياس الديسيبل إلى إلكسندر غراهام بل (A. G. Bell) الذي اخترع التليفون، تكريماً له.

$$\left(dB = 10\log_{10}\frac{P}{Po}\right)$$

حيث dB = مستوى شدة الصوت (الديسيبل).

P = شدة الصوت المقاسة.

Po = شدة الصوت المرجع (Reference Intensity)، وشدة الصوت المرجع المستعملة هي العتبة الحدية الدنيا للسمع، والتي تساوي ضغط صوتي مقداره (٢×١٠^{-٥} نيوتن/م^{٢})، أو شدة صوت مقدارها ($١٠^{-١٢}$ واط/م^{٢}).

وميزة هذا المقياس إمكانية احتوائه لمدى واسع من ضغط الصوت وشدته المتعامل معهما.

والجدول (٢٤) يبين العلاقة بين وحدات القياس الثلاثة للصوت (الشدة، الضغط، ومقياس الضوضاء الديسيبل) في الهواء عند مستوى سطح البحر.

جدول (٢٤) العلاقة بين وحدات الثلاثة للصوت في الهواء عند مستوى سطح البحر

الشدة (واط/م^{٢})	الضغط (نيوتن/م^{٢})	ديسيبل مصدر الصوت dB
١٠٠ مليون	٢٠٠,٠٠٠	٢٠٠ إقلاع صاروخ ستورن
١,٠	٢٠,٠	١٢٠ ورشة صناعة مراجل
$١٠^{-٢}$	٢,٠	١٠٠ صفارة تنبيه عند ٥م
$١٠^{-٤}$	٢×١٠^{-١}	٨٠ ورشة ميكانيكية ضخمة
$١٠^{-٦}$	٢×١٠^{-٢}	٦٠ محادثة عادية على بعد ١م
$١٠^{-٨}$	٢×١٠^{-٢}	٤٠ مكتبة عامة
$١٠^{-١٠}$	٢×١٠^{-٤}	٢٠ كنيسة
$١٠^{-١٢}$	٢×١٠^{-٥}	صفر العتبة الحدية للسمع

ولمن المهم التأكيد على أن مضاعفة ضغط الصوت تؤدي إلى زيادة في مقياس الضوضاء الديسيبلي بمقدار (٦ ديسيبل)، بينما مضاعفة شدة الصوت تنتج زيادة مقداره (٣ ديسيبل).

وتقاس الضوضاء عادة بمقاييس مستوى الصوت، وهناك نماذج عدة من أجهزة القياس التي تقيس أساساً الضغوط الصوتية، ولقد وضعت ثلاثة سلالم في أجهزة قياس الضوضاء هي، السلم dB (٥ ديسيبل)، السلم dBa (٥ ديسيبل أ)، وهو السلم الأقرب إلى ما تسمعه الأذن البشرية، إذ يغطي الترددات الصوتية بين (٤٠٠ - ١٢٠٠ هرتز)، وحساسيته للترددات الأعلى أشد من حساسيته للترددات المنخفضة، أما السلم dBc (ديسيبل ج)، فهو نادر الاستعمال، إذ يغطي الترددات بين (١٢٤ - ١٢٠٠ هرتز)، وهو أشد حساسية بعض الشيء للترددات الأعلى.

والقول: إن الضوضاء تضايق أو لا تضايق، يتوقف على الوسط الذي نسمع فيه، وعلى الحالة النفسية، بجانب درجة تعودنا عليها، وبصورة عامة، فإن أشد الأصوات إزعاجاً، هي:

أ - المرتفعة، وكلما ازداد ارتفاعها كثر إزعاجها.

ب - عالية الطبقة، ابتداءً من نحو (١٥٠٠ هرتز) فأكثر.

ج - المتقطعة وغير المنتظمة، فكلما ازدادت عشوائية الضوضاء زاد إزعاجها.

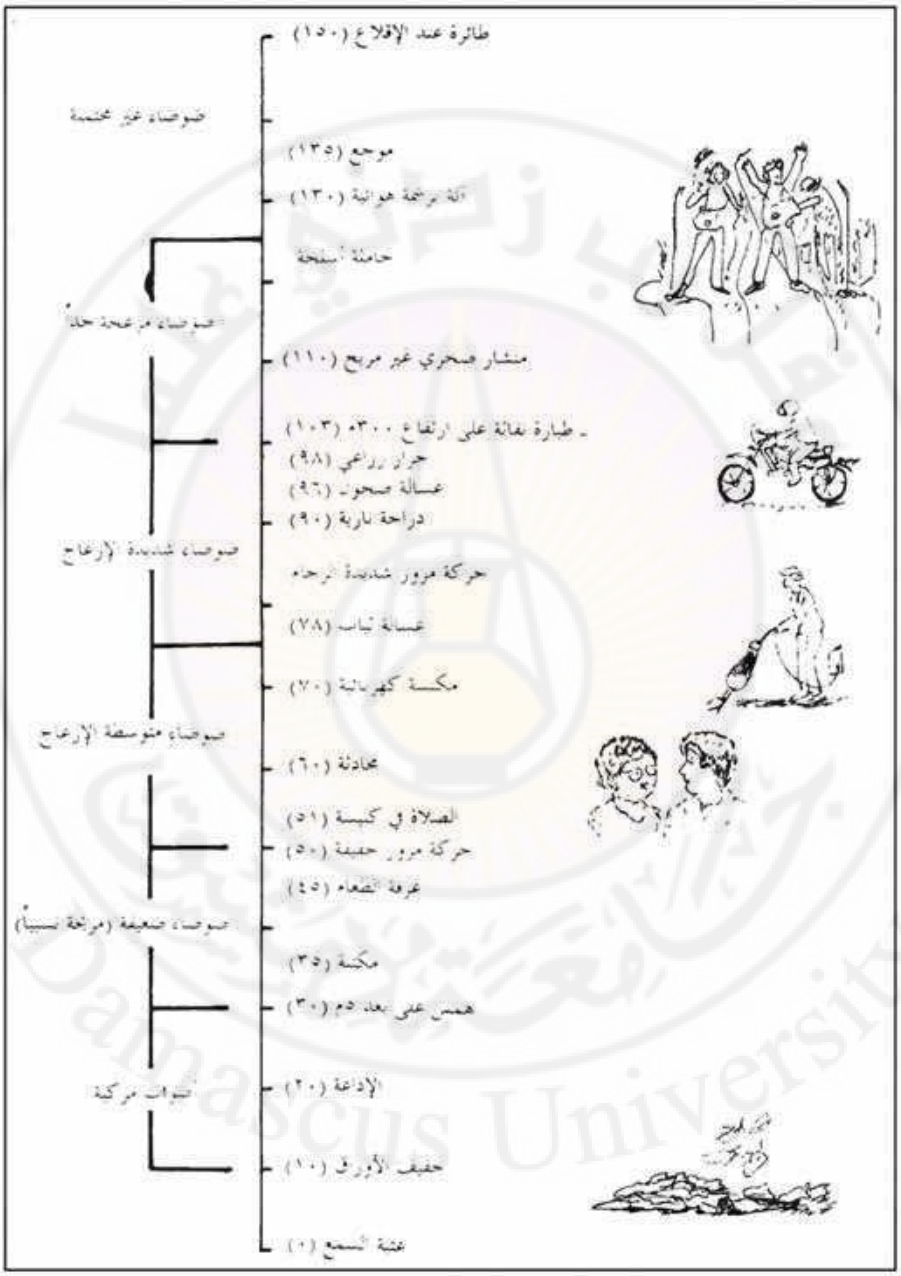
د - الصادرة عن منبع خفي أو متحرك، فكلما ازداد عدم التأكد من مصدر الصوت ازداد الإزعاج.

هـ - غير المتوقعة، كاختراق حاجز الصوت من قبل الطائرات، أو حدوث رعد قوي، أو سماع طلق ناري مفاجئ.

إن شدة الصوت تتوقف على الضغط الذي تمارسه موجاته الصوتية، ولذا تكون الأصوات الخافتة ضعيفة، بينما الأصوات العالية ذات ضـ غوط كبيرة. وفي الواقع، فإن مقدار القوة في الصوت وفي الضوضاء ضئيل، إذا ما قورن بمقدار الطاقة في محركات السيارات، أو في القوة الكهربائية في البيوت وغيرها، فالضوضاء التي يكفي علوها لإيذاء الأذن ذات طاقـ ة لا تتجاوز (٠,٠١ واط)، بينما قوة مصباح كهربائي يـ ستخدم فـ ي الإنـ ارة المنزلية تتراوح بين (٦٠ – ١٠٠ واط)، فقوة المصادر الصوتية قليلة جداً، فصوت مغني أوبرا في أعلى نغماته وأقصى قوته يولد مـا يقـ ارب واحـ د واط، وذروة قوة نغم البيانو نحو (٠,٤ واط)، وذروة قوة آلة الأورغ (١٣ واط)، والطبل الكبير (٢٥ واط)، وأوركسترا موسيقية (٧٠ واط)، ورغـ م هذه المستويات الضعيفة نسبياً من الطاقة إلا أنها تترك فينا آثـ اراً سـ لبية عديدة نفسية وسمعية وجسمية.

وليس من الضروري أن تتناسب درجة الإزعاج مع شدة الـ صوت، فضوضاء السيارات المتسابقة قد تكون لطيفـ ة لـ سائقيها، لكنهـ ا شـ ديدة الإزعاج لمن يعيشون بالقرب من مسارها، وتلعب الحالـ ة النفـ سية دوراً كبيراً في مبلغ تأثرنا بالضوضاء وانزعاجنا منهـ ا. ويمكـ ن اعتبـ ار أن الأصوات تكون غير مريحة مطلقاً عندما تزيد شدتها على (١٠٠ ديسيبل)، كما يحدث عند إقلاع طائرة نفاثة، أو في أثناء قصف الرعد الشديد، بينمـ ا تكون مقبولة إلى حد ما في حال شدة للصوت تتراوح بـ ين (٥٠ – ١٠٠ ديسيبل)، (منبه سيارة، دراجة نارية، خلاطة طعام)، لتكون هادئة ومريحة دون (٥٠ ديسيبل)، (مكتبة، همس... إلخ)، والجـ دول (٢٥) يبـ ين شـ دة الأصوات التي تصدر في حالات مختلفة، بمقياس الديسيبل، كما أن الشكل

(٦٥)، يوضح السلم التدريجي للضوضاء الناتجة عن عوامل مختلفة، ودرجة إزعاجها.



الشكل (٦٥) السلم التدريجي للضوضاء

جدول (٢٥) السلم التدريجي للضوضاء الناتجة من مصادر مختلفة، ودرجة إزعاجها

مصدر الصوت	شدة الصوت (ديسيبل)
كومبريسور حفر الإسفلت	١٠٦ - ١١٠
منبهات السيارات، والدراجات النارية	٩٠ - ١٠٠
آلات قص الأعشاب غير اليدوية	٩٠ - ٩٣
سيارات النفايات	٨٥ - ٩٠
بكاء الأطفال	٨٠ - ٨٥
الآلات الكهربائية في المنزل (جلاية الصحون، المكنسة الكهربائية... إلخ)	٧٠ - ٧٥
الشوارع المزدحمة بالمارة	٦٠ - ٧٠
المكاتب والمطاعم	٤٥ - ٥٠

١ - ٣ - الأذن (Ear) والسمع (Hearing):

تتلقى الأذن البشرية الأمواج الصوتية. والأذن عضو حساس جداً للأصوات، إذ إنَّ بمقدورها أن تلتقط أضعف الأصوات، ولديها مدى واسع من الترددات، التي تحولها إلى إشارات حيوية كهربائية تنبعث إلى المخ، حيث يتم إدراكها. وبمقدور الأذن التمييز بين الفروق الضئيلة في الضغوط الصوتية والترددات.

وتوجد في الأذن الخارجية قناة سمعية خارجية تحمل الموجات الصوتية وتنقلها إلى غشاء الطبل أو طبلة الأذن، حيث تبدأ الأذن الوسطى، التي تتذبذب تحت تأثير الموجات الصوتية، وتهتز معها العظيمات الصغيرة الثلاث (المطرقة، والسندان، والركاب) المترابطة ببعضها والمتصلة بطبلة الأذن عن طريق عظمة المطرقة، وعن طريق هذه العظيمات ينتقل الصوت إلى الأذن الداخلية المملوءة بسائل يعرف بالسائل البلغمي، ويتم

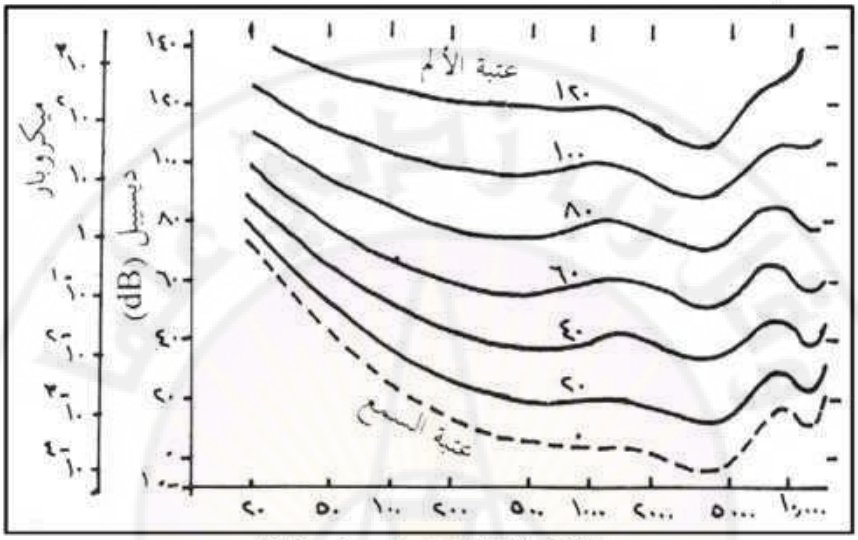
السمع في الجزء الحلزوني من الأذن الداخلية المعروف باسم حلزون الأذن (Cochlea).

ومع أن الشعور الأكبر لقدرة الأذن، بعنصر سماعها (الحلزونية)، على السمع يقع في مدى الترددات ما بين (٢٠٠٠ – ٥٥٠٠ هرتز)، إلا أنها تستطيع أن تسمع وتحلل الأصوات في مدى يتراوح بين (٢٠ – ٢٠,٠٠٠ هرتز) بالنسبة للأشخاص الذين تتراوح أعمارهم ما بين (١٩ – ٦٠ سنة) تقريباً. غير أن الأصوات المستعملة في التخاطب تقع بين (٢٠٠ و ١٠,٠٠٠ هرتز)، وإذا كان أعلى تردد تستطيع أن تسمعه الأذن البشرية السليمة هو الصوت الثاقب (٢٠,٠٠٠ هرتز)، فإن الترددات التي تزيد على ذلك تقع في مجال فوق الصوت (Ultrasonic)، كما أن أدنى تردد يمكن أن تسمعه الأذن هو (٢٠ هرتزاً) الذي يشبه الأنين، وما هو أقل من ذلك فهو مجال تحت الصوت (Infrasonic). وموجات الصوت منخفضة التردد طويلة ومتباعدة، بينما الموجات الصوت عالية التردد قصيرة ومتضاغطة فيما بينها، شكل (٦٦).



الشكل (٦٦) الموجات الصوتية بالابتعاد عن مصدرها

ويمثل الشكل (٦٧) الأقسام السابقة من خلال العلاقة بين تردد الصوت وشدته، وذلك من منطقة ما قبل السمع إلى عتبة السمع منتهياً بعتبة الألم.



الشكل (٦٧) تردد الصوت وشدته

إن الأذن البشرية المستقرة بأمان في جسم سليم صحيح، وتتلقى مدداً كافياً من الدم، تستطيع أن تقوم بعملها في دقة وارتياح على مدى (٧٥) سنة أو أكثر، أما الأذن التي تعدو عليها جحافل الضوضاء في مجتمعنا الآلي المزدحم فإنها تفشل، أو تقل قدرتها على السمع، مثلما تقل هذه القدرة إذا ما أصيبت الأذن بالأمراض، فالضوضاء آفة أو داء من صنع الإنسان، وعلاجه صعب في عصر تستحيل العودة فيه إلى الوراء حيث السكينة والهدوء والراحة.

لقد أحدث الإنسان الضوضاء، وخلقها خلقاً، فكانت ضريبة نعم كثيرة تنعَم بها وتلذّذ، لتعمل على تدمير جانب حيوي في حياته، وهو الاستمتاع بالموسيقا وأفراح الطبيعة وعذوبة ورقة أصواتها.

وتقسم الأصوات المسموعة التي مجال ترددها بين (٢٠ – ٢٠,٠٠٠ هرتز) إلى أقسام على النحو التالي:

* دون صفر – غير مسموع.
* ٠ – ٢٠ هرتز – وسط هادئ.
* ٢٠ – ٢٠٠ هرتز – وسط عادي.
* ٢٠٠ – ٢٠٠٠ هرتز – وسط حاد.
* ٢٠٠٠ – ٢٠,٠٠٠ هرتز – منطقة مسموعة.
* فوق ٢٠,٠٠٠ هرتز – فوق صوتي.

الفصل الثاني

مصادر الضوضاء

٢ – ١ – وسائط النقل المختلفة.

٢ – ١ – ١ – ضوضاء السيارات.

٢ – ١ – ٢ – ضوضاء القطارات.

٢ – ١ – ٣ – ضوضاء الطائرات.

٢ – ١ – ٤ – ضوضاء البواخر والسفن.

٢ – ١ – ٥ – ضوضاء العمل.

٢ – ٢ – الضوضاء المنزلية.

٢ – ٣ – ضوضاء الجوار.

٢ – ٤ – ضوضاء النوم.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

لم تعد الضوضاء تلك الظاهرة التي نجدها في المدن، والمدشآت الصناعية، بل أصبحت اليوم إشارة مميزة لحضارة الربع الأول من القرن العشرين، نصادفها أينما ذهبنا، وفي أي مكان نحل، في الريف كما في المدينة، وفي الشارع، كما في البيت، لم تعد الأرياف ذلك الحلم الجميل الذي نتوق إليه حيث الهدوء والسكينة، بل دخلتها الكثير من مسببات الضوضاء، من سيارات، وأجهزة كهربائية منزلية عدة، ولم تكن مدننا (القطر السوري) منذ نحو (٤٠ – ٥٠ سنة) تعيش صخب اليوم وقلقه واضطرابه، إذ كانت هادئة إلا من أصوات البائعين المتجولين وقليل من السيارات التي تعبر الشوارع من حين لآخر، بينما أصبحت مدننا الكبرى (مراكز المحافظات) والصغرى (مراكز المناطق) الآن مكتظة بضجيج السيارات المختلفة والدراجات النارية، وأصوات آلات المصانع والمذياع والمسجلات، والتلفزيونات، وأصوات الموسيقى الصاخبة.. وغيرها، حتى بات من الصعوبة أن نجد الراحة والهدوء في غرف نومنا، ننام والأصوات المزعجة من الجوار لا تنام.

ومن الممكن حصر مصادر الضوضاء في ثلاثة مصادر رئيسة، هي:

٢ – ١ – وسائط النقل المختلفة:

تشكل وسائط النقل البرية والجوية أهم مصدر من مصادر الضوضاء التي تؤدي إلى إزعاج الناس وإقلاق راحتهم، بينما آثار وسائط النقل

البحرية في ذلك محدودة جداً، ولا نجد إنساناً في المدن بمنجى من معاناة ضوضاء السيارات، والدراجات النارية، أو قطارات السكك الحديدية، وأصوات الطائرات وهي تحوم حول المدينة في حالة الاقتراب من الهبوط، أو في طريق الصعود، وقد ترافق التزايد السريع، والكبير في عدد وسائط النقل، مع تزايد معدل الضوضاء، حتى أصبحت بعض الأماكن من المدن الكبرى التي تكتظ فيها حركة مرور السيارات غير صالحة للسكنى، ليهجرها قاطنوها إلى أماكن أقل ضوضاء، وهذا ما يشاهد في المدن الكبرى كلها في العالم من تحول لمركزها إلى نشاط فعاليات تجارية وخدمية... وغير ذلك. كما أن التوسع العمراني الأفقي الكبير للمدن، جعل أطرافها تكاد تلامس المطارات لتعيش تلك الأطراف ضجيج الطائرات، كما هو الحال في مدينة القاهرة.

٢ - ١ - ١ - ضوضاء السيارات:

إن الضوضاء التي تسببها السيارات بمختلف أنواعها وأحجامها، والدراجات النارية، من أكثر مظاهر الضوضاء إزعاجاً، حتى ليمكننا القول إنه يندر أن يوجد إنسان لم يتألم من ضجيجها، بعد أن دخلت الريف، والبادية، واكتظت بها شوارع المدن، وأزقتها، وحتى أرصفتها، خاصة بعد أن توفرت سيارات ركوب ونقل صغيرة يمكنها حجمها من الدخول ضمن الأحياء ذات الشوارع قليلة الاتساع. ولقد أخذت ظاهرة ضوضاء السيارات بالتعاظم والانتشار بشكل ملحوظ منذ بداية الستينات من القرن العشرين، نتيجة الازدياد الكبير في عدد السيارات من جهة، وازدياد كثافة شبكة الطرق، وكثافة حركة المرور عليها من جهة أخرى، بالإضافة إلى دخول استخدام السيارة لخدمة مناحٍ مختلفة من الحياة.

وتختلف درجة الضوضاء بـ اختلاف حجـ م الـ سيارة، فالـ سيارات الشاحنة، والباصات، أكثر ضوضاء من السيارات الصغيرة، أيـ ضاً فـ إن الجرارات الزراعية، وغيرها من الآليات الزراعية تشيع الضوضاء أكثـ ر مما تشيعه السيارات الصغيرة، وحتى الكبيرة أحياناً، ولذا كانـ ت مـ صدر ضوضاء في الأرياف. وبعد أن تم الحد بدرجـ ة كبيـ رة مـ ن اسـ تعمال الدراجات النارية في المدن، فقد غزت تلك الـ دراجات الريـ ف، مطلقـ ة أصواتها المزعجة، خاصة إذا كانت خالية من كواتم للصوت، أيضاً فـ إن سرعة واسطة النقل، تلعب دوراً كبيراً في معدل الضوضاء الناتجة، إذ إنه بازدياد السرعة تزداد شدة الصوت الصادرة، والضوضاء الناجمة عنهـ ا، كما تلعب نوعية الطرق التي تستخدمها دوراً في ذلك، فكلما كان الطريـ ق معبداً وأملس أكثر خفت درجة الضوضاء، والجدول التـ الي (٢٦) يبـ ين العلاقة ما بين السرعة، ونوعية الطريق، والضوضاء.

جدول (٢٦) العلاقة بين السرعة ونوعية الطريق، والضوضاء

الوضع	معدل السرعة (كم/ساعة)	الأرض المتداخلة	شدة الضوضاء (ديسيبل)
طريق سكني موازٍ لطريق رئيسي كثيف الحركة	٤٨	مساكن	٦٠
على بعد (١٨,٣م) من طريق رئيسي كثيف الحركة في منطقة سكنية	٤٨	منطقة مبلطة (مرصوفة)	٧٠
على (١٨,٣م) من طريق سيارات رئيسي، كثافة السيارات عليه مرتفعة	٩٦	عشب	٨٠
على بعد (٣م) من طريق رئيسي في منطقة سكنية	٤٨	منطقة مبلطة (مرصوفة، معبدة)	٨٠

وإذا كان الجزء الأكبر من ضوضاء السيارات يصدر عن **محركاتها** حيث يوجد عدم توازن ناجم عن سرعة الأجزاء التبادلية في الآلات، ولاسيما الكباسات وأذرعة التوصيل التي ترتفع وتنخفض بسرعات كبيرة، فإن أشد الضوضاء إيذاءً وإزعاجاً يأتي من **مخرج العادم في المحرك**، وهذه هي الغازات الناتجة من التفجيرات التي تجعل من محركات السيارات محركات ذاتية الاحتراق، وضوضاء **مراوح التبريد** مرتفعة إلى حد مزعج ولاسيما عند السرعات العالية وفي الأجواء الحارة.

وصرير الفرامل مزعج جداً أيضاً عند الترددات (٢٠٠٠ - ٥٠,٠٠٠ هرتز)، ولكنه أشد إزعاجاً بصفة خاصة عند الترددات المثيرة للأعصاب بين (١٠,٠٠٠ - ١٥٠٠٠ هرتز)، ولعل أشد مصادر الضوضاء إثارة للأعصاب هي **العجلات** التي تكون ضوضاؤها أشد فوق **الطرق الخشنة**، منها فوق الطرق الأكثر ملاسة بفارق لا يقل عن (١ ديسيبل)، وأشد ما في حركة العجلات إزعاجاً هو أزيز الإطارات، وخاصة في حالة المنعطفات الشديدة، وعند السرعات العالية.

وكلما زادت سرعة تحرك السيارة زادت كمية الهواء التي عليها أن تحركه وهي ماضية في طريقة، وهذا يسبب **ضوضاءات الريح** التي يعيشها باستمرار سائق السيارة، وتسبب **الصرير** أيضاً عندما يضغط الهواء وينفذ من الشقوق الضيقة في النوافذ والأبواب.

كما أن استخدام **أبواق السيارات** التي أصبحت بأصوات وأنغام مختلفة، ودرجات شدة صوتية متباينة من مصادر الضوضاء الشديدة الإزعاج، التي تصل مستوياتها إلى أكثر من (١٢٠ ديسيبل) في بعض الأحيان بالقرب من مصادرها.

ومن مصادر الضوضاء الحديثة التي أصبحت من سمات عصر السيارة الحديثة وراكبيها من جيل الشباب المراهق، **أصوات مسجلات السيارة** وما تحتويه من مكبرات للصوت (ستيريوهات) تكون في أعلى شدة لها في ساعات مختلفة من اليوم، وخطورة هذا المصدر أنه متنقل يشيع الأذى وينقله ليبثه في الشارع والبيت في ساعات الراحة والعمل والنوم، دون مهرب منه.

و**الدراجات النارية** مصدر للضوضاء الصاخبة، حتى لتصل مستويات الصوت التي تصدر منها إلى أكثر من (١٠٠ ديسيبل)، ويعزى ذلك إلى سببين؛ أولهما أن محركاتها مكشوفة بأكملها بحيث تبث الضوضاء مباشرة من أسطوانات المحرك، وثانيهما أنها تعمل بدون كواتم صوت أو بكواتم غير كافية.

وتتعلق شدة الضوضاء، بدرجة صيانة محركات السيارات، فكلما كانت الصيانة متوافرة أكثر كانت الضوضاء أقل، فالصيانة أو عدمها هي التي تحدث فروق الضوضاء مع مرور الوقت، ولذا فإنه من الضروري أن تجري صيانة دورية للسيارات، حتى تتم المحافظة على الحدود الدنيا من إصدارها للضوضاء.

وإذا حاولنا أن نقيم تصنيفاً لوسائط النقل على الطرقات، لأمكننا القول؛ إن الدراجات النارية هي الأكثر ضوضاءً، تليها السيارات النقل والركوب الكبيرة، وفي المرتبة الثالثة، السيارات الصغيرة، وفيما يلي جدول (٢٧) يبين تطور عدد وسائط النقل في سورية خلال قرابة (٤٠) عاماً.

جدول (٢٧) تطور عدد وسائط النقل في سورية خلال قرابة (٤٠) عاماً

النوع	١٩٧٠م	١٩٨٣	٢٠٠٩
سياحية	٢٩٧٤٣	١١٥٦٣٩	٦٣٧٦٠٤
باص	١٧٣١	٤٤٣٨	٦٥١١
ميكرو باص	–	٧٢٤١	٥٠٨٥٠
شحن	١٠٤٩٣	٣٥١٣٢	٢٥٧٨٣٨
بيك آب	٤٩٨٦	٨١٢٠٢	٣٦٥٥٢١
صهاريج	١٠٦٩	٢٣٣١	٥٨٩٥
دراجات نارية	٨١٢٢	٤١٦٤٧	٢٤٢٩٠
المجموع	٥٨١٠٥	٢٨٥٦٣٠	١٣٤٨٥٠٩

٢ – ١ – ٢ – ضوضاء القطارات:

إن الضوضاء الصادرة عن القطارات لا تعد عموماً عامل إزعاج وإقلاق للراحة خطير لغالبية السكان، وهذا مرده إلى أن ضجيجها عادة ما يكون ذا تردد أخفض مما هو في سيارات الطرقات، وأيضاً إن الغالبية العظمى من السكك الحديدية ممتدة في المناطق الريفية، ولكن حيث تقع المباني السكنية على جانبي السكك الحديدة، فإن الضوضاء الناتجة تصبح عاملاً مقلقاً للراحة. وبصورة عامة فإن مستوى الضجيج المنبعث عن وسائط النقل على السكك الحديدية لا يتجاوز (١٠٠ ديسيبل)، وتأتي الضوضاء أساساً من العجلات الفولاذية التي تجري على قضبان فولاذية، كما تأتي من القاطرة نفسها، وقاطرات الديزل أصخب من قاطرات البخار، والقطارات الكهربائية أهدأ الثلاثة، وتكون القاطرات أصخب ما يمكن عندما تدور في المنحنيات، وتطلق القطارات بوقاً من الصوت التنبيهي الشديد عندما تقترب من المعابر (المزلقانات)، مسبباً إزعاجاً، وإقلاقاً للراحة.

٢ - ١ - ٣ - ضوضاء الطائرات:

لقد تطورت صناعة الطائرات، وباتت الطائرات تحلق في أجواء العالم المختلفة، وتعددت أنواع الطائرات، وازداد عدد الموانئ الجوية، كما ازدادت حركة الطيران، ففي عام (١٩٧٧م) قامت نحو (٤٣٦٠٠٠) رحلة طيران مدنية داخل المملكة المتحدة وخارجها، باستثناء حركة الطيران العسكري.

بينما بلغ عدد رحلات الطيران في القطر العربي السوري (٢٤٤٩٢) رحلة في عام (١٩٨١م)، وضوضاء الطائرات متغيرة، متبدلة، ومتقطعة، فهي ليست مستمرة كما في حال ضوضاء وسائط النقل البري، إذ يوجد مستويات ضوضاء عظمى عندما تطير الطائرات فوق الرأس، أو تكون في حالة الإقلاع، وعند الهبوط على المهبط في المطار، ويختلف التردد الأعظمي باختلاف نموذج الطائرة، وارتفاع مستوى الطيران.

وينتج الضجيج بصورة رئيسية من محركات الطائرات، ويزداد بازدياد قوة المحرك، فضجيج محركات الطائرات النفاثة الحديثة، هو خليط من الترددات المرتفعة الناتجة من الضاغط (Compressor)، والتوربين (Turbine) والترددات المنخفضة الناتجة عن خرطوم العادم النفاث في المؤخرة.

وتتنوع طائرات النقل المدني المستخدمة حالياً على معظم الخطوط الجوية العالمية، من الطائرات النفاثة الأمريكية، بوينغ ٧٠٧، ٧٢٧، ٧٣٧، ٧٤٧، والدي. سي (D.S ٨ - ٥٠)، والكارافيل، والسوبر كارافيل الفرنسية، إلى طائرات الإليوشن السوفيتية، إلى طائرة الوكهيد (Lockhad الأتوبيس الجوي)، حتى طائرة الكونكورد الفرنسية - الإنكليزية الأسرع

من الصوت، يضاف إلى ذلك، الطائرات المروحية، والطائرات العمودية التي تستخدم استخدامات مختلفة، يغلب عليها النواحي العسكرية، بجانب الطيران العسكري الحربي النفاث.

ففي مطارات هيثرو (Heathrow) بلندن، وغتويك (Gatwick) ورينغوي مانشستر، يبلغ مستوى الضجيج الأعظمي في أثناء الإقلاع نحو (١١٠ ديسيبلاً) في ساعات النهار و(١٠٢ ديسيبل) في ساعات الليل، مقارناً مع حدود مستويات الضجيج في أثناء النهار في مطار نيويورك (١١٢ ديسيبلاً).

والجدول (٢٨) يبين مستويات الضجيج لعدد من أنواع الطائرات في بعض المطارات البريطانية (هيثرو، رينغوي مانشستر، لوتون) على بعد (١,٦كم) من نقطة الإقلاع.

جدول (٢٨) مستويات الضجيج لعدد من أنواع الطائرات في بعض المطارات البريطانية

نوع الطائرة	سنة استخدامها	معدل مستوى الضوضاء عام ١٩٧٤ (ديسيبل)
VC - 10	١٩٦٥	١١٠,٦
دي. سي – ٨	١٩٦٧	١١٢,٤
بوينغ ٧٠٧	١٩٦٧	١١٥,٤
بوينغ ٧٣٧	١٩٦٧	١١٠,٧
بوينغ ٧٢٧	١٩٦٧	١١٢,٩
دي.سي – ٩	١٩٦٨	١١١,٧
BAC 111	١٩٦٨	١١٩,٠
Hs Trident 3	١٩٧١	١١٩,٥
بوينغ ٧٤٧	١٩٧٢	١١٤,٧
دي.سي – ١٠	١٩٧١	١١٠,٦
لوكهيد تريستار	١٩٧٣	١٠٥,١

والطائرات النفاثة، بخلاف الطائرات المروحية، تنتج الضوضاء عند الهبوط والإقلاع، وسبب صخب الطائرات عند الإقلاع يعود إلى أن محركات الطائرة تعمل عندئذ بأقصى قوتها للتغلب على القصور الذاتي وهي جاثمة على أرض المطار، ولتتوفر لها الطاقة الكافية للانطلاق في جريها بسرعة تكفل لها الإقلاع (تزيد على ١٦٠كم/ساعة) والصعود في الهواء، والطائرات المروحية ذات أجنحة عالية الرفع بالقياس إلى النفاثات، ولذا تنزلق عند الهبوط ومحركاتها متوقفة تقريباً، ولا يحدث ضوضاء إلا وهي تغير ميل ريش المراوح لتبطئ جريان الطائرة على المدرج، أما النفاثات فلا تنزلق، بل تطير هابطة ومحركاتها دائرة، وأنفها مرفوع إلى الحد الأقصى للرفع، وهي أقرب للأرض من الطائرات المروحية التي على المسافة نفسها من نهاية المدارج، والضوضاء التي تحدثها وهي تعكس دفع محركاتها عند الهبوط يمكن أن تكون أعلى من الضوضاء التي تحدثها عند الإقلاع.

وينجم عن الطائرات النفاثة فوق الصوتية وهي تخترق حاجز الصوت دوي يشبه الرعد العنيف يسمى فرقعة اختراق حاجز الصوت، التي تولد ارتياعاً مثيراً للأعصاب، وبوجه عام، فإن فرقعة اختراق حاجز الصوت، التي لا تستغرق سوى جزء من الثانية، عبارة عن موجة صدمية تنشأ عن تحرك جسم في الهواء حركة أسرع من الصوت.

٢ - ١ - ٤ - ضوضاء البواخر والسفن:

على الرغم من أن الكثير من السكان يسكنون بعيداً عن البحار والمحيطات والأنهار الكبرى والأقنية البحرية، تشكل المناسيب الضوضائية المنبعثة من السفن والبواخر التي تجوب البحار، وفي موانيها عند الإبحار

والإرساء، مصدر إزعاج من خلال أصوات محركاتها وأبواقها المزعجة للغاية.

٢ - ٢ - ضوضاء العمل:

إن عشرات الملايين من البشر يتعرضون إلى هذا النوع من الضوضاء التي تنتج عن الآلات الصناعية، وعمليات التصنيع المختلفة، بجانب ما تولده الأجهزة المختلفة التي باتت تستعمل في معظم المنازل وتتمثل هذه الضوضاء بما بات يُعرف **بالضوضاء الصناعية**.

وهي التي تتولد في مناطق الصناعات، حيث يعيش العمال بالدرجة الأولى هذه الضوضاء المزعجة، وتختلف شدة الضوضاء باختلاف نوعية الصناعة، وحجم المصنع.

إن ضوضاء الصناعة لا تنحصر فقط في أماكن التصنيع، بل تنسكب في كثير من الأحيان إلى الشوارع لتشكل مصدر إزعاج للمارة، وللذين يعيشون بالقرب منها، وهذا ما دفع إلى العمل على استبعاد أماكن التصنيع عن المدن وجعلها عند الأطراف بعيداً عن مناطق السكنى. ولقد أظهرت بعض الدراسات، أن محطات توليد الكهرباء تولد ضوضاءً تتراوح بين (١٠٠ - ١٠٢ ديسيبل) على بعد عنها بحدود (٣٠ م)، كما تولد مصانع السلع الخفيفة ضوضاء من الدرجة (٥٠ - ٩٠ ديسيبلاً)، ومصانع السلع الثقيلة ما بين (٥٠ - ١٠٠ ديسيبل).

والجدول (٢٩) يبين مستويات الضوضاء الناتجة عن بعض الصناعات.

جدول (٢٩) مستويات الضوضاء الناتجة عن بعض الصناعات

نوع الصناعة	مستوى الضوضاء (ديسيبل)
برشمة صفائح فولاذية	١٣٠
مصابيح أوكسجينية	١٢٦
قاطعة هوائية معدنية	١٢٢
معمل صنع المراجل (القازانات)	١٢٠
نول نسيجي	١١٢
منشار دوار	١١٠
مدق الركائز على بعد ١٥م	١٠٥
جرار مزرعة	١٠٣
طباعة الجرائد	١٠١
مثقب لسطح منجم الفحم	١٠٠
مخرطة خشب	٩٥
مطحنة	٩٠
صناعة الأسرّة	٨٦
مثقب عالي السرعة	٨٥
آلة صك المفاتيح	٨٢
صناعة المخازن (خزان مياه... وما شابه ذلك)	٦٥
سوبر ماركت	٦٠
مكتبة عامة	٤٠
عتبة السمع	٠

ويتحكم في درجة الضوضاء الصناعية ثلاثة عوامل، تتمثل في؛ تصميم المصنع، واتجاه الحركة في أجزائه، وطريقة تركيب الآلات فيه. وغالباً ما تمر ضوضاء المصانع في ثلاث مراحل، تأخذ المرحلة الأولى صورة تشويش أولي في المراحل الأولى من انطلاق الصوت، تتبعها مرحلة تضخيم الصوت (Amplification) الذي ينتج عادة من خلال الرنين

(الجلجلة) التي تحدثها أجزاء الآلة، والقطع المشغولة، ولتنتهي في مرحلة انتشار الصوت إلى البيئة المجاورة.

وتصنف الضوضاء الصناعية في أربعة أنماط وفق آلية التصنيع:

أ - ب - ضوضاء التصادم (Percussive):

التي تنتج عن آلات الضغط (الكبس)، والثقب، والطبع، وآلات الطحن، والقطع (القاطعات). وعمليات الطرق اليدوية التي نشاهدها كثيراً في أعمال الحدادة وغيرها، تولد ضوضاء من هذا النوع. وتنتج ضوضاء التصادم من جراء تقابل سطحين والتقائهما مع بعضهما، خاصة إذا كانت سرعة الالتقاء عالية، ليتولد من ذلك اهتزازات عند نقطة التماس، يتبعها تضخيم للصوت، ومن ثم انتشار له في الوسط المحيط.

ج - ضوضاء التحريك الهوائي (Aerodynamic Noise):

الذي يختلف عن النموذجين السابقين، من كونه لا يتضمن على اهتزاز وانتشار معدني، فهذا النوع من الضوضاء يتولد من؛ المراوح، ووابور اللحام (Blowtorch) وكلابات الأتربة.

د - الضوضاء الكهرطيسية:

الناتجة عن اهتزازات كهرطيسية تحدث في المحركات (الموتورات) الكهربائية، والمحولات، والناقلات.

ولقد أظهرت بعض المسوحات الضوضائية لنماذج عمل مختلفة، أن ثقاب صخور في محجر يتعرض لأكثر من (١٠٠ ديسيبل) من الضوضاء طوال النهار، وأن العاملين بالمناشر الآلية، وصناعة الحلي، والمقاشط، وآلات السنفرة، يتعرضون لمعدل إجمالي من مستويات الضوضاء، يتجاوز (٩٥ ديسيبلاً).

٢ - ٣ - الضوضاء المنزلية:

ليس المرء بحاجة إلى الذهاب إلى أبعد من بيته ليدرك أحياناً مـ دى صخب عالمنا الحالي، الصخب الذي يتولد في بيته، وما ينتقل إليـ ه مـ ن بيوت الجوار، أو من الشارع العام، حيث ضوضاء السيارات. ففي البيـ ت نفسه تأتي الضوضاء من؛ أجهزة غسل الأطباق، والثلاجات، وخلاط ات الطعام، والمكانس الكهربائية وغسالات الثياب، وأجهزة تصفيف الـ شعر، ومراوح طرد الغازات والهواء الفاسد، وأجهزة التكييف، وأجهزة المـ ذياع والتلفزيون، والمسجلات، بالإضافة إلى مصادر أخرى للضوضاء لا علاقة لها بالمحركات، مثل؛ دورات المياه الطنانة، والرشاش (الدش)، وصـ وت طرقات المياه داخل الأنابيب.

والجدول (٣٠) يبين مستويات الضوضاء التي تسببها بعض الأجهزة المنزلية.

جدول (٣٠) مستويات الضوضاء التي تسببها بعض الأجهزة المنزلية

الجهاز المستخدم	مستوى الضوضاء (ديسيبل)
قطاعات أعشاب كهربائية	١٠٣
خلاطة طعام	٩٠
ساعة منبه على بعد ١م	٨٥
ساحقة نفايات	٨٣
غسالة ثياب	٨٢
جلاية صحون	٧٦
مكنسة كهربائية	٦٩
دافقة مياه دورة المياه	٦٠

ومما تجدر الإشارة إليه، أن هناك مصدراً ضوضائياً غيـ ر مباشـ ر يعاني منه المرء أحياناً في البيئات المغلقة (الأبنيـ ة الـ سكنية، المـ ساجد،

المسارح، مكاتب العمل... إلخ)، متمثلاً بالصوت الارتجاعي (الـ صدى)، ولما كان الصوت ينتقل في الهواء بسرعة (٣٣٤م/ثا)، لذا فـ إن الـ صوت الذي ينتقل (٣٣ متراً) مثلاً سيسمع في وقت صدوره، ومرة أخرى بعدئ ذٍ (٠,١ ثانية).

٢ - ٤ - ضجيج الجوار:

يتمثل ضجيج الجوار في الشغب، والأصوات المزعجة التي يمكن أن توجد في البيوت السكنية، والأمكنة العامة، وفي المآدب، أو فـ ي الهـ واء الطلق. وتعتمد ضوضاء البيوت على طبيعة حياة الـ سكان، ومـ صادرها عموماً هي نوع من الأنشطة العدوانية (اللااجتماعية) للجوار الذين يبيحون لأنفسهم أن يرفعوا أصوات أجهزتهم التلفزيونية، ومسجلاتهم، ومـ ذياعهم، وآلاتهم الموسيقية مع صخب حفلاتهم ليقلقوا راحة الجوار، غيـ ر عـ ابئين بشيء، وكأنهم يمتلكون أنفسهم وغيرهم. يضاف إلى ذلك الضوضاء التـ ي تبعثها ألعاب الأطفال، خاصة تلك المفرقعات التي يستخدمونها في الأعيـ اد كوسيلة متعة وسعادة، وكم هو جدير بنا أن نعلم أطفالنا، أن هذه المفرقعات هي مصدر ضوضاء، وأذى للناس، وإقلاق لراحتهم. وأصـ وات الكـ لاب النابحة، والسيارات والدراجات النارية مصدر مهم للضوضاء التي تنتقـ ل إلى الناس في بيوتهم، أو في مكاتبهم، وكم يعاني أيضاً القـ اطنون بجـ وار المنشآت الصناعية من الضوضاء الناتجة في تلك المنشآت.

والجدول (٣١) يبين بعض مستويات الضوضاء المنبعثة من الجوار.

جدول (٣١) مستويات الضوضاء المنبعثة من الجوار

المصدر، وبعد المصدر	مستوى الضوضاء (ديسيبل)
انطلاق صاروخ ستورن من ارتفاع ٣٠٠م	٢٠٠
إقلاع طائرة كارير النفاثة	١٨٠
إقلاع طائرة فوق صوتية	١٢٠
طائرة نفاثة تطير على مقربة منا	١١٠
مثقب هوائي على بعد ١م	١٠٤
دراجة نارية على بعد ٨م	٩٦
بولدوزر على بعد ١٨م	٩٤
شاحنة ديزل ثقيلة على بعد ٧م	٩٢
صفارة قطار على بعد ١٥٠م، سيارة سباق	٩٠
قطار على بعد ٨٥م	٨٨
خلاطة إسمنت على بعد ١٥م	٧٥
همس	٢٥

إن الصوت الذي يحدث في الهواء، مثل دوي جهاز تلفزيون الجار، يمكن أن ينتقل عن طريق كل ممر هوائي ممكن بين شقة الجار وشقتك، سواء أكانت تلك الممرات مباشرة أم خفية، يضاف إلى ذلك، أن بنيان العمارات نفسها ينقل الأصوات ويبثها، وبسرعات تختلف عن سرعة الهواء، ولاسيما الضوضاء الصدمية (Impact Noises) مثل؛ وقع الأقدام، وانصفاق الأبواب، وطرقات الماء على باطن الأنابيب، والمحركات التي تعمل وتتوقف على فترات، وضوضاء العجلات التي تمر على الطرق القريبة، وفرقعات حاجز الصوت، وهناك ضوضاءات تذبذبية تنتقل أيضاً عن هذا الطريق، مثل؛ ما ينبعث من الإضاءة بالفلوريسنت، ومن المحركات، وأجهزة تكييف الهواء، وآلات الغسيل والتجفيف.

ينتقل الصوت في الهواء، وشدته تتناسب عكساً مع مربع البعد عن منبع الصوت، وبالتالي فإذا ما تضاعفت مسافة المنبع الصوتي، فإن شدة

الصوت ستنقص بمقدار (٦ ديسيبلات)، وتتأثر شدة الصوت المنتقلة إلى المتلقي، بوجهة الرياح السائدة، وبغراديان الحرارة اليومي للهواء، فتكون شدة الصوت أكبر في حال كون المتلقي للصوت في الاتجاه القادم منه الصوت والهواء المتحرك (الرياح)، والهواء الحار ينقل الصوت بصورة أسرع من الهواء الأبرد، إذ تتناسب سرعة انتشار الصوت طرداً مع درجة حرارة الهواء، وعكساً مع كثافته، ففي ساعات النهار ترتفع درجة حرارة الهواء، وفي الليل يحدث التبرد بفعل التشعع الأرضي للحرارة، ويستقر الهواء الأحر في الأعلى، والهواء الأبرد على مقربة من السطح، متولداً عن ذلك غراديان حراري، أو بالأحرى انقلاب حراري، يوضح جزئياً الإحساس بشدة انتقال الصوت في الليل، غير أن السرعة المنخفضة للرياح، والانعدام النسبي للضجيج الأرضي في الليل من العوامل المساعدة في ذلك، أي التي تجعلنا نشعر بسرعة انتشار الصوت.

٢ - ٥ - ضوضاء النوم:

إن أحد مصادر الضوضاء المنزلية التي تشكل عامل إزعاج وقلق ضمن الأسرة، هو ما يدعى باسم (الشخير)، فالنوم بحد ذاته الذي يتوجم عملياً على أنه حالة هدوء كاملة في المنزل، خاصة في ساعات الليل عندما يكون الجميع نائمين، يمكن أن ينبثق من هذا الهدوء النومي صوت مزعج مصدره أحد النائمين، فعند النوم تتراخى العضلات التي تبقي الفك مغلقاً، فيفغر الفم، ولاسيما حين يكون النائم مستلقياً على ظهره، وحينما يستنشق النائم الهواء يتذبذب سقف الحلق الرخو، وكذلك اللهاة، محدثين تلك الضوضاء الشهيرة جداً باسم (الشخير)، وما أكثر ما أزعج الشخير، وما أكثر ما عمل على تدمير علاقات عاطفية، وتسبب في حدوث طلاق.

الفصل الثالث

آثار الضوضاء

٣ – ١ – الآثار السمعية.

٣ – ٢ – الآثار النفسية.

٣ – ٣ – الآثار الجسمانية.

٣ – ٤ – الآثار الإنتاجية.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

إن الضوضاء تغزو ساعات النوم، مثلما تغ زو س اعات ال صحو، تطاردنا في البيت، الشارع، المدرسة، الجامعة، المعمل، أينما ذهبنا، وأينما حللنا، نهرب منها فتلاحقنا، تترك آثارها فينا، ونح ن لا نمتل ك القد رة الشخصية على مكافحتها.

ولقد عرف الإنسان منذ ق ديم الأزم ان بع ض الآث ار ال ضارة للضوضاء، وأدرك الخوف عن قرب من الأصوات المرتفع ة، كجلجل ة الرعود، وأصوات الرياح الشديدة... إلخ، ليعيش الي وم عالم اً لا ح دود لصخبه وضوضائه.

وهناك أربعة مستويات للضوضاء المؤثرة على الإنسان، هي:

أ - مستوى ضوضاء (٤٠ - ٥٠ ديسيبلاً)، وهذا ي ؤدي إل ى ت أثيرات وردود فعل نفسية، تظهر بصورة قلق وتوتر.

ب - مستوى ضوضاء (٥٠ - ٨٠ ديسيبلاً)، ولها تأثيرات س يئة عل ى الجملة العصبية.

ج - مستوى ضوضاء (٨٠ - ١١٠ ديسيبلات)، مترتباً على ذلك ح دوث نقص في السمع.

د - مستوى ضوضاء يزيد على (١١٠ ديسيبلاً)، محدثاً تأثيراً يتجلى في ألم حاد في الجهاز السمعي، واضطرابات في الجهاز القلبي الوعائي... وغير ذلك.

وهكذا يمكننا أن نصف الآثار التي تسببها ال ضوضاء ف ي أرب ع مجموعات، هي:

١ – آثار سمعية.

٢ – آثار نفسية.

٣ – آثار جسمانية.

٤ – آثار على قدرة الإنسان الإنتاجية.

وفيما يلي عرض موجز لتلك الآثار.

٣ – ١ – الآثار السمعية:

تؤثر الضوضاء على السمع بطريق مباشر وغير مباشر معاً، والعكس صحيح، فاختفاء الضوضاء أو انتفاؤها يصون السمع بطريق مباشر وغير مباشر معاً.

إن بداية فقدان السمع يحدث عند الترددات الأعلى من تلك المستخدمة في الكلام (من ٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ هرتز)، ومعظم الأفراد لا يفطنون لما يصيبهم من نقص في السمع إلا عندما تتسع دائرة الفقدان وتتجاوز التأثير الأولي (٤٠٠٠ هرتز)، والأصوات التي يبدأ الإنسان بعدم سماعها أولاً هي الأصوات الاحتكاكية لأنها تقع في مستوى الترددات العالية بين أصوات الكلام، ونجد أن الشخص الذي يعاني الأعراض الأولى لصمم الضوضاء يشكو قائلاً: «أستطيع أن أسمع ولكن لا أفهم».

ومعظم فقدان السمع المؤقت بسبب الضوضاء يحدث خلال الساعة الأولى أو الساعتين عقب التعرض للضوضاء المسرفة، وكذلك يحدث معظم الاسترداد للسمع في الساعة الأولى أو الساعتين عقب توقف الضوضاء الذي أحدث الصمم، ففي فرنسا – كمثال – بلغ عدد المصابين بأعراض الصمم في القطاع الصناعي (١٤١١) عاملاً في عام (١٩٨٤م).

إن الصمم الناتج عن الضوضاء يحدث نتيجة لعمليات السحق (Battering) التي تتلقاها خلايا الأهداب الدقيقة في حلزونية الأذن الداخلية، وقد يكون الصمم مؤقتاً أو أبدياً، وفق شدة الضوضاء، واستمراريته، ومعدل تكرار حدوثه. وأخطر أنواع الضوضاء على السمع هي أعلاها مسمعاً، وأعلاها طبقة، وأصفاها نغمة، وأطولها استمراراً، والأصوات التفجيرية خطرة أيضاً لأنها يمكن أن تحدث نوعاً آخر من العطب، هو تمزيق طبلة الأذن.

ومع صمم الضوضاء يأتي غالباً ذلك الاختلال السمعي الشائع المعروف باسم ثقل السمع، كما أنه كثيراً ما يتصاحب صمم الضوضاء بحدوث رنين (طنين) في الأذن يكاد يذهب بالعقل داخل الأذن، من شدة الألم، كما يقال شعبياً، ويعرف طبياً باس طنين الأذن (Tinnitus).

ولسوء حظ سكان عالمنا المعاصر، فإن شروط عملهم ومساكنهم تعرضهم إلى مستويات ضوضاء مختلفة، وهي وإن كانت في معظمها لا تترك آثاراً خطرة واضحة، إلا أن طول فترة سماع الضوضاء، وشدتها، يمكن أن تؤدي إلى نقص في السمع، شكل (٦٨)، وحتى فقدان للسمع، خاصة عند العمال الذين يتعرضون إلى ضوضاء بشدة (٨٠ ديسيبلاً) فأكثر، والجدول (٣٢) يبين درجة فقدان السمع وتأثيره.

جدول (٣٢) درجة السمع وتأثيره عند مستويات ضوضاء معينة

التأثير	معدل فقد السمع (ديسيبل)
ليس هناك صعوبة حقيقية في السمع	أقل من ٢٥
صعوبة سماع الحديث الخفيف	٢٥ - ٤٠
صعوبة سماع الحديث العادي	٤٠ - ٥٥
صعوبة سماع الحديث الجهوري	٥٥ - ٧٠
فهم الحديث المرتفع جداً (صراخ) فقط	٧٠ - ٩٠

الـ . . ـتـ أثـ . ـير	معدل فقد السمع (ديسيبل)
غير قادر على سماع حتى الحديث المضخم	أكثر من ٩٠
يتطلب مساعدة في السمع (سماعة)	أكثر من ٥٠٠

وتختلف درجة فقد السمع، باختلاف شدة الضوضاء، كما تختلف باختلاف عمر المتعرض لها، وطول مدة التعرض، كما هو موضح في الجدول (٣٣).

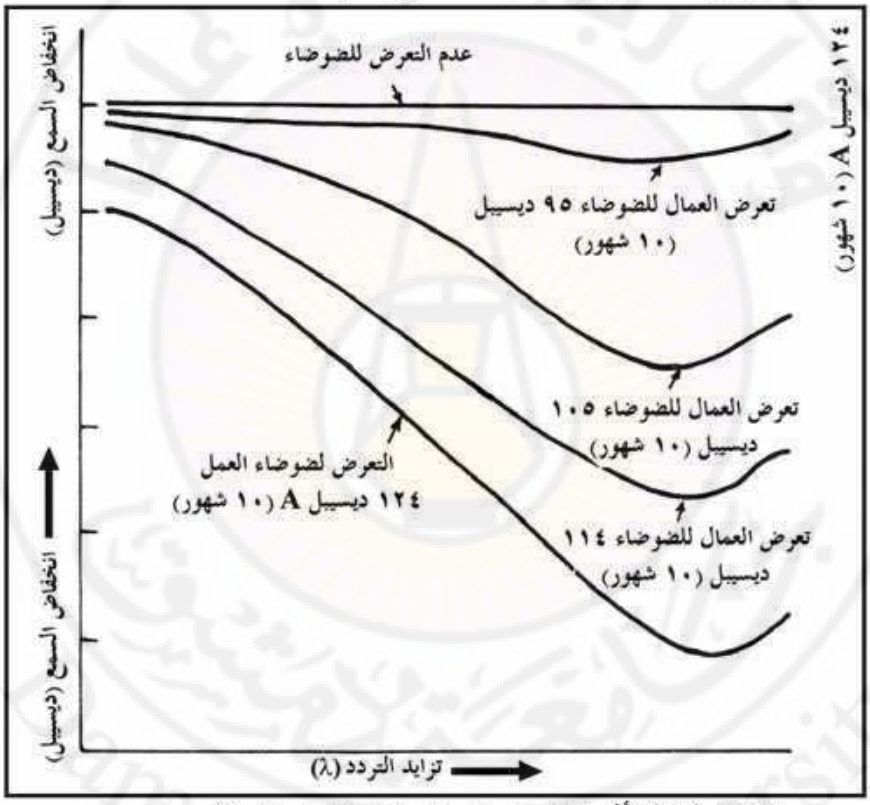
يبين الجدول (٣٣) فقد السمع لدى عمال من أعمار مختلفة ومدة التعرض للضوضاء متباينة، وأعمال يقومون بها مختلفة.

جدول (٣٣) فقد السمع لعمال من أعمار مختلفة ومدة تعرض للضوضاء متباينة

العـمـل	عمر العامل (سنة)	طول فترة الخدمة بالعمل (سنة)	فقد السمع (ديسيبل)
طباع زنكوغراف	٥٥,٣	٢١,٨	٣٥
سباكة حديدية	٥٤,٨	٣٦,٤	٤٣
سائق باص	٥٣,٧	٢١,٢	٤٤
صناعة أعمدة الغرف	٩٥,٨	٣٠,٥	٥٢
صناعة القازانات (المراجل)	٥٥,٢	٣٥,٥	٥٥
نساخ	٥٥,٠	٣١,٥	٥٨
زخرفة معدنية (تمديدات صحية.. إلخ)	٥٣,٥	٢١,٣	٦٥

إن الأذى الذي تسببه الضوضاء على السمع، ودرجة فقدان السمع الناتج عن ذلك، يختلف باختلاف مهنة العمل ونوع الضوضاء وشدته ومدة التعرض، كما هو موضح في الشكل (٦٨). ولقد أظهرت بعض الدراسات أن درجة تحمل حدود معينة من الضوضاء، تختلف أيضاً باختلاف مدة التعرض، فتأثير ضوضاء شدتها (٩٠ ديسيبل) لمدة ٨ ساعات يعادل تأثير (٩٣ ديسيبل) لمدة ٤ ساعات، وتأثير (٩٦ ديسيبل) لمدة ساعتين، وتأثير

(٩٩ ديسيبل) لمدة ساعة واحدة، فكلما ازدادت الضوضاء يجب أن تقل مدة التعرض، حيث إن تأثير (٩٩ ديسيبل) لمدة ساعة واحدة يكافئ تأثير (١٠٢ ديسيبل) لمدة نصف ساعة، وتأثير (١٠٥ ديسيبل) لمدة ١٥ دقيقة، وتأثير (١٠٨ ديسيبل) لمدة ٧ دقائق، وتأثير (١١١ ديسيبل) لمدة ٤ دقائق، وتأثير (١١٤ ديسيبل) لمدة دقيقتين، وتأثير (١١٧ ديسيبل) لمدة دقيقة واحدة، وتأثير (١٢٠ ديسيبل) لمدة ثلاثين ثانية.



الشكل (٦٨) تأثير التعرض إلى ضوضاء العمل على نقص السمع.

ولقد قامت العديد من الدراسات التي كشفت عن مخاطر الضوضاء على السمع، ومستويات الضوضاء التي تحقق عندها الخطورة، والجدول (٣٤) يبين مستويات الضوضاء القصوى المسموح بها.

جدول (٣٤) مستويات الضوضاء القصوى المسموح بها

الحـ . الـ . . ـة	(db.a) ديسيبل
حركة مرور قرب المناطق المأهولة	٧٠
ضوضاء إشادة الأبنية	٧٠
يجب استعمال واقية الأذن	٨٥
العمل في المعمل لمدة ٨ ساعات يومياً، ولـ . ٥ أيام أسبوعياً	٩٠
ضوضاء مستمرة، تسبب ضرراً دائماً	١٠٠
العتبة الحدية للألم، لمدة ٣٠ ثانية كحد أعظمي	١٢٠
النهاية القصوى للأذن غير المحمية	١٣٥
القدرة العظمى لتحمل الضوضاء المفاجئة والآنية	١٣٥ – ١٥٠
الحد المطلق للأذن المحمية	١٥٠
تمزق طبلة الأذن	١٨٠
تلف الرئة	١٩٤

٣ – ٢ – الآثار النفسية:

إن القول: إن الضوضاء تزعج أو لا تزعج، يتوقـ ف غالبـ اً علـ ى معناها بالنسبة لنا، وعلى الوسط الذي تسمع فيه، وعلى حالتنـ ا النفـ سية، وعلى مبلغ تعودنا إياها، فمستويات الضوضاء دون (٦٠ ديسيبلاً) تؤثر في قشرة المخ، وتؤدي إلى نقص النشاط، ويؤدي هذا إلى استثارة القلق وعدم الارتياح الداخلي والتوتر، والارتباك، والغضب. وقد يترتب علـ ى القلـ ق النفسي من شدة الضوضاء حدوث مشاجرات يمكن أن تكون بداية لحدوث جريمة قتل، إذ إن إرهاق أعصاب المرء بالضوضاء، وهو يكـ ون بأشـ د الحاجة إلى الهدوء، تجعله غير عابئ بما يفعل.

وإذا شعر المرء بأن من يحدثون الضوضاء يهتمون برفاهيته، وأنهـ م يقومون بأقصى ما في وسعهم لراحته، فالغالـ ب أن يكـ ون أكثـ ر تحمـ لاً

للضوضاء، وأكثر استعداداً لتقبل مستويات ضوضاء أعلى، أما إذا شعر أن باعثي الضوضاء يتجاهلون بغلاظة حاجته للهدوء والسكينة، فمن الراجح أن يكون معادياً للضوضاء، وأكثر انزعاجاً حتى للمستويات الأقل منها. وتختلف درجة الحساسية للضوضاء بين الذكور والإناث، فالإناث أكثر حساسية، وهذا يفسر سبب تزايد نسب أمراض الاكتئاب عند النساء قياساً بالرجال.

إن أشد الانفعالات إرهاقاً هو انفعال الخوف، الناجم عن صوت مفاجئ كصوت صفارة مفاجئ بالقرب من أذنيك، أو صوت طائرة وهي تخترق جدار الصوت، أو صوت صادر من شخص وموجه مباشرة لشخص آخر ليس منتبهاً له، أو إطلاق عيار ناري مفاجئ.

ويمكن للضوضاء أن تدفع الشخص إلى العصاب (Neurosis)، ليس هذا فحسب، بل يمكن القول: إن حالات قليلة من الجنون سببها عجز الجهاز العصبي على التكيف مع القصف الضوضائي المستمر، إذ إنه من الممكن أن يحدث عند الفرد تراكمات من التوتر العصبي بسبب التعرض الشديد للضوضاء، وهذا قد يسبب للشخص المتعرض، أن يجد نفسه فجأة مشتركاً في عمل عنيف، أو مصاباً بانهيار عصبي، على أثر أصوات تبدو صغيرة تدفعه إلى تجاوز نقطة احتماله، إذ إنه من الضار بالجهاز العصبي وسائر أجهزة الجسم، أن تعمل هذه الأجهزة فوق طاقتها معظم الوقت، وأسوأ موقف ممكن، هو الذي تكثر فيه مفاجأة الجهاز العصبي بأصوات شديدة الارتفاع، فمثل هذه الضوضاء تأخذ المخ على حين غرة، فتضربه مرة واحدة في وقت لا تكون فيه أجهزة الكف الواقية عاملة، وبذلك تحدث صدمة مخربة لا للجهاز العصبي وحده، بل وللغدد الصماء وللجهاز الخاص بالقلب والأوعية الدموية.

إن الضوضاء قد لا تسبب في حد ذاتها مرضاً عقلياً، غير أنه من المحتمل أن تكون الضوضاء القوة الفعالة للإسراع بالأزمة الانفعالية، وهذا الاحتمال، يجعل الضوضاء نذيراً خطراً على سلامة الملايين عقلياً.

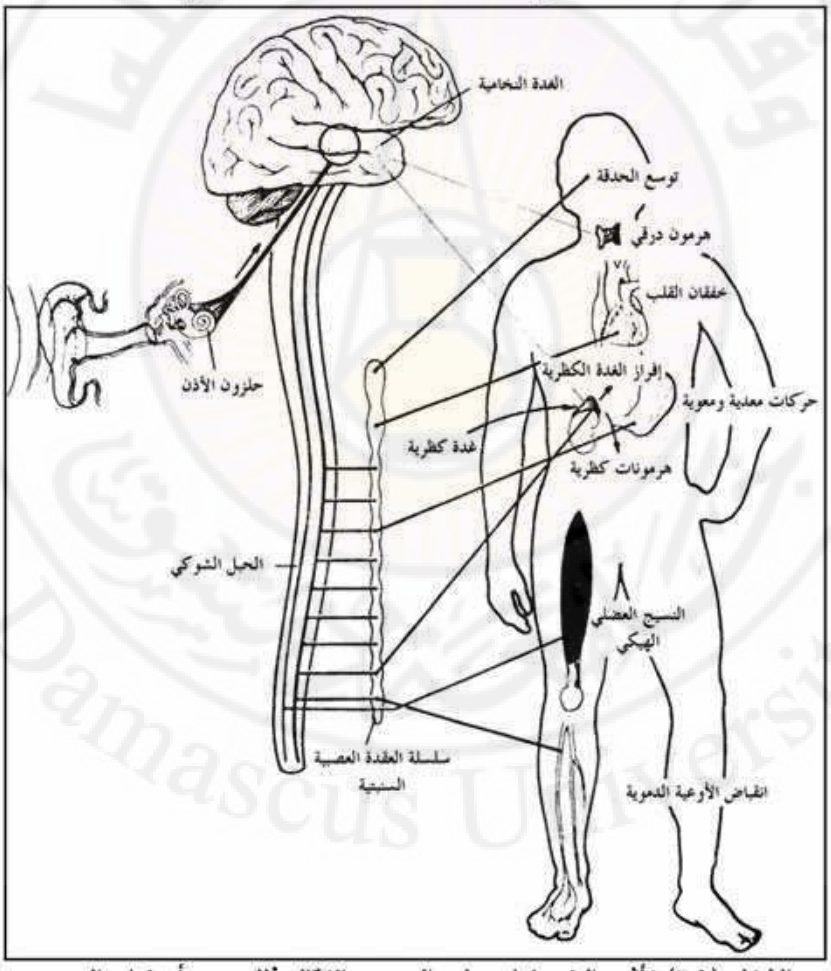
٣ - ٣ - آثار جسمانية:

تؤثر الضوضاء حتى على الجنين قبل ولادته، حيث يمكن أن تسبب استعداداً مسبقاً للنوبات التشنجية السمعية بعد الولادة، بالإضافة إلى بعض الآثار التي تتركها على سلوكه بعد أن ينمو ويصبح راشداً.

ومع أن الضوضاء لازمتنا منذ بداية الزمان، وأزعجت الإنسان منذ بزوغه فوق هذا الكوكب قبل ملايين عدة من السنين، إلا أنه لم يكن هناك تنبيه طبي جسدي للضوضاء قبل نحو عام (١٩٣٠م)، إذ بدأت عندها أجهزة تنبيه السيارات في بعض مدن العالم تزيد من صخب شوارعها، وأول الدراسات التي نشرت عن تأثيرات الضوضاء العضوية كانت في عام (١٩٥٣م)، محددة بعض الآثار العامة المتمثلة بالتعب المفرط، الغثيان العارض، ونقص الشهوة الجنسية.

وجميع القرائن التي قدمتها الدراسات المتعددة، تشير إلى أن الجهاز البشري الخاص بالقلب والأوعية الدموية يزدهر في الهدوء، ويضطرب في الضوضاء الصاخبة، إذ يُحدث إجهاداً في الجسم من جراء الضوضاء دون أن ندري ما سببه الفعلي. ومن الأعراض التي تنتج عن التعرض للضوضاء الشديدة والمستمرة يمكن ذكر، عدم الانتظام في خفقان القلب، وارتفاع ضغط الدم، وتضييق الشرايين، وانقباض في الأوعية الدموية، كما تشير بعض الدراسات إلى إمكانية حدوث نوبات قلبية من جراء الضوضاء، بالإضافة إلى التأثيرات على العين، وعلى إفرازات المعدة... إلخ.

وتأثيرات الضوضاء على الجسم تتم عن طريق المخ، شأن تنبيهات أخرى كثيرة، شكل (٦٩). فعندما يتم إدراك الضوضاء في قشرة المخ، التي هي أرقى منطقة وظيفية في المخ، نجدها تنبه الوظائف الدنيا للمخ، وخاصة ما يسمى التكوين الشبكي (Reticular Formation)، وهو عبارة عن كتلة من الخلايا عند مركز ساق المخ ومكانها عند قاعدته، والتكوين الشبكي له علاقات مباشرة بالمستويات الأعلى في المخ، حتى القشرة، وله أيضاً صلات بالحبل الشوكي، حيث يمارس تأثيراته التي لا ندركها.



الشكل (٦٩) تأثير الضوضاء على الجسم وانتقال ذلك عبر أعضاء الجسم

٣ - ٤ - الآثار الإنتاجية:

إن الضوضاء تزعجنا، وتجعل ظروف عملنا خطرة، وتوقظنا، وتفرض نفسها على أحلامنا في الليل ونحن نيام،وتعرقل كلامنا، وتحد من استمتاعنا بالموسيقا، أو مشاهدتنا لبرنامج تلفزيوني، وجميع انتهاكات الضوضاء لأشخاصنا تترك آثاراً في صحتنا العقلية، وفي قدراتنا الإنتاجية في أعمالنا، فليس من السهل على المرء أن يحلق ذقنه أو يتناول وجبة طعام في حضور طفل صغير يبكي بكل عنفوانه، وكثيراً ما تكون المصانع، بحكم الضرورة، مفرطة الوطأة على الآذان، بما لا يحقق الراحة للعاملين، ويقلل من قدراتهم الإنتاجية، وقد جرت منذ الثلاثينات من هذا القرن العديد من الاختبارات لمعرفة آثار الضوضاء على العمل، ودلت جميعها على نقص في الإنتاجية والوقوع في الأخطاء، مرده إلى الإرهاق الناتج عن الضوضاء المزعجة.

إن الطالب في بيته يقل استيعابه لدروسه في ظل أجواء صاخبة حوله، والمعلم في قاعة تدريسه يتدنى عطاؤه في حال كون الدرس صاخباً من قبل الطلاب، وضارب الآلة الكاتبة تكثر أخطاؤه، وتقل سرعة أدائه بازدياد الضوضاء. ولقد أوضحت بعض الدراسات أن إنتاج العاملين في أوساط شدة الضوضاء فيها (٧٠ ديسيبلاً) يزيد مرتين على إنتاج العاملين في أوساط شدة الضوضاء فيها (١٠٠ ديسيبلاً) فأكثر، كما أوضحت بعض التجارب أن فرقاً في شدة الضوضاء مقدار (١٠ ديسيبل) (٩٦، ٨٦ ديسيبلاً) لمجموعتين من العمال، نجم عنه زيادة في إنتاج المجموعة ذات الضوضاء الأقل بمقدار (١٢%). ولا يتوقف تأثير الضوضاء الشديدة على نقص الإنتاج، وإنما يبرز واضحاً في تدني

نوعية الإنتاج، وهذا كله مؤشر على انعكاسات الضوضاء على قدرة الشخص على العطاء في عمله.

ولقد وجد أن تلاميذ المدارس يقل فهمهم لما يتلقونه في دروسهم في المدارس المعرضة للضوضاء. وهذا ما تم ملاحظته عند تلاميذ إحدى مدارس مدينة (بوردو) بفرنسا الواقعة بقرب أحد الطرق السريعة، والتي تتعرض لضوضاء مستمرة تصل شدتها إلى (٧٠ ديسيبل) الذين تكثر أخطاؤهم الإملائية عند ترك النوافذ مفتوحة، مقارنة بإغلاق النوافذ المحددة للضوضاء، ففي الفصل الدراسي الأول؛ عندما كانت النوافذ مغلقة، فإن عدد الأخطاء المملاة بلغت (٢٠) خطأً من أصل (٥٠٠) كلمة مملاة على التلاميذ، في حين ازدادت الأخطاء إلى (٢٨) خطأً عندما كانت النوافذ مفتوحة، أما في الفصل الدراسي الثاني، فقد بلغ عدد الأخطاء (٢٥) خطأً والنوافذ مغلقة، لتزداد الأخطاء إلى (٧٨) خطأً والنوافذ مفتوحة.

فالضوضاء تؤثر سلباً على مدى تحصيل التلاميذ للمواد الدراسية، ويقل استيعابهم وفهمهم لما يعطى لهم، خاصة عندما تقع مدارسهم بالقرب من مصادر الضوضاء. ولقد أظهرت دراسة في مدينة قريبة من مطار (لوس أنجلوس) أن أطفال المدارس قرب المطار يقل تحصيلهم عن المناطق البعيدة عنه. كما أظهرت الدراسات في بريطانيا أن تعرض الأطفال للضوضاء الشديدة بفعل الطائرات، يؤدي إلى تأخرهم في تعلم القراءة وفي النطق.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الرابع

الضوضاء في مدينة دمشق

٤ – ١ – التوزع الجغرافي لمناطق الضوضاء في مدينة دمشق.

٤ – ٢ – الضوضاء في المناطق التجارية والصناعية.

٤ – ٣ – الضوضاء في المشافي في مدينة دمشق.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

بقدر ما إن الضوضاء مشكلة محلية، هي مشكلة عالمية، وهو عموماً من مصادر بشرية، فأينما وجدت التجمعات البشرية ريفاً ومدينةً وجدت الضوضاء، ولكن الضوضاء المؤثرة سلباً على الإنسان – وحتى إنتاجية الحيوانات –، هي المنتشرة عموماً في المدن والمناطق الصناعية، وبعض التجمعات الريفية، حيث غدت الضوضاء مشكلة تعم المدن كافة في أنحاء العالم المختلفة، وتكفي السيارات والدراجات النارية، وأصوات الباعة، وأجهزة التلفاز... وغير ذلك، لتشكل ضوضاء مزعجة، لم يسلم الريف في عصرنا الحالي من هذه المشكلة.

وسنتوقف عند مثال عن ضوضاء المدن، باختيار مدينة دمشق، وهي بالقياس مع نظرائها من العديد من مدن العالم ذات تلوث ضوضائي متوسط الشدة.

٤ – ١ – التوزع الجغرافي لمناطق الضوضاء في مدينة دمشق:

يعاني سكان مدينة دمشق التلوث الضوضائي الذي يعم كافة أرجائها، لاسيما أنه يزداد في المناطق الرئيسية التي تقع في مركز المدينة ومحاورها، فمثلاً، فإن شدة الضوضاء تزداد في منطقة البرامكة، وبشكل خاص عند (سانا)، إذ يبلغ مستوى الضوضاء (٧٧,٩ ديسيبل)، ويرتفع أقصاها ليصل إلى (٩٩,١ ديسيبل)، ويعود السبب في ذلك إلى وجود مركز انطلاق حافلات النقل العام وغيره (عام ٢٠١٢م وما قبله)، كما يوجد في هذه المنطقة مشفى التوليد، وبعض كليات جامعة دمشق، ومقرها

الرئيسي، ومكاتب الهجرة والجوازات، وغيرها، مما أدى إلى ازدحام تلك المنطقة بال سيارات، بالإضـ افة إل ى البـ ائعين الجـ والين، والطـ لاب، والمسافرين.. مسهماً ذلك كله في ازدياد شدة الضوضاء.

ويلاحظ أيضاً في منطقة المجتهد حيث تبلغ شدة الـ ضوضاء (٨٢,٥ ديسيبل) ولترتفع إلى حدودها القصوى فتصل إلى (١٠٢ ديسيبل)، وهـ ي شدة مرتفعة جداً نتيجة وقوع المنطقة أيضاً وسط المدينة.

وهنالك أيضاً منطقة الطلياني (شارع الصالحية)، حيث يبلـ غ فيهـ ا متوسط شدة الضوضاء (٧٩,٦ ديسيبل)، وترتفع هذه القيمـ ة حتـ ى (٩٨ ديسيبل). وكذلك سوق الحمراء حيث تبلغ فيه (٧٨,١ ديـ سيبل)، وترتفـ ع لتصل إلى (٩٦,٧ ديسيبل)، ويعود ذلك إلى وجود سوق تجاري في كلتـ ا المنطقتين. كما ترتفع شدة الضوضاء إلى درجة الإزعاج، فـ ي المنطقـ ة المحيطة بمبنى المحافظة، لكثرة السيارات، شكل (٧٠ أ – ب).



الشكل (٧٠ – أ) صورة لتركز السيارات في ساحة المحافظة بمدينة دمشق



الشكل (٧٠ – ب) صورة لشارع النصر

وهنالك أيضاً منطقة اليرموك حيث يبلغ متوسط شدة الضوضاء فيها (٨١ ديسيبل) لترتفع حتى (٩٨,٩ ديسيبل) وذلك نتيجة وجود سوق تجاري في المنطقة.

ويلاحظ تدني مستويات الضوضاء في منطقة دمر عن سابقاتها ليبلغ متوسط شدة الضوضاء (٥٢,٥ ديسيبل)، وترتفع حتى (٩٥ ديسيبل)، وفي منطقة المزة (جامع الأكرم) يبلغ المتوسط (٦٢,٥ ديسيبل)، وترتفع حتى (٧٨ ديسيبل)، وذلك لأنه كلما ابتعد عن الشوارع الرئيسية تقل نسبة الضوضاء بشكل كبير.

وبشكل عام تبقى هذه المستويات جميعها أعلى من المستويات المسموح بها عالمياً والتي تبلغ (٤٠ – ٤٥ ديسيبل).

ويبين الجدول (٣٥) متوسط مستويات الضوضاء الخارجي في مواقع مختلفة من مدينة دمشق.

جدول (٣٥) متوسط مستويات الضوضاء الخارجي في مواقع مختلفة من مدينة دمشق

الموقع	المتوسط	الأدنى	الأقصى
مساكن برزة	٧٨,٤ – ٧٩,٣	٥٣,٥ – ٦٢,٨	٨٤,٨ – ٩٦,٩
شارع بغداد	٧٥,٦ – ٧٨,٢	٦٢,٢ – ٦٥,١	٨٨,٠ – ٩٨,٤
المجتهد	٧٩,٥ – ٨٢,٥	٦١,٦ – ٦٥,٤	٩٥,٤ – ١٠٢,٠
جامع الأكرم	٦٢,٥ – ٧٠,١	٤٥,٠ – ٤٩,٨	٨٧,٢ – ٨٨,٠
الجاحظ – المالكي	٦٤,٩ – ٧٩,٧	٤٨,١ – ٥٤,١	٧٧,٩ – ٩٤,٣
المحافظة	٧٠,٤ – ٧٧,٠	٥٧,٢ – ٦٦,٠	٨٥,٩ – ٩٧,١
الميدان	٧٢,٥ – ٧٧,٥	٥٩,٣ – ٦٣,١	٨٧,٩ – ٩٧,١
ابن عساكر	٧٠,٤ – ٨٠,٦	٥٥,٤ – ٦٣,٠	٨٢,٠ – ١٠٢,٣
دمر(مناطق سكنية)	٥٢,٥ – ٧٠,٤	٤٤,٤ – ٥٠,٨	٧٠,٠ – ٩٥,٧
دمر (المركز التجاري)	٦٢,٣ – ٦٦,٧	٤٨,٣ – ٥٣,٢	٨٤,٥ – ٩٠
برامكة (سانا)	٧٥,٣ – ٧٧,٩	٦٦,٦ – ٦٩,٩	٨٦,٧ – ٩٩,١
الطلياني	٧٥,٤ – ٧٩,٦	٥٨,٣ – ٦٥,٠	٩٠,٠ – ٩٨,٣
شارع الحمراء	٧٤,٩ – ٨٧,١	٥٩,٧ – ٦٥,٤	٩٢,٨ – ٩٦,٧
المزة الرازي	٧٧,٨ – ٧٩,١	٥٩,٢ – ٦٧,٨	٨٧,٨ – ٩٢,٨
ركن الدين	٧٦,٤ – ٧٩,٩	٥٤,٩ – ٦٠,٩	٩٤,٨ – ٩٩,٤
الدويلعة	٧٣,٩ – ٧٧,٢	٥٣,٦ – ٥٨,٩	٨٧,٨ – ٩٧,٨
المواساة	٦٩,٨ – ٧٧,٢	٥٥,٩ – ٦٤,٠	٨٥,٦ – ٩٦,٦
اليرموك	٧٦,٦ – ٨١,٠	٥٥,١ – ٦٥,٧	

المصدر: وزارة الإدارة المحلية والبيئة، حماية البيئة (٢٠١٢/١٠/٣١م).

٤ – ٢ – الضوضاء في المناطق التجارية والصناعية في دمشق:

تصل مستويات الضجيج إلى أعلى نسبة لها في الأسواق الصناعية، فمثلاً وصل متوسط الضوضاء في سوق النحاسين بدمشق إلى (٩٤,٨ ديسيبل)، ليبلغ حده الأقصى (١٠٦,٢ ديسيبل)، وهذه الضوضاء ناتجة عن المطرقة الحديدية بالأواني النحاسية.

وإذا كان متوسط الضوضاء في حوش بلاس نحو (٨٧ ديسيبل)، فإن أقصاه يصل إلى (١١٢,٩ ديسيبل)، وهذه الضوضاء ناتجة عن الآلات الصناعية.

أما في الأسواق التجارية فتسجل منطقة المحافظة أعلى مستوى لشدة الضوضاء (٧٩ ديسيبل) لتصل إلى أقصى حد لها (٩٣ ديسيبل)، وذلك لكونها مركز المدينة حيث يوجد فيها مصارف وبعض الوزارات ومكاتب سياحة، وفيها أيضاً سوق تجاري. يليها سوق الحمراء الذي تصل فيه شدة الضوضاء نحو (٧٥ ديسيبل) لترتفع إلى (٩٣,٦ ديسيبل). ومن ثم سوق القصاع (٧٤,٨ ديسيبل)، وترتفع لتصل إلى (٩٥,٦ ديسيبل). وأخيراً الحميدية (٦٩,١ ديسيبل) وترتفع ليصل حدها الأقصى إلى (٧٧,٩ ديسيبل) وهذه النسب جميعها مرتفعة إذا ما قورنت أيضاً بالمستويات العالمية التي تبلغ نهاراً (٥٥ – ٦٥ ديسيبلاً)، وليلاً (٤٥ – ٥٥ ديسيبلاً).

والجدول (٣٦) يبين متوسط مستويات الضوضاء المقاسة في بعض المناطق التجارية والصناعية في مدينة دمشق.

جدول (٣٦) متوسط مستويات الضوضاء (ديسيبل) المقاسة في بعض المناطق التجارية والصناعية في مدينة دمشق

الموقع	المتوسط	الأدنى	الأقصى
الحميدية	٦٩,١	٦٣,١	٧٧,٩
الحمراء	٧٤,٦ – ٧٥,٠	٦٥,٠ – ٦٥,٦	٩٠,١ – ٩٣,٦
المحافظة	٧٥,٥ – ٧٩,٠	٦٥,٥ – ٦٩,٠	٨٨,٧ – ٩٣,٠
القصاع	٧٣,٢ – ٧٤,٨	٦٢,١ – ٦٤,٣	٨٩,٨ – ٩٥,٦
سوق النحاسين	٨٦,٣ – ٩٤,٠	٦٩,٤ – ٧٢,٦	٩٩,٧ – ١٠٦,٧
المنطقة الصناعة (حوش بلاس)	٧٣,٩ – ٨٧,٠	٦٠,٤ – ٦٢,٧	٨٨,٤ – ١١٢,٩

المصدر: وزارة الإدارة المحلية والبيئة، حماية البيئة (٢٠١٢/١٠/٣١م).

٤ – ٣ – الضوضاء في المشافي في مدينة دمشق:

يجب أن تكون المشافي نموذجاً مثالياً للهدوء والراحة، لتعين المرضى على الشفاء، والأطباء على ممارسة أعمالهم بطمأنينة دون توتر وانزعاج، والتي يجب أن لا تزيد فيها نسبة الضوضاء نهاراً عن (٣٥ – ٤٥ ديسيبل)،وفي الليل عن (٢٥ – ٣٥ ديسيبل)، وذلك حسب مستوى الضوضاء المسموح به عالمياً.

ولكن للأسف فإن أغلب المشافي في دمشق مبنية على الشوارع الرئيسية، حيث تكتظ هنالك حركة المرور، والمباني السكنية، وورش الحدادة والنجارة وغيرها. حيث ترتفع شدة الضوضاء في مشفى المجتهد فتصل خارج المشفى حتى حدودها القصوى إلى (٩٧,١ ديسيبل)، وبجانب غرف المرضى (٧٢,٦ ديسيبل)، وذلك بسبب موقع المشفى في مركز

المدينة حيث يسود ضجيج السيارات باختلاف أنواعها والباعة الجوالين. أما مشفى الرازي فيقع على اتستراد المزة حيث تصل شدة الضوضاء إلى (٨٨,٩ ديسيبل) خارج المشفى، وبجانب غرف المرضى إلى (٧٢,٦ ديسيبل).

أما مشفى الطلياني فيقع بجانب سوق تجاري تعم فيه الضوضاء الصادرة من الباعة، واكتظاظ السكان، وتزاحم السيارات حيث تبلغ شدة الضوضاء داخل المشفى (٨١,٢ ديسيبل)، وبجانب غرف المرضى (٧٣,٨ ديسيبل)، ويقع مشفى الفرنسي بالقرب من سوق القصاع التجاري فترتفع شدة الضوضاء حتى (٧٣,٣ ديسيبل) بجانب غرف المرضى، وهذه المستويات من شدات الضوضاء إذا ما قورنت مع المستويات العالمية المسموح بها، فإنها تشكل ضعف الحد المسموح به عالمياً، الذي يبلغ (٢٥ - ٣٥ ديسيبل).

والجدول (٣٧) يوضح مستوى الضوضاء في بعض المشافي في مدينة دمشق

جدول (٣٧) متوسطات مستويات الضوضاء في بعض مشافي مدينة دمشق

المستشفى	موقع القياس	المتوسط	الأدنى	الأقصى
الفرنسي	خارج المستشفى	٧٦,٩	٥٧,٨	٩١,٤
	داخل المستشفى	٦٣,٧	٥٣,٥	٧٥,٢
	بجانب غرف المرضى	٥٥,٥	٤٥,١	٧٣,٣
المجتهد	خارج المستشفى	٧٧,٨	٦٧,٠	٩٧,١
	داخل المستشفى	٦٧,٩	٥٩,٦	٨٤,٧
	بجانب غرف المرضى	٦٨,٦	٥٥,٩	٨٩,٠

المستشفى	موقع القياس	المتوسط	الأدنى	الأقصى
الرازي	خارج المستشفى	٧٤,٢	٦٤,٢	٨٨,٩
	داخل المستشفى	٦٠,٩	٥٠,٩	٧٧,٩
	بجانب غرف المرضى	٦٠,٧	٤٩,٢	٧٢,٦
الطلياني	خارج المستشفى	–	–	–
	داخل المستشفى	٦٢,٤	٤٧,٧	٨١,٢
	بجانب غرف المرضى	٥٨,١	٤٥,٨	٧٣,٨

المصدر: وزارة الإدارة المحلية والبيئة، حماية البيئة (٢٠١٢/١٠/٣١م).

الباب الرابع

التلوث الأرضي (التربي)

الفصل الأول: استغلال الأرض وتلوثها.

الفصل الثاني: تصريف النفايات وتلوث الأرض بالنفايات.

الفصل الثالث: تلوث الأرض الزراعية.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

استغلال الأرض وتلوثها

١ - ١ - أنماط استغلال الأرض.

١ - ٢ - النماذج الرئيسية للأراضي الملوثة.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

لطبيعة استغلال الأرض، ولتداخل أنماط الاستغلال مع بعضها، دور مهم في تلويثها، فطرق المواصلات أصبحت إحدى المظاهر الخدمية الأساسية لأشكال الاستغلال كافة، مع ما لوسائط النقل المستخدمة من تأثير في تلوث التربة الزراعية. كما إن الأرض المستغلة في المنشآت الصناعية، أو في المراكز العمرانية، تنعكس آثارها على الأراضي المجاورة المستغلة في الزراعة. بجانب ما تخلفه نفايات المصانع وفضلات المراكز العمرانية... وغير ذلك، من آثار واضحة في تلوث البيئة المجاورة لها. إضافة إلى ما تقدم، تلعب الطرائق المستخدمة في الأعمال الزراعية، دوراً واضحاً في تلوث التربة الزراعية بالملوثات المختلفة.

١ - ١ - أنماط استغلال الأرض:

تستغل الأرض، في أي بلد، في أشكال عديدة من الاستعمالات، يمكن تحديدها بالآتي: زراعة المحاصيل الزراعية، والأشجار المثمرة، وزراعة الغابات، والمراعي، والسكن، والخدمات الصناعية والتجارية لتلبية احتياجات المراكز العمرانية الريفية والمدنية، والمراكز الصناعية وطرق المواصلات البرية، والسكك الحديدية.... إلخ.

وبصورة عامة تتداخل نماذج الاستغلال المختلفة للأرض مع بعضها في كثير من المناطق، لتترك تأثيراتها المتبادلة بعضها في بعض. إذ إنه لا بد من المشاريع الخدمية، من طرق مواصلات وغيرها، لخدمة المشاريع الزراعية والصناعية، ولاستثمار أراضي الغابات والمراعي، كما أن الكثير

من المنشآت الصناعية تتركز في أواسط مناطق زراعية، بالإضافة إلى المباني السكنية التي تقوم في أراضٍ زراعية على حساب البقعة الزراعية. إلى جانب ما تقدم ذكره فإن مقالب القمامة والنفايات الناتجة عن الاستخدامات المنزلية، أو عن المنشآت الصناعية، تتخذ أمكنتها إما على سطح الأرض بصورة أكوام، أو تودع في حفر مكشوفة للهواء، وهذه كما سنرى فيما بعد إحدى مصادر تلوث التربة الزراعية.

ومن الجدول (٣٨) يتضح سعة الأرض في القطر العربي السوري القابلة للاستثمار الزراعي، وتلك غير القابلة واستخداماتها، وما هو متروك كمراع وأراض، وغير ذلك.

جدول (٣٨) توزيع الأراضي في سورية وفق استعمالاتها لعامي (١٩٨١ و٢٠٠٩) (بالألف هكتار)

السنة	أراضي قابلة للزراعة					أراضي غير قابلة للزراعة				أرضي أخرى	
	مجموع المساحة	مستثمرة فعلاً	سبات للراحة	غير مستثمرة	المجموع	أبنية ومرافق عامة	مستنقعات وبحيرات	أراضي صخرية ورملية	المجموع	مراعي ومروج	حراج
١٩٨١	١٨٥١٨	٣٨٥٣	١٩٠٦	٣٨٣	٦١٤٢	٣٣٦	١١٣	٣٠٨٥	٣٥٣٤	٨٣٥٦	٤٨٦
٢٠٠٩	١٨٥١٨	٤٣٣٩	١٣٢٥	٣٤٨	٦٠١٢	٩٩٣	١٥٤	٢٨٣٤	٣٦٨١	٨٢٤٤	٥٨١

المصدر: المجموعة الإحصائية السورية السنوية لعام (١٩٨٢)، ولعام (٢٠٠٩) ص٨٦.

١ – ٢ – النماذج الرئيسية للأرض الملوثة:

تختلف درجة تلوث الأرض بالملوثات المختلفة، باختلاف مصادر التلوث التي تؤدي إلى تلويثها، وهذا ما يمكن من تمييز أربعة نماذج رئيسية لتلوث الأرض، هي:

١ – الأراضي الملوثة بمقالب القمامة، ومواد الفضلات والنفايات السائلة والصلبة، وتتمثل قوالب القمامة في نواتج عمليات مقالع الحجارة، والتعدين.

كما أن الفضلات البشرية، ونفايات المصانع والمتاجر تشكل مصدر تلويث للأرض، فبتراكم تلك الفضلات والنفايات... وما إلى ذلك، يتراجع استغلال الأرض، ويتدنى غطاؤها النباتي الطبيعي، وتسير في طريق التهجير، حتى لتوصف فيما بعد بالأرض المهجورة.

٢ - الأراضي المهملة (المهجورة)، وهذه يمكن تصنيفها في أربعة أصناف:

أ - الأراضي المهملة التي خربت، أو أراضي الأبنية المهجورة وتجهيزاتها، وهذه غالباً ما توجد في مناطق المدن الصناعية، كما توجد أيضاً في بعض المراكز الريفية، ومثال عنها، الأرض التي خربت في أثناء الحروب والتي كانت تشكل مواقع دفاعية، ومهابط طيران حربي (مطارات حربية).

ب - الأراضي المهملة التي كانت تستعمل سابقاً كخطوط سكك حديدية للمسافرين وللبضائع، أو طرق نقل برية. وهذا النموذج من الأراضي المهملة في حال تزايد منذ أواخر الستينيات من القرن العشرين.

ج - الأراضي المهملة التي كانت مناطق محاجر، ومناجم تعدين، وتوقف فيها العمل الآن. وتتصف هذه الأراضي بكثرة الفجوات والمغائر، وبأكوام النفايات الكبيرة.

د - الأراضي التي ليست مستغلة زراعياً بشكل جيد، وغير مصانة باستمرار، وهذا النموذج يمكن أن يدعى بالمهمل، أو الاستغلال المنخفض أكثر من أن يوصف بالخراب، ومثل هذه الأراضي توجد في مناطق متفرقة من كل دولة، وتستعمل غالباً كمناطق تجميع للقمامة والنفايات.

٣ – الأراضي التي تستغل لتصريف النفايات الصناعية المحتوية على مواد كيماوية مضرة، ومواد نشطة إشعاعياً، وهذه الأراضي تصبح غير ملائمة للزراعة أو حتى للسكنى.

٤ – الأراضي الزراعية ذات الاستغلال الفعال والكثيف، التي يعود استغلالها إلى استخدام الطرق والأساليب الزراعية الحديثة، من استخدام للمخصبات الكيماوية، وللمبيدات. غير أنها تتعرض لتأثيرات التلوث الذي تسببه مياه التصريف التي تدخل الأراضي من الجداول والأنهار الملوثة، وهذا كله يتسبب في تلوث الأرض، وتدني استغلالها مع تقدم الزمن.

الفصل الثاني

تلوث الأرض بالنفايات

٢ – ١ – نماذج النفايات الصلبة ومصادرها.

٢ – ١ – ١ – النفايات البشرية.

٢ – ١ – ٢ – النفايات التجارية.

٢ – ١ – ٣ – النفايات النباتية والحيوانية.

٢ – ١ – ٤ – النفايات الصناعية.

٢ – ٢ – مقابر القمامة الأرضية والتلوث.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

تشكل النفايات الصلبة والسائلة، مصدراً رئيسياً م ن م صادر تل وث الأرض، خاصة بعد أن تزايد حجم هذه النفايات، وباتت تشكل خطراً واضحاً ليس على تلوث التربة الزراعية فحسب، وإنما على تلويث الماء الذي بح د ذاته يستغل في ري المحاصيل الزراعية، وعلى تلوث الهواء أيضاً.

٢ - ١ - نماذج النفايات الصلبة ومصادرها:

تختلف النفايات الصلبة باختلاف مصدرها، بحيث يمكن ذكر المئات منها، غير أنه لأغراض التحديد الحالي في مج ال دراس تنا، يمكنن ا أن نصنفها في أربع مجموعات حسب مصادرها، وهي الآتية:

أ - نفايات بشرية.

ب - نفايات تجارية

ج - نفايات نباتية وحيوانية.

د - نفايات صناعية.

وسنتناولها فيما يلي بشيء من التفصيل.

٢ - ١ - ١ - نفايات بشرية:

وتتمثل هذه النفايات في بقايا الاستخدامات المنزلية المكونة من: بقايا الأطعمة، والورق، والبلاستيك، والزجاج وقطع الثياب البالية.. إلخ. ولق د أصبحت معظم دول العالم تعاني مشكلة التخلص من النفايات الصلبة ومن تراكمها فيما يعرف بالمقالب المكشوفة، وباتت مشكلة ت راكم الف ضلات المنزلية الصلبة تثير الكثير من المضايقات، خاصة في ال بلاد ال صناعية

لازدياد عدد السكان المضطرد وتقدم التطور العمراني والاحتياجات الاستهلاكية يوماً بعد يوم. ومدينة القاهرة الكبرى، وخاصة أحياؤها القديمة والشعبية تعيش مثل هذه المعاناة. وتشكل هذه النفايات خطراً كبيراً على الصحة، إذ إنه بهطول الأمطار عليها أو تعرضها لأي مصدر مائي في أجواء حارة تنشط الميكروبات والجراثيم مطلقة نواتجها إلى الهواء ملوثة إياه، ومحللة المياه (الأمطار وغيرها) ما يمكن تحلله منها لتعمل على تسربه ضمن التربة أو المياه السطحية والجوفية، ملوثة التربة والماء والمحاصيل الزراعية إذا ما رويت منها.

ويقدر معدل مخلفات الفرد يومياً من النفايات ما بين (٧٠٠ - ١٠٠٠غرام)، ففي دول أوربا بحدود (٧٥٠غراماً) يومياً، وفي سورية نحو (٩٠٠ غراماً). وتقدر نسبة النفايات الصلبة القابلة للتعفن في الدول العربية بنحو (٧٠%)، والنفايات الورقية والكرتونية (١٧%)، والمعدنية والزجاجية (٥%)، والبلاستيكية نحو (٤%)، والباقي مواد أخرى. بينما تكون نسبة النفايات في دول أوربا الغربية كالآتي: (٣٥%) نفايات قابلة للتعفن، (٣٠%) نفايات ورقية، (٢٠%) نفايات معدنية وزجاجية، و(٣%) بلاستيكية... والباقي مواد أخرى.

ويمكن إضافة نفايات المستشفيات إلى النفايات البشرية، ممثلة في مخلفات الاستخدام الطبي والعلاج والعمليات الجراحية والضمادات ومخلفات المطابخ وبقايا الأطعمة، وهذه النفايات ذات خطورة شديدة لما تحتويه من أنواع الجراثيم ومسببات العدوى للكثير من أنواع الأمراض، ولذا يجب التخلص منها بالسرعة القصوى وبمنتهى الحرص على عدم لمسها أو تنشق ما يخرج منها.

٢ - ١ - ٢ - نفايات تجارية:

وتتمثل في الفضلات الناتجة عن الأماكن التجارية الكبرى، ومناطق البيع الصغيرة والأعمال الأخرى من مطاعم وفنادق ومخازن بجميع أنواعها. ومن أهم مصادرها الأسواق الكبرى، كأسواق الخضروات والفواكه، وأسواق بيع الحيوانات، واللحوم، وأسواق البيع الدورية الأسبوعية التي تأخذ نفاياتها طابعاً مستقلاً، في حين أن معظم نفايات المحلات التجارية الصغيرة تختلط مع النفايات المنزلية التي تجمع في حاويات القمامة.

٢ - ١ - ٣ - نفايات نباتية وحيوانية:

وتتمثل في بقايا النباتات (بقايا الأعلاف ومخلفات حصاد المحاصيل الزراعية)، ومخلفات الحيوانات (إفرازاتها) وأجسادها بعد موتها، ونواتج المسالخ من مواد عضوية متنوعة ناتجة عن ذبح الأبقار والأغنام والدواجن والمكونة من الأحشاء وما تحتويه، أجزاء الجلد... وغير ذلك. وتتصف المخلفات الحيوانية بسرعة تفككها وتفسخها وتحللها، لتشكل بذلك مادة استهلاكية أولية من قبل الكائنات الحية الدقيقة، ولولا ذلك لتجمعت بالتدريج وأدت إلى هدم النظام البيئي.

وهذا النوع من النفايات التي تكون مختلطة ببعضها في الكثير من الأحيان (نباتية وحيوانية) تشكل مصدراً سريعاً للتلوث الهوائي والتربي والمائي في الوسط الموجودة فيه والقريب منها. غير أن هذه النفايات يمكن تحويلها إلى سماد زراعي مهم، وبعضها يمكن أن يحول إلى علف للحيوانات.

٢ - ١ - ٤ - نفايات صناعية:

إن مصدر النفايات الصناعية، أعمال التصنيع والتعدين كافة، وما يرافقها من عمليات، وما ينتج عن مؤسساتها أيضاً من فضلات. ومن الممكن تقسيم المخلفات الصناعية إلى عدة أقسام:

١ - المخلفات الناتجة عن أعمال التعدين، كما في تعدين الفحم، وقطاع استخراج الغازات المعدنية، وتتمثل تلك المخلفات بالأتربة الناجمة عن حفريات المناجم، والتي تأخذ شكل أكوام كبيرة حول المنجم.

٢ - المخلفات الناتجة عن التصنيع بمختلف أشكاله ومراحله والعمليات المرافقة له، والمخلفات الناتجة عن قطاع صناعة الطاقة النووية. وتقسم هذه المخلفات إلى نوعين: أحدهما لا يمكن إعادة استخدامه مرة ثانية، ففحم الكوك، كمثال، الذي ينتج من الفحم (Coal) يستعمل مادة أولية للحصول على غاز الإستيلين الذي يستعمل للحصول على أنواع البلاستيك المختلفة، والمطاط الصناعي، وبعد استخدام البلاستيك والمطاط الصناعي يرمى ليتجمع في أمكنة خاصة، بحيث لا يمكن إعادته مرة ثانية إلى فحم. وهذا ينطبق على الكثير من المواد الصناعية. وإن كانت بعض المخلفات الصناعية تتحلل حيوياً من قبل الكائنات الحية الدقيقة التي تحللها وتستهلكها، غير أن القسم الأعظم من المخلفات الصلبة لا يتفكك، ومن ثم فإنها تتراكم تدريجياً، لتشكل مشكلة من مشاكل التلوث الخطرة. أما المخلفات الصناعية الأخرى، فهي تلك التي يمكن إعادة استخدامها مرة أخرى، كما في مخلفات الحديد، حيث تحول إلى مصانع الحديد ليعاد صهرها وتصنيعها من جديد، والألمنيوم والنحاس والتوتياء وبقايا الخشب والورق، والبلاستيك

والمطاط، ومن ذلك يمكن ذكر الـ سيارات التالف ة وبع ض الأدوات المنزلية.

ويمكن إضافة **نفايات المنشآت الحديثة والبناء إلى** ما سبق، وه ي من نواتج عمليات البناء الحديث وهدم القديم والمائل للسقوط، وتتصف هذه النفايات بخمولها، مما يجعلها لا تشكل خطراً على صحة الإنسان وسلامته، ويمكن استخدامها في أعمال الردم المختلفة.

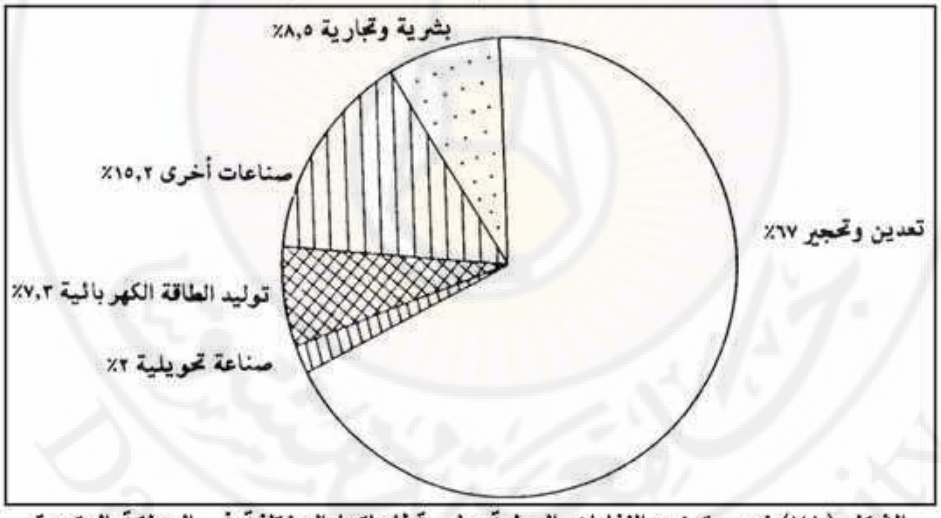
ويبين الجدول (٣٩) توزع كمية النفايات الصلبة السنوية التي تق در بنحو (١٦٥) مليون طن على قطاعات إنتاجها المختل ة، ف ي المملك ة المتحدة.

جدول (٣٩) كمية النفايات الصلبة السنوية التي تقدر بنحو (١٦٥) مليون طن، موزعة على قطاعات إنتاجها المختلفة في المملكة المتحدة

نموذج النفايات	الكمية (مليون طن)	النسبة المئوية (%)
أ - المتلقى من الهيئات المحلية (١٩٩٦ - ١٩٩٧)		
بشرية وتجارية	١٤,٠	٧١,٨
صناعية	١,٩	٩,٧
صناعة تحويلية	٣,٣	١٦,٩
نماذج أخرى	٠,٣	١,٣
المجموع	١٩,٥	١١,٨٥
ب - الناتج من الصناعة (١٩٧٣)		
بقايا تعدين الفحم	٥٨	٤٠,٠
محاجر الغضار الصيني	٢٢	١٥,٢
محاجر أخرى	٢٧	١٨,٦
محطات توليد الطاقة	١٢	٨,٣
مناجم أخرى غير الفحم	٣	٢,١

نموذج النفايات	الكمية (مليون طن)	النسبة المئوية (%)
صناعات أخرى	٢٣	١٥,٩
المجموع	**١٤٥**	**٨٨,١٥**
المجموع الكلي	١٦٤,٥	%١٠٠

كما يوضح الشكل (٧١) نسب توزع النفايات الصلبة على قطاعاتها المختلفة، ومنه تتضح النسبة المتدنية الناتجة عن الصناعات التحويلية، مع العلم أنها ذات أهمية تفوق ما تدل عليه نسبتها، لما تحتويه من مواد سمية. وبصورة عامة فإن أهمية النفايات الصناعية تتمثل في دورها بالتلوث لما تتضمنه من مركبات كيماوية خطرة ذات سمية عالية، ولذا باتت توصف مثل هذه النفايات، **بالنفايات السمية (Toxic Wastes)**.



الشكل (٧١) نسب توزع النفايات الصلبة على قطاعاتها المختلفة في المملكة المتحدة

ولقد قام قسم لجنة الشؤون الفنية للبيئة في المملكة المتحدة عام (١٩٧٠)، بوضع تقرير عن النفايات السمية المصرفة، وفيما يلي عرض لأهم تلك النفايات السمية الناتجة عن قطاع الصناعة، كما هي مبينة في الجدول التالي رقم (٤٠).

جدول (٤٠) أنواع النفايات السمية

نـ . . . وع الـ نـ فـ ايـ . . . ات	
– سوائل قطرانية.	– نفايات الزرنيخ، وكبريتيد مزرنخة.
– مادة قطرانية صلبة.	– نفايات البيرليوم.
– حلمأة من تقطير القطران.	– نفايات السيانيد.
– قطرانيات حمضية.	– نفايات الكحول.
– نفايات مشبعة بالبترول.	– الكبريتيدات.
– بترول عادم.	– الفلوريدات.
– شحوم تويتية.	– فضلات قلوية.
– مزيج ماء مع كيروسين.	– هيدروكربونات عطرية.
– دهان عادم.	– سيانيدات مركبة.
– كحول أبيض.	– فينولات كلورية.
– دهانات محول الك Laquers.	– كلور كلريسول.
– مقلب أغنام نافقة.	– كاربيدات.
– مخلفات نواتج المبيدات.	– حمض الكروم.
– ميركابتانات Mercaptans.	– ثلاثي إيتيل الكلور.
– نفايات التصوير الفوتوغرافي.	– بيتا – كبريتات نافتيلمين.
– نفايات نيكوتينية سائل قير (Kier)	– دياميني ديفينيل ميتان.
– حمأة الدهانات.	– Diaminodiphenylmethane.
– حمأة التخليل.	– بروبيل إيسوسيانتPropoylisocyanate.
– أحماض تالفة.	– إستيليد الصوديوم.
– حمأة بنزين الرصاص.	– فضلات عضوية ذات حامضية مرتفعة.
– حمأة تحتوي على مركبات النحاس، والزنك والكاديوم، والنيكل.	– محاليل عضوية سامة.

وبوجه عام تشير كلمة سمي (Toxic) إلى سم قاتل (مميت)، أو أنها تشير إلى المادة التي عندما تدخل إلى الجسم وتمتص من قبل الكائنات الحية، فإنها إما تميتها أو تسبب لها إيذاءً وضرراً بالصحة واضحاً، سواء أكانت مدة التعرض قصيرة أم طويلة. وأي مادة يمكن أن تكون سمية إذا كانت درجة تركيزها وكميتها الممتصة كبيرة بشكل يكفي لحدوث أضرار. وفيما يتعلق بسمية المخلفات، فإن ذلك يعتمد على الكمية السامة الموجودة في مجمل الكمية من المخلفات، كمثال، فإن كيلوغرامات قليلة من الفينول في (١٠,٠٠٠) طن من المخلفات، يمكن أن لا تعتبر سمية. وبيئياً، فإن تعبير التلوث السمي يعتمد على الكمية التي تدخل البيئة، والأحياء، وتحدث تأثيراً سلبياً، ومن ثم فإن كمية الفينول التي أشرنا إليها أعلاه، والتي تدخل مجرى مائياً صغيراً، تؤدي إلى حدوث تلوث سمي.

وتشير التقديرات إلى نحو (١١) مليون طن من المخلفات السمية تنتج سنوياً في المملكة المتحدة، ونحو ثلاثة أرباعها خامدة بيئياً، في حين أن الربع الباقي ذو آثار ضارة مباشرة، وإذا كان هناك بعض المخلفات ذات السمية المطلقة، فإن بعض المخلفات الحامضية، والقلوية (الكاوية) تعد ذات سمية معينة.

٢ - ٢ - مقابر القمامة الأرضية والتلوث:

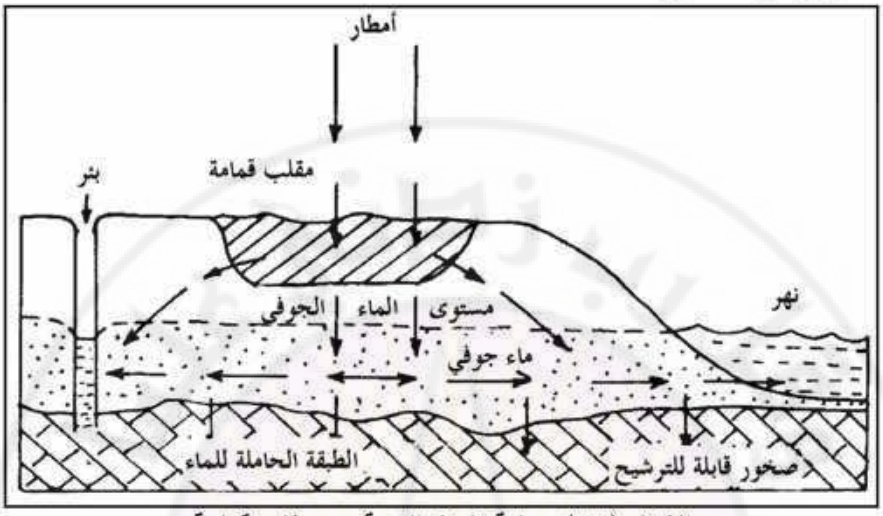
من الصعوبة بمكان القيام بإحصاء دقيق لكمية النفايات في العالم، أو حتى في أية دولة من الدول، غير أنه يمكن القول إن هذه الكمية في تزايد مضطرد، وتتنوع بتنوع مصادرها. وتتناسب كمية النفايات الناتجة سنوياً من المصادر المختلفة، البشرية والصناعية، طرداً مع ازدياد حركة التصنيع، وما يرتبط بها من قطاعات عمل أخرى، وما يترتب على ذلك

من نتائج على الصعيد البشري، وبصورة عامة فإن كمية النفايات الناتجة في العالم تزيد في السنة على آلاف الملايين من الأطنان. وأكثرها أهمية هي النفايات الصناعية، ولا سيما نفايات صناعية معينة، التي يمكن أن يوضع حساب تقديري لها، فالنفايات الناتجة من الصناعات الاستخراجية والتعدينية تتناسب مع كمية المادة المستخرجة الصالحة للاستعمال، وكمثال: فإن أي طن من الغضار الصيني المستخرج يرافقه نحو (٦ – ٨) أطنان من النفايات، كما إن كل ثلاثة أطنان من الفحم الجيد القابل للتسويق ينتج ما لا يقل عن طن واحد من النفايات.

ويمكن أن تشكل مقالب النفايات الصلبة مصدراً للتلوث الكيميائي، كونها تحتوي على بقايا عضوية تسمح بنشاط الفعل البكتيري، الذي يؤدي إلى انطلاق غازات مختلفة، كالنشادر، وأول أكسيد الكربون، والميتان، وثاني أكسيد الكربون، وكبريتيد الهيدروجين. ويمكن لغاز ثاني أكسيد الكربون أن ينحل في الماء لينتج عنه حمض الكربون، فيؤدي ذلك إلى خلق ظروف حامضية. ويعرف غاز كبريتيد الهيدروجين من رائحته الكريهة غير المقبولة. كما يتصف غاز أول أكسيد الكربون بسميته، بخاصة إذا ما ارتفعت درجة تراكيز هذا الغاز في مقالب القمامة، وانطلقت فجأة محدثةً آثاراً سلبيةً في البيئة الحيوية المجاورة.

ويتم تلوث التربة بملوثات النفايات العضوية والكيميائية، من خلال الأمطار التي تهطل فوق مقالب القمامة، شكل (٧٢)، والتي تعمل على انحلال وإذابة الملوثات القابلة للذوبان، ونقل ما يمكن نقله من الجسيمات الدقيقة، لتلوث التربة المجاورة، والماء الجوفي والجاري تحت السطح الذي يتدفق بشكل ينابيع ترفد الأنهار أو تتجه مياهها نحو البحار، أو تستمد تلك

المياه الملوثة بواسطة ضخها نحو السطح لتروى بها المزروعات مؤدية أيضاً إلى تلوث التربة.



الشكل (٧٢) عملية تلوث التربة من مقلب قمامة

Damascus University

الفصل الثالث

تلوث الأرض الزراعية

٣ - ١ - المخصبات الزراعية، وتلوث الأرض.

٣ - ٢ - المبيدات، وتلوث الأرض.

٣ - ٢ - ١ - المبيدات الحشرية والفطرية.

٣ - ٢ - ٢ - المبيدات العشبية.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أخذ العالم منذ ما يزيد على خمسين عاماً يخطو خطوات حثيثة في سبيل زيادة الإنتاج الغذائي، وتحقيق إنتاجية قصوى للأرض الزراعية، بالاعتماد على أساليب زراعية متطورة ترفع من الطاقة الإنتاجية، وتنقص من قوة العمل المستخدمة. ليس هذا فحسب بل إن الإنتاج أخذ يتزايد بشكل واضح رغم التناقص الملحوظ في مساحة الأرض المزروعة في بعض الدول، وكان وراء هذا كله، الاستخدام الكبير للآلة الزراعية، من جرارات، وبذارات، وحصادات... إلخ من الآلات التي تستخدم في مجالات زراعية مختلفة، وتزايد استخدام المخصبات الزراعية غير العضوية، والمبيدات الكيميائية الحشرية والعشبية، مما خفف من الخسائر الناجمة عن الآفات الزراعية والانخفاض في نسبة الأمراض التي تسببها الكائنات الدقيقة وتنقلها الحشرات الضارة. كما أن إنتاجية حيوانات المزرعة، وغيرها من الحيوانات التي تربى من أجل لبنها، ولحمها... وغيره، قد ازدادت بشكل واضح لاعتماد أساليب التربية الحديثة، والعمل على التقليل من مخاطر الظروف الجوية المتقلبة في حياة الحيوانات، خاصة الأغنام في المناطق الجافة وشبه الجافة.

غير أن التطورات التي حدثت في مجال العمل الزراعي ترافقت بظهور مشكلات بيئية متعددة، تتمثل في بعض التأثيرات السلبية للمواد المخصبة الكيميائية، وللمبيدات الكيميائية.

٣ - ١ - المخصبات الزراعية، وتلوث الأرض:

يمكن القول إن منتصف القرن العشرين كان بداية تحول في تطوير نوعية المخصبات التي تستخدم بالحصول على إنتاجية زراعية أفضل، حيث كان الغالب سابقاً استخدام المخصبات العضوية، وإن كانت المخصبات الكيميائية قد استخدمها العديد من الدول منذ أوائل القرن العشرين، لتتراجع المخصبات العضوية مع تقدم الزمن وإن كانت ما تزال مستخدمة في العديد من المجالات كمخصبات رئيسية.

وتتمثل المخصبات العضوية في بقايا المحاصيل الزراعية، ومخلفات الحيوانات التي تعاد إلى التربة، لتعمل على تحسينها وازدياد إنتاجيتها، فالمادة العضوية الميتة تتفكك وتتحلل بفعل الأحياء الدقيقة الموجودة في التربة لتتحول إلى دبال (هوموس Humus). فالدبال، إذاً عبارة عن خليط من مركبات عضوية مختلفة، تتمثل في المواد الحية المتحللة التي كانت تعيش على التربة وفيها، مثل: الحيوانات الصغيرة وفضلاتها، وبقايا النباتات وما يسقط منها. والدبال مادة ضرورية للتربة الحيادية كافة ذات الرقم الهيدروجيني ٧ (ph = 7)، لكونه يساعد على حفظ مائها، وأيضاً يساعد على حركة الماء في التربة، ويقدم الغذاء الضروري لأحياء التربة الدقيقة، والحيوانات، ويشكل مصدر غذاء للنباتات، وتقوم بكتيريا خاصة بتفكيك الجزيئات العضوية وتحليلها محولة إياها إلى نترات، وفوسفات، وبوتاس، وكبريتات (سولفات) ضمن دورات حيوية طبيعية. ويتم في التربات قليلة الخصوبة اللجوء إلى الدورات الزراعية وإلى نظام التبوير للمساعدة على حفظ خصوبة التربة.

ومع اعتماد الزراعة الكثيفة في المحاصيل الزراعية، وإلغاء الدورة الزراعية، والاعتماد على محصول زراعية واحد، حيث الحبوب التي تزرع باستمرار في الأرض نفسها ولعدة سنوات، أو حتى في المحاصيل الزراعية المتعددة مع إلغاء نظام البور، أصبحت الحاجة ملحة لبدائل عن المخصبات العضوية (الأسمدة البلدية) بمخصبات ذات فعالية أكبر وأسرع، حيث دخلت المركبات الكيميائية في مجال تخصيب التربة، وهذا ما ترافق بتغير في النظام البيئي الزراعي، نتيجة لتدني نسبة الدبال في التربة، فتسبب في تغير في طبيعة المغذيات، وفي توازن الأعشاب الضارة، والأوبئة والأمراض.

وباستعمال المخصبات غير العضوية (آزوت، فوسفات، بوتاس) تغير نمط الاستغلال الزراعي، وازدادت إنتاجية المزرعة، وتعددت المحاصيل الزراعية الممكن زراعتها، حيث سرعت تلك المخصبات وسهلت من قدرة النباتات على امتصاصها، من دون أي فعل ميكروبولوجي، نتيجة لفعاليتها الشديدة، بالنسبة للنباتات. فمركب الأزوت – فوسفات – بوتاس (NPK) يمكن أن تستمده التربة من الدبال منطلقاً فيها ببطء، لتقوم النباتات فيما بعد بأخذه من التربة. أما المخصبات الكيميائية (غير العضوية)، فإنها تستعمل في التربة من قبل النباتات بسرعة، مع وجود كميات دبال منخفضة، تاركة آثارها الفعالة في النمو السريع للنبات، غير أن سهولة إذابة المركبات الكيماوية، تجعل إمكانية غسل بعضها من التربة متاحاً بيسر، متحولاً إلى المجاري المائية، مترتباً على ذلك تلوث للماء الجاري، وهذا ما يبدو واضحاً في حال استخدام مخصبات ثقيلة لمعالجة تربة طينية رطبة، في فصول أمطار وفيرة، فالنترات تغسل بسرعة من التربة، مما ينجم عن ذلك

حالات من تلوث الماء، والمثال على ذلك، هو أن نهر التايمز في بريطانيا احتوى في عام (١٩٧٧) خمسة أضعاف ما كان يحتويه في عام (١٩٤٨) من النترات، أما البوتاس فله القدرة على التمسك في التربة بصورة كبير ة والبقاء محتفظاً فيها. وأيضاً الحال، إلى حد ما، في الفوسفات، شر يطة توافر كمية معقولة من الدبال، غير أن تقرير المركز الاستراتيجي البريطاني عام (١٩٧٨)، بين أن أكثر من ثلث كمية الفوسفات المستعملة سنوياً (٣٧٧ ألف طن) تغسل من التربة. ويتولد عن التزايد في تلوث الماء بالفوسفات والنترات مشكلة بيئية، تنعكس نتائجها على النمو المفرط في النباتات المائية من جهة، وعلى التأثيرات السلبية في صحة الإنسان نتيجة ازدياد نسبة النترات في مياه الشرب.

كما أن التطورات التي حدثت في مجال تربة الحيوانات، باعتماد الأساليب الكثيفة في التربية وبالتعديل من أساليب التربية التقليدية التي كانت تتم خارج المنازل أو في العراء (تربية حرة)، أو استبدالها بنمط تربية جديد يتجه إلى تنظيم حياة الحيوان، بغية رفع طاقته الإنتاجية، بالعمل على ازدياد نموه من خلال العناية بطعامه وبصحته، حيث باتت التربية الحديثة تركز على تأمين بيئات خاصة مناسبة لذلك، باعتماد نظام التربية الداخلي ضمن حظائر ذات درجة حرارة ملائمة وتهوية مناسبة، وتغذية جيدة، وعناية صحية كاملة، وقد انتشرت هذه الطريقة بكثرة في مجال تربية الدواجن بالدرجة الأولى، وفي تربية الأبقار والأغنام... وغير ذلك، في العديد من الدول. وإذا كانت هذه الطريقة قد زادت من الوزن بسرعة ليبلغ معدله الأعظمي، فإنها عملت أيضاً على زيادة الإنتاجية من البيض، والحليب ومشتقاته، غير أنه نتج عن هذه الطريقة كميات كبيرة من النفايات

العضوية التي تتجمع في مقربة من مكان التربية، حتى يصار إلى التخلص منها، لتستعمل كمخصبات للتربة الزراعية، أو في مجالات أخرى، وتتمثل نفايات المزارع الحيوانية في براز الحيوانات، وبولها، ومادة الطبقة الأرضية مع ما عليها من قش وعلف ملوث بالبراز والبول.

٣ - ٢ - المبيدات، وتلوث الأرض:

٣ - ٢ - ١ - المبيدات الحشرية والفطرية (Pesticides):

لقد أحدث الإنسان تغيراً في التوازن البيئي في مناطق عديدة، بدخوله إليها واستثماره لأرضها، فعدد الحيوانات التي تعيش في هذه المناطق أصبح متغيراً بعد أن كان ثابتاً في الأوضاع الطبيعية، وخاضعاً للتنافس وانتصار الأقوى، وأصبح يتزايد على أوسع نطاق، وهذا هو السبب الأصلي في وجود الآفات المعروفة.. ولكي يقيم الإنسان توازناً بيئياً جديداً، ويقاوم الحيوانات والنباتات الضارة، لجأ منذ عدة سنوات إلى بعض المنتجات الكيماوية التي تتزايد كمياتها وتزداد فاعليتها يوماً بعد يوم.

ولقد بات معروفاً الآن، ما تسببه الفطريات والبكتريات والحشرات المختلفة من أضرار في المحاصيل الزراعية، بحيث قد تعمل على خفض الإنتاج إلى أقل من (٥٠%). ولا يوجد مزارع إلا ويعرف حجم الخسائر التي تسببها دودة القطن، وأسراب الجراد... وغير ذلك من الحشرات، والفطريات. وهذا ما دفع الإنسان منذ زمن طويل للحد من مخاطر تلك الآفات على نباتات محصولاته الزراعية، وحيواناته، وما قد تنعكس على صحته، مستخدماً في سبيل ذلك وسائل مختلفة، فكان يستخدم نبات العنصل (Scilla maritima) للقضاء على الفئران، كما كانت مكافحة أسراب الجراد

تتم بطرق بدائية، لم تحقق المرجو منها إلا في حالات خاصة، عندما تكون أعداد تلك الأسراب محدودة.

ومنذ منتصف القرن التاسع عشر بـ دأت عملي ـة مكافحـ ـة الآفـ ـات الزراعية باستخدام أنواع من المبيدات الكيماوية، كما كانت تستخدم بعـ ـض مشتقات النباتات الطبيعية، كما في النيكـ وتين المـ ستخلص مـ ن التبـ غ، والبيرثيروم من الكرسنتيم المداري (chrysanthemmums)، والروتينون من جذور نباتات الـ . Derris، والتي مازالت تستخدم حتى الآن بنسبة محـ دودة في بعض الأماكن. ومن المبيدات الكيميائية التي استخدمت فـ ي النـ صف الثاني من القرن السابق مخلوط بوردو (Bordeaux mixture)، الذي يتركب مـ ن كبريتـ ات النحـ اس ($CuSO_4$)، والكلـ س الحـ ي (CaO)، والمـ اء، ومستحضرات تتضمن الزئبق والرصاص والزنك والكبريت، ومثل هـ ذه المبيدات الكيماوية تتصف بترسباتها الخاملة التي يمكن لها أن تتراكم فـ ي التربة ملوثة إياها، لتغسل فيما بعد إما بالأمطار الهاطلة، أو بواسطة الري بالمياه، محمولة إلى جداول المياه والأنهار مؤدية إلى مـ وت الطحالـ ب، والأسماك، وأحياء مائية أخرى، ومع ذلك لم تكن تلك المواد الكيميائية غير العضوية ذات مخاطر كبيرة في تلويث التربة والماء.

ومنذ بداية الأربعينيات من القرن العشرين تطـ ور عـ دد المركبـ ات العضوية التركيبية ذات الفعالية الكبيرة، ومن هذه المبيدات يمكن ذكر: الـ .د. د. ت، الألدرين، الكلوردان، الأندرين، الديلدرين، والهيبتوكلور... وغير ذلك. غير أن معظم هذه الأنواع من المبيدات الهيدروكربون كلوريـ ـة ذات سـ مية عامة، وذات تفكك بطيء مما قد يجعل لها أخطاراً في البيئة، لازدياد تركزها سنوياً في الوسط المحيط، إذ ينجم عن زيادة تركيز المبيدات الكيماويـ ـة فـ ي

التربة تأثير على الكائنات الحية كافة التي تعيش فيها من بكتريات وفطريات وطحالب وحيوانات أولية (Protozoa) وديدان وحشرات، والتي تعد ضرورية من أجل استمرار خصوبة التربة. فالكثير من الكائنات وعلى رأسها النمل الأبيض لم تتمكن من العيش في الترب التي عولجت بالتوكسافين عشر سنوات متتالية. والكثير من المركبات الكيماوية العضوية التي توصف كمبيدات نوعية لها القدرة على النفاذ إلى أنسجة النبات مؤدية إلى القضاء على الفطريات التي فيها، كما أنها تمتص من قبل الحشرات مسببة موتها.

ومما لا شك فيه، أن المبيدات الكيماوية أسهمت إلى حد كبير في القضاء على عدد كبير من الأمراض النباتية والآفات الحشرية، لذا فقد أقبل المزارعون ومربو الماشية على استعمال المبيدات الكيماوية. وحسب آراء منظمة الأغذية والزراعة (F. A. O) ومنظمة الصحة العالمية (O. M. S) فإن التخلي عن المبيدات الزراعية يمكن أن يسبب في بعض البلدان كالولايات المتحدة الأمريكية انخفاضاً قدره (٥٠%) من إنتاج البطاطا والفاكهة والقطن، وعلى الأقل (٢٥%) من إنتاج اللحوم والصوف والحليب. ويبين الجدول التالي (٤١) أنواع المبيدات شائعة الاستعمال.

جدول (٤١) أنواع المبيدات شائعة الاستعمال

أنواع المبيدات شائعة الاستعمال		
أ – المبيدات الحشرية Pinsecticides:		
١ – عضويات طبيعية:	نيكوتين Nicotin. روتنويد Rotenoids. بيرثيريوم Pyrethrum.	Derris.
٢ – عضويات تركيبية:	د. د. ت D. D. T.	الدرين Aldrin.
أ – الكلورينات العضوية:	ليندان Lindane. كلوردان Chlordane.	ديلدرين Dieldrin. أندرين Endrin.

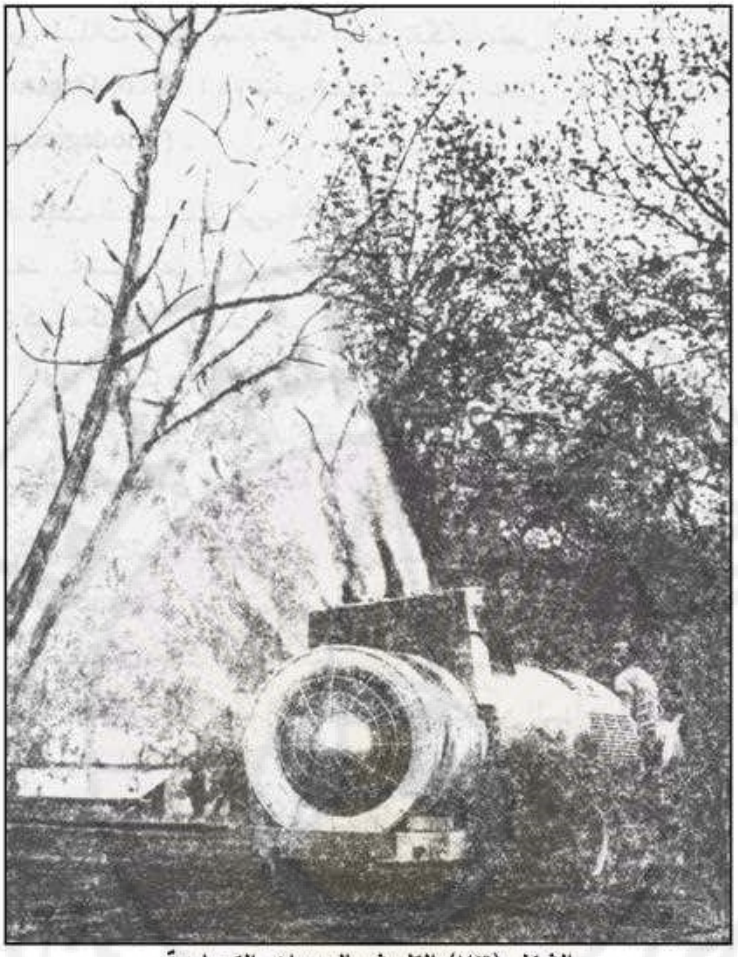
أنواع المبيدات شائعة الاستعمال		
ب – الفوسفوريات العضوية:	ت. ي. ب. ب TEPP. ميتسيستوكس Metasystox مالاثيون Malathion. ديكلورفوس Dichlorvos كاربريل Carbaryl.	ديمثوات Dimethoate. مينازون Menazon. كلوروبيريفوس Chloropyrifos. فورات Phorate. بروبوكسيور Propoxur.
ب – المبيدات الفطرية Fungicides:		
٣ – نماذج سطحية:	الكيل أو فينول الزئبق. تيرام Thiram. زينب Zineb. منب Maneb.	كبتان Captan. دينوكاب Dinocap. كونيتوزين Quintozene. روفرل Rorra; Rovral.
٤ – نماذج أساسية:	بينوميل Benomyl. ثيوفانت – ميتيل Thiophanto – Methyl كاربوكسين Carboxin.	تريارىمول Triarimol. دوكو Dowco. ميلستم Milstem.
ج – المبيدات العشبية Herbicides:		
٥ – غير انتقائية:	زيمازين Simazine. غليفوسات Glyphosat. مونورون Monuron.	ديكيوت Diquat. باراكيوات Paraquat.
٦ – انتقائية: ضابط للنمو	MCPA 2, 4 – D 2, 4, 5 – T	ميكوبروت Mecoprop. ديكلوروبروب Dichloroprop
٧ – مانعة للنمو:	ماليس هيدرزيد. كلورومبكيوت Chloromequat	دالبون Dalapon. TCA

وبقدر ما حققته المبيدات من فوائد كبيرة في مجال الزراعة وتربية الحيوانات، كان لها تأثير معاكس، إذ نجم عن الإفراط في استخدام هذه

المبيدات نتائج سلبية كثيرة، فظهرت أنواع من الحشرات المقاومة، مما دفع إلى التفكير في إنتاج مبيدات ذات فعالية أقوى. وهذا تبرز مشكلة جديدة تتمثل في تلوث المحيط، وإبادة العديد من أنواع الحشرات المفيدة من جهة، وتلوث مياه الري وما يترتب على ذلك من آثار على الحيوان والإنسان، ومن أكبر الكوارث التي أصابت البيئة وسببتها المبيدات التي استعملت من دون تنظيم، كارثة حديقة كوتودوناتا (دلتا غواد الكفير بإسبانيا) خلال صيف (١٩٧٣) وكانت السبب في موت (٤٠,٠٠٠) من الطيور في تلك الحديقة.

ويعد ريتشل كارسون (R. Carson) أول شخص يحذر من مخاطر التلوث الناتجة عن استخدام المبيدات، ففي كتابه الربيع الصامت (Silent Spring) الصادر عام (١٩٦٣) يعرض الجوانب المتعلقة بالتأثيرات السمية للمبيدات على الأحياء كافة بما في ذلك الإنسان.

وتتمثل بعض مخاطر المبيدات الكيماوية فيما يلي: فإذا ما رشت أوراق النباتات بمبيدات حشرية عضوية، فإن بعض تلك المركبات الكيماوية تمتصها أوراق النباتات، لتستمر موجودة في أنسجتها حتى ينضج المحصول ويجنى مشكلاً طعاماً للإنسان والحيوان، كما أن ما تصل نسبته حتى (٥٠%) من المبيدات التي ترش على النباتات، يمكن أن تغسلها الأمطار عن الأوراق لتترسب إلى التربة. وهناك مواد كيماوية يمكن أن ترش مباشرة على التربة لمكافحة الأعشاب الضارة والطفيليات المتولدة في التربة والأمراض، أو أنها تدخل التربة عن طريق بذور الحاصلات الزراعية عند زراعتها في حال كون تلك البذور معقمة بالمبيدات الكيماوية. شكل (٧٣).



الشكل (٧٣) التلوث بالمبيدات الكيماوية

وبواسطة تلك الطرق السابق ذكرها، تنفذ الكيماويات الملوثة إلى النباتات والتربة، ويتوقف تأثيرها في التغيرات اللاحقة التي تحدث. فبعض أنواع المبيدات توصف بأنها خاملة، ودائمة، لكونها يمكن أن تبقى في التربة لفترات مختلفة من الزمن من دون أن تتفكك، باعتبارها مواد غير قابلة للتفكك الحيوي. وهناك أنواع أخرى من المبيدات تتصف بعدم خمولها وسرعة تفككها بفعل الكائنات الحية الدقيقة (Micro - Organicms)، وتدعى عملية التفكك (التحلل) هذه بالتفكك الحيوي (Biodegradation).

وقد بينت الدراسات أن ترب الحقول الزراعية التي ت رش دوري اً بمبيدات بطيئة التفكك، تحتوي على تراكيز مرتفعة من هذه المواد الـ سامة تصل إلى (٧ – ٩ كغ/هكتار)، وتنتقل كميات م ن تل ك المبي دات إل ى الحيوانات عن طريق طعامها النباتي ليختزن بعضاً منها في أعضاء معينة من الجسم، كما في الكبد، دون أن يكون قابلاً للتبرز. ولذا فإن أكثر المواد الكيماوية التي يتم امتصاصها تتراكم ضمن الجسم حتى تصل إل ى قيم ة عظمى حدية قاتلة للأنواع الحيوانية.

ويتسبب عن استعمال المبيدات المعروفة بالكلوريد ات الع ضوية (Organochlorines) موت الكثير من الطيور المفترسة والث دييات الت ي تستهلكها ضمن سلسلة غذائية، حيث تنتقل الكيماويات م ن النبات ات أو التربة إلى مستويات مختلفة من المستهلكات الغذائية، إذ ي زداد تركي ز الكثير من المبيدات في أنسجة الكائنات مع انتقالها عبر السلسلة الغذائية. ومثال ذلك ما حدث في الولايات المتحدة الأمريكية في مستنقعات لون غ ايسلاند (Long - Island) حيث رشت بم ادة الـ . . (د. د. ت) (D. D. T) بغرض القضاء على البعوض وذلك لعدة سنوات متتالية، وكان تركي ز هذه المادة منخفضاً في البداية، إلا أن هذه المادة صعبة التفكك، لذا فق د تراكمت مع الزمن، وكانت النتيجة أن انتقلت من الماء إل ى الطافي ات النباتية والنباتات المائية الأخرى التي تعيش في هذه المستنقعات، ومنها انتقلت إلى الأسماك التي تتغذى بالنباتات ومنها إلى الأسماك المفترس ة والطيور، وكان تركيزها يزداد مع انتقالها ضمن السلسلة الغذائية كم ا هو مبين في الجدول (٤٢).

جدول (٤٢) انتقال مبيد ال (د. د. ت) عبر السلسلة الغذائية

الكائن	التركيز (جزء في المليون)
الماء	٠,٠٠٠٥
البلانكتون (الطافيات النباتية)	٠,٠٤
نوع من السمك Silvarside minnow	٠,٢٣
نوع من السمك Sheephead	٠,٩٤
سمك مفترس (بيكرل)	١,٨٣
سمك مفترس (Needlefish)	٢,٠٧
مالك الحزين (يتغذى على السمك) Heron	٣,٥٧
طائر يتغذى على السمك Tern	٣,٩١
دجاج الماء	٦,٠٠
الأوز المتوج (يعيش على الأسماك المفترسة)	٢٢,٨٠
غراب الماء (يعيش على الأسماك المفترسة)	٢٦,٤٠

وبصورة عامة، ترتبط التأثيرات الضارة للمبيدات مباشرة باستمراريتها وتراكمها في البيئة، كما هو الحال ضمن أنسجة جسم الإنسان والحيوانات، وسواء أدخلت المبيدات إلى جسم الإنسان عند رشها، أو عند صناعتها، للعامل في هذه الصناعة، أو انتقلت إليه عن طريق غذائه، ضمن سلسلة غذائية تبدأ بالنباتات فالحيوانات فالإنسان، فإن تركيزها يزداد في جسمه، لتقود في النهاية إلى اضطرابات وأمراض مختلفة.

٣ - ٢ - ١ - ١ - المبيدات الحشرية (Insecticides):

تقسم المبيدات الحشرية إلى قسمين أساسيين، هما:

١ - مبيدات الكلورينات العضوية، أو الهيدروكربونات الكلورينية:

ومثل هذه المركبات تؤدي إلى حدوث أضرار تلويثية هامة في البيئة، ينجم عنها تسممات لمختلف الكائنات الحية التي تتعرض لها، ولذا

توصف بأنها ملوثات سمية، وتستمد هذه المركبات آثارها الـ ضارة م ن صفاتها الأربع التالية:

أ – استمراريتها وتراكمها: فإذا مارش حقل الـ . (د. د. ت) فإن أكثر م ن (٥٠%) من تلك المادة يبقى موجوداً في التربة لأكثر من عشر سنوات، وهذا لا يعني أن الـ . (٥٠%) المتبقية أزيلت من البيئة، ولكنها انتقل ت فقط من التربة، ولربما يكون انتقالها إلى النبات والجو، أو إلى مجاري الماء.

ب – فعلها السمي: إذ تتصف المبيدات الحشرية بآثاره ا الـ سمية عل ى النباتات والحيوانات، كما أنها تؤدي إلى حدوث تغيرات ف ي خ صوبة التربة، لآثارها على الكائنات الحية ضمن التربة.

ج – قابلية مبيدات الكلورينات العضوية على الانح لال الانتق ائي ف ي الدهون، وبذا فإنها يمكن أن تحفظ وتخزن في أجسام الحيوانات والبشر بكميات مختلفة لفترات طويلة من الزمن.

د – إمكانية تلك المبيدات على الانتقال والانتشار لمسافات طويلة بواسطة الرياح والماء، حيث كشفت عن وجود الـ . (د. د. ت) حالياً في أنه ار العالم كافة تقريباً، والمحيطات، حتى في المح يط المتجم د الـ شمالي، والقارة القطبية الجنوبية، حيث كشفت هذه المادة عام (١٩٦٧) داخ ل أنسجة جسم طيور البطريق وغيرها من الكائنات البرية في تلك القارة.

وقد أشارت الدراسات في المملكة المتحدة إلى وجود كميات قليلة ج داً من الكلورينات العضوية في ماء الشرب، والفواكه، والخضار، والحليب، مع كميات أكبر في اللحوم، والأسماك، والبيض، والزبدة، والطحين. كما تبين في الولايات المتحدة أن دهن الجسم في عام (١٩٧٢) يحتوي من مادة الـ . (د. د.

ت) على ما نسبته (١٢) جزءاً من مليون. ورغم صعوبة تقديم أدلة عن الآثار المؤذية في جسم الإنسان خلال فترة زمنية قصيرة، إنَّ هناك دليلاً عن الآثار طويلة الأمد على ثدييات التجارب، فقد تم الكشف في الستينات من القرن الماضي عن تراكم الكلورينات العضوية في الأنسجة الدهنية للبشر وأنواع حيوانية مفترسة متوحشة، بالإضافة إلى موت آلاف الطيور والثدييات بسبب التأثيرات الملوثة السمية لتلك المواد التي كشف عن وجودها.

وفي شهر كانون الأول من عام (١٩٨٢م) حدث تسرب لغاز ميتيل ايسوسيانيد من مصنع شركة يونيون كاربيد (Union Carbide) للمبيدات الحشرية في مدينة بوبال (Bohobal) الهندية عاصمة ولاية ماديا براديش، وانتشر هذا الغاز في منطقة مساحتها نحو (٤٠) الف كم٢، وأودى بحياة نحو (٣٥٠٠) شخص وإصابة نحو (٢٠) ألف من سكانها، وذرح من المدينة نحو (١٥٠) ألف شخص من مجموع سكان المدينة البالغ (٨٠٠) ألف نسمة. وقضي على الحيوانات الأليفة وغير الأليفة في المنطقة.

٢ – المبيدات الفوسفورية العضوية (Organophosphorous):

وقد تطور استعمالها في الخمسينات من القرن العشرين، وهي تستعمل الآن بكميات أكبر من الكلورينات العضوية، رغم أنها أشد سمية، ذلك أن المركبات الفوسفورية العضوية غير مستقرة، ولذا فإنها لا تستمر طويلاً في البيئة، كما أنها تتفكك حيوياً بسرعة في التربة، وهي مبيدات قاتلة بسرعة للحشرات، وذات تأثير فعال على الجملة العصبية.

وتختلف المبيدات الفوسفورية عن الكلورينات العضوية، من أنها لا تتراكم في الجسم، ولذا فإن تأثيراتها الضارة على الأحياء ضمن السلسلة الغذائية، يكون أقل.

ومع ذلك فإن لبعضها آثاراً سمية شديدة وعـ وارض عـ دة إذا مـ ا استعملت أو ابتلعت بصورة سائلة، كمثال، إن (٢٨) غراماً من مادة الـ . . TEPP (الديمثوت) يمكنها أن تقتل (٥٠٠) شخص، لذا فمـ ن الـ ضروري الحرص في تخزينها، ومنعها من أن تدخل المجاري المائية. ولقـ دلـ ت البحوث الحالية التي أجريت على المبيدات الحشرية الفوسفورية أن لبعضها سمية منتقاة، كما في المبيد مينزون (Menazon)، الـ ذي يعـ ج ذا سـ مية منخفضة بالنسبة للثدييات.

٣ - ٢ - ١ - ٢ - المبيدات الفطرية (Fungicides):

إن معظم الفطور التي تسبب أمراضاً للنبات، تعرف عـ ادة بأسـ ماء مشتقة من تأثيراتها، كما في: تصوف النبـ ات (Mildew)، لفحـ ة النبـ ات (Blight)، تعفن النبات (Smut)، قشب النبات (Rust)، جرب النبات (Scab)، لطخ النبات (Rot)، واهتراء النبات (Spot)... إلخ. والفطريات عبارة عـ ن عضويات (كائنات حية) مسببة للمرض، تقوم بامتصاص غذائها من النبات العائل لها، والكثير منها يسلك سلوك الطفيليات. ويمكن أن توجد الفطريات على سطوح الأوراق، كفطر الزغب الدقيقي، أو أنه يتشعب ويتفرع خلال أنسجة النبات محدثاً ثقوباً في السطح الخارجي للنبات.

وتقسم المبيدات الفطرية إلى نوعين:

١ - **مبيدات سطحية (Surface Fungicides)**، وهي أول المبيدات الفطرية التي استعملت، ومن هذه المبيدات نذكر: مخلوط بـ وردو، وكبريتـ ات الكلس، التي يتم رشها على الأوراق، أو نثرها عليها كمسحوق، وهـ ذه المبيدات لا تخترق سطح النبات، لكنها تقوم بقتل الفطريات، والثقـ وب السطحية.

٢ - **مبيدات داخلية، أو مبيدات أساسية (Systemic Fungicides)**، وهي النوع الأحدث الذي يتمكن من النفاذ إلى النبات، حيث يتم امتصاصه من خلال الأوراق والجذور أو البذور لينتقل ضمن أنسجة النبات، وبالتالي فإن هذا النوع ذو فعالية أكبر من النوع الأول.

وكلا النوعين سميتهما منخفضة، مما يجعل آثارهما الضارة على الأنسجة النباتية محدودة، وغالباً ما يحتوي النوع الأول من المبيدات الفطرية على عناصر معدنية، كالنحاس، الزنك، الزئبق، والزرنيخ، واستعمل أيضاً الكبريت، ومستخلصات النباتات الطبيعية، التي قل استخدامها، ليحل بدلاً منها مواد عضوية تركيبية، انظر الجدول السابق (٤٢).

ولقد تعددت أنواع المبيدات الفطرية العضوية السطحية المستعملة، فمبيدات الزئبق العضوية تستعمل بشكل رئيسي لتعقيم بذور الحبوب، ولمعالجة أمراض جرب الفاكهة. وتستعمل مركبات الزئبق الإلكيلية (Alkylmercary) في السويد محدثة تسمماً زئبقياً للطيور وبعض الثدييات. كما أن مبيدات الزئبق الفينولية (Phenylmercury) المستعملة في المملكة المتحدة تحدث بعض الضرر في البيئة. غير أن المشكلة تتمثل في استمرارية استعمال المركبات الزئبقية لما لها من آثار سمية واضحة. والتأثيرات المريعة هي في المياه الصناعية الملوثة الحاوية على الزئبق والمصرفة إلى المياه الجارية التي تتراكم وتنتقل ضمن السلسلة الغذائية.

ولقد أخذت مبيدات التيوكربمات (Thiocarbamate) العضوية، كالتيرام والزيرام والمنيب (Maneb)، تستعمل بدل مركبات الزئبق لتعقيم البذور ولمكافحة مرض تصوف النبات وذبوله. والعديد من المواد الفينولية ذات

سمية واضحة أيضاً للنباتات، ولكنها مازالت تستعمل كمبيدات فطرية صناعية لحماية الأخشاب والأنسجة. وعلى كل حال، فإن مركب الديترفينول (الدينوكاب أو الكارتان) يستعمل لمكافحة الزغب الدقيقي في العديد من البساتين، ويجب أن تكون المبيدات الأساسية ذات سمية نباتية منخفضة، وقادرة على الامتصاص من قبل النبات، حيث تتحول إلى سموم فعالة. والبينوميل والتيوفانت اثنان من العديد من المبيدات الأساسية الحديثة التي تستعمل لمعالجة الفطريات المرضية. كما أن بعض المركبات الفوسفورية ذات السمية المنخفضة بالنسبة للحيوانات الثديية، كالدوكو والتريباريمول، تعد مبيدات أساسية في معالجة الزغب الدقيقي، وأيضاً الكاربوكسين الذي يستعمل لتعقيم البذور.

٣ - ٢ - ٢ - المبيدات العشبية (Herbicides):

المبيدات العشبية هي مجموعة من الكيماويات العضوية التي تستعمل للقضاء على النباتات أو منعها من النمو، وهناك ثلاثة أنواع من تلك المبيدات:

٣ - ٢ - ٢ - ١ - المبيدات العشبية الانتقالية (Selective Herbicides): وهذه تستعمل للقضاء على النباتات ذات الجذور الدقيقة أو الأعشاب، كمثال الأعشاب الضارة عريضة الأوراق التي تنمو بين محاصيل الحبوب ضيقة الأوراق.

٣ - ٢ - ٢ - ٢ - المبيدات الراكدة (Residual): التي ترش على التربة في زمن البذار، حيث تستمر فعاليتها لعدة أسابيع، مما يجعلها تمنع نمو الأعشاب الضارة، مجنبة بذلك بادرات المحاصيل من آثارها الضارة.

٣ - ٢ - ٢ - ٣ - **المبيدات المتحركة (Translocuted. h)**:التي تـ رش على أوراق النباتات الضارة، متحركة إلى أجزاء النباتـ ات كلهـ ا مـ ن خلال آلية انتقال داخلية.

ومن الواجب استعمال الأنواع الثلاثة من المبيدات العشبية قبل نضج أزهار الأعشاب، لمنع تشكل البذرة، وللتقليل بذلك من انتـ شار الأعـ شاب الضارة بواسطة انتشار البذور. وتدعى بعض المبيدات العـ شبية بـ ساقطة الأوراق، لما تسببه تلك المبيدات من سقوط للأوراق، ومـ ن ثـ م تمويـ ت الأعشاب الضارة.

ولقد تزايد استعمال المبيدات العشبية منذ الأربعينات مـ ن القـ رن العشرين، وبخاصة في الستينات وما يليها، بغية تحسين إنتاجيـ ة وحـ دة المساحة، من خلال الحد من منافسة الأعشاب للمحاصيل الزراعية على الرطوبة والضوء والغذاء. ورغم ما حققته تلك المبيـ دات مـ ن نتـ ائج إيجابية، فإنها تركت وراءها بعض المؤثرات السلبية، فبالإضـ افة إلـ ى الأوراق المتساقطة بفعل المبيدات وغيرها، التي تشكل جزءاً من النظام الغذائي للأحياء الموجودة في البيئة، مما يترتب عليه آثار ضارة علـ ى الحشرات، والطيور والثدييات التي تتغذى بها، قد تؤدي إلى نفوقها. فإن هناك تأثيرات طويلة الأمد للمبيدات العشبية على المجموعات البـ شرية، كما في المبيدات (2, 4, 5 - T) التي تحتوي على كميات قليلة مـ ن مـ ادة ذات درجة عالية من السمية تدعى ديوكسين (Dioxin) (أو TCDD) التي يمكن أن ينجم عنها تشوهات خلقية. وبصورة مماثلة فإن المبيد (2, 4 - D) يؤثر على جنين الطيور، كما يؤثر المبيد سـ يمازين (Simazine) علـ ى الحيوانات.

ويبين الجدول (٤٣) تطور استخدام الأسمدة ومواد المكافحة والأدوية البيطرية في الزراعة في سورية خلال الفترة (١٩٩٢ – ١٩٩٦).

جدول (٤٣) تطور استخدام الأسمدة ومواد المكافحة والأدوية البيطرية في سورية خلال الفترة (١٩٩٢ – ١٩٩٦م)

السنوات	قيمة مواد مكافحة ١٠٠٠ ل.س	قيمة أدوية بيطرية ١٠٠٠ ل.س	كمية الأسمدة (طن)					
			آزوتية	فوسفاتية	بوتاسية	مركبة	عناصر أخرى	مجموع
١٩٩٢	٤٠٦٧٢٦	١٠٩٢٤٠	٥٧٣٢٠١	٣٢٠٧٠٩	١٥٢٣٣	٣٣٩	١٥	٩٠٩٤٩٧
١٩٩٣	٤٠٠٣٤٤	١٢٦٢١٦	٥٦٩٠٧٤	٣٢١٠٩٥	١١٩٣١	٢٢	١٤	٩٠٢١٣٦
١٩٩٤	٤٢٦٣١٩	٣٢٦٢٨٥	٥١٩١٠٤	٢٧١٣٤١	١٢١٠٩	١٣٢٨٩	١٥	٨١٥٨٥٨
١٩٩٥	٨٥٥٥٨٥	١٧٣١٦١	٥٥٥٠٤٦	٢٢٤١١٤	١٣٩٠٢	٥٢٠٦٨	٢٦	٨٤٥١٥٦
١٩٩٦	٨٥٦٠٦٧	١٩٨٠٥٤	٥٨٧١٢٤	٢٣٧٦٧٧	١٢٧٣٣	٣٢١٦٠	٢٥	٨٦٩٧١٩
٢٠٠٥	٢١١٥٠٦	٦٠٥٩٨	٦٤٠٢٠٣	٢٣٦٤٢٥	١٨٢٢٨	–	–	٨٩٤٨٥

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الباب الخامس

تلوث المياه

الفصل الأول: أهمية المياه، ومصادرها.

الفصل الثاني: مصادر التلوث المائي.

الفصل الثالث: المؤشرات الحيوية للتلوث المائي.

الفصل الرابع: آثار الملوثات المائية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

أهمية المياه ومصادرها

١ - ١ - أهمية المياه.

١ - ٢ - توزع المياه ومصادرها.

١ - ٣ - المياه المستخرجة، ومدى سلامتها.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

يشغل الماء قرابة (٧١%) من مساحة الكرة الأرضية، يتمثل معظمه في البحار والمحيطات (٩٧%) مياهاً مالحة، وقليله (٣%) عبارة عن ماء عذب، وتشكل مياه الأنهار والينابيع أهم مصدر للمياه العذبة المستغلة من قبل الإنسان. وتعد مصادر المياه العذبة في العالم كافية إذا قيست بمتوسطات الاستهلاك الحالية، فالأنهار كالنيل والمسيسبي والأمازون والكونغو وغيرها تحمل كميات هائلة من المياه، إذ تقدر كمية المياه التي تصرفها الأنهار سنوياً بحدود (٤١٥٠٠ كم٣).

١ - ١ - أهمية المياه:

الماء مصدر طبيعي أساسي، وعنصر حيوي هام، يتطلبه جميع أبناء الجنس البشري، ليس لتأمين حاجة أجسامهم من الماء الضروري لها، وإنما لتوفير متطلبات زراعاتهم، وحيواناتهم، وصناعاتهم المختلفة. فجسم الإنسان يتطلب يومياً كمية من الماء تتراوح بين (٣ - ١٣ ليتراً) للشخص الواحد، وتعتمد هذه الكمية المتطلبة على ظروف المناخ السائدة، من حرارة ورطوبة جوية.. إلخ، والجهد الجسمي الذي يقوم به. ويدخل الماء عموماً جسم الإنسان من خلال الطعام والشراب، ولا بد لكمية الماء الداخلة إلى الجسم من أن تتوازن مع الكمية الفاقدة منه عن طريق التنفس، والتعرق، والبول، والبراز، وإذا انقطع الماء عن جسم الإنسان دون أن يدخل فسيموت حتماً خلال عشرة أيام.

والماء ضروري للإنسان للمحافظة على صحته، وتحرره من الأمراض، فهو يشكل نحو (٧٥%) من وزن جسم الإنسان، وثلثا الماء الجسم يوجد في الخلايا، والثلث الباقي خارجها، وإن معظم الماء خارج الخلايا يشكل بلاسما الدم وسوائل الأمعاء.

ويشغل الماء أكثر من (٩٠%) من وزن بعض النباتات، كالخيار، والخس، والجزر، والبندورة.

وبالإضافة إلى الاستعمال الشخصي للماء، فإن الماء مطلوب لعدة أغراض أخرى، يمكننا إيجازها في الآتي:

أ - للاستخدامات البشرية العامة، في الطبخ، والشراب، وغسيل الثياب، والتنظيف... إلخ. ويقدر الاستهلاك اليومي للشخص في المدن بحدود (١٠٠ - ٥٠٠ ليتر)، ودون ذلك في الريف.

ب - للاستخدامات الصناعية المختلفة، وهذه تستهلك كميات كبيرة من الماء في عمليات التبريد، والتبخير، وصنع المواد، وتصريف الفضلات... إلخ. ويقدر أنه لإنتاج طن واحد من الفولاذ يتطلب ٣٠٠م٣ من الماء، بينما يحتاج إنتاج طن واحد من كل من النحاس والنيكل والورق إلى (٥٠٠ م٣، و٤٠٠ م٣، و١٠٠٠ م٣) على التوالي.

ج - استخدامه كماء تبريد بكميات كبيرة في توليد الطاقة الكهربائية، ويستمد هذا الماء عادة من الأنهار والبحيرات ومصبات الأنهار، ويقدر أن محطة كهربائية حرارية كبيرة تحتاج لتبريد آلاتها إلى نحو (٢٥٠كم٣/سنة) من الماء، يتبخر منها (١٠ - ١٥ كم٣/سنة)، والباقي يعود مرة ثانية إلى الأنهار والبحيرات، مسبباً في رفع درجة حرارة مياهها.

د - استعمالات الزراعة والصناعة الزراعية، من ري للأراضي، وسقاية للحيوانات، وعمليات صناعة الألبان... وغير ذلك. ويحتاج المزارع إلى (٢٥٠ ليتراً) من الماء لإنتاج قمح يكفي لصنع رغيف واحد من الخبز، إذ يحتاج الهكتار الواحد المزروع قمحاً ما مقداره (١٥٠٠ - ٢٠٠٠ م^{٣}) من الماء.

هـ - استخدام الماء في أغراض المتعة والترويح عن النفس، كما في السباحة، والصيد، والتزلج.

و - استخدام الماء في أغراض الإبحار، ولذا يشكل طريق مواصلات أساسي في الكثير من دول العالم، تسلكه السفن والمراكب البحري.

ويشير مصطلح استهلاك الماء إلى كمية المياه المستعملة في المجالات المختلفة. ومجمل الماء المستخرج من الدورة المائية العامة يعود إليها بعد الاستعمال، ففي مقاطعتي إنكلترا وويلز البريطانيتين بلغ معدل الاستهلاك اليومي من الماء في عام (١٩٧٥) بحدود (٣٨,١٧) مليون متر مكعب، موزعاً وفق ما يلي: (١٥,٤ مليون م^{٣}) للاستخدامات البشرية العامة، (١٤,٣ مليون م^{٣}) استخدمت في محطات توليد الطاقة الكهربائية، (٨,٢ مليون م^{٣}) في الصناعة، و(٠,٢٧ مليون م^{٣}) في قطاع الزراعة. وفي سورية بلغت كمية المياه المستهلكة في الاستخدامات المنزلية عام (١٩٨١) بحدود (٣٥٩) مليون متر مكعب، بمعدل مليون متر مكعب يومياً تقريباً لعدد مستهلكين قارب من (٣,٦) مليون نسمة[1]، بمعدل استهلاك يومي للفرد الواحد نحو (٠,٣) متر مكعب، أي نحو (٣٠٠ ليتر)، لترتفع الكمية المستهلكة في سورية عام (١٩٩٦) إلى نحو (٥٩٠) مليون متر

(1) لا يتضمن هذا العدد سوى المستفيدين من شبكات مياه الشرب.

مكعب، بمعدل نحو (١,٦) مليون متر مكعب يومياً تقريباً لعدد المستهلكين بحدود (٧,٧) مليون نسمة، أي بمعدل استهلاك يومي للفرد الواحد نحو (٢٠٠ ليتر).

١ - ٢ - توزع المياه ومصادرها:

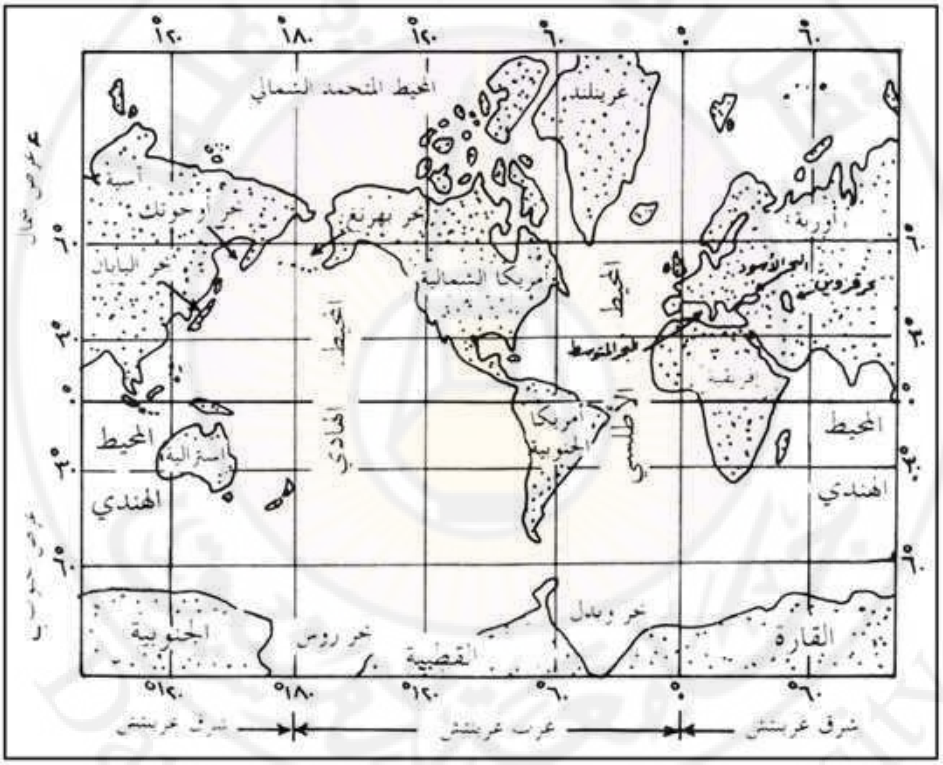
يوجد الماء الأرضي في ثلاث صور، صلبة وسائلة وغازية، ومن أهم خصائصه إمكانية تحوله السريع من صورة إلى أخرى ضمن مدى حراري محدود قد لا يتجاوز عشر درجات مئوية.

ويبلغ حجم الماء الإجمالي في كامل الكرة الأرضية بأغلفتها المتنوعة بحدود (١,٤) مليار كيلو متر مكعب، لا يحتوي الغلاف الجوي منها سوى نحو (٠,٠٠٠١)، ومع ذلك فأهمية الماء الجوي بصورته الغازية كبيرة جداً، لأنها كمية دوارة، ولكونها مصدر التهطال، ومن ثم الحركة المائية الدائبة بصورها المتعددة. في حين تحتوي سطوح اليابس وتتدفق فوقها مياهٌ بحجم نحو (٣٨٢ ألف كم^3)، نصيب الأنهار منها بين (٣٠ - ٤٠ ألف كم^3) والبحيرات العذبة نحو (١٢٥ ألف كم^3)، والبحيرات المالحة والبحار الداخلية نحو (١٠٠ ألف كم^3)، ورطوبة التربة نحو (١٣٠ ألف كم^3)، أما قبعات الجليد الضخمة (القارة القطبية الجنوبية وغرينلند) والجليديات الجبلية وغيرها، فتكافئ مياهاً بحجم نحو (٢٦ مليون كم٣). أما أكبر حجم للمياه فيوجد في المحيطات والبحار المتصلة بها والتي يقدر حجمها بنحو (١,٣٥ مليار كم^3، ٩٧,٦% من إجمالي حجم المياه). وتتجاوز كمية المياه الجوفية المياه السطحية، حيث تقدر بنحو سبعة ملايين كيلو متر مكعب.

وتشكل مياه الجليديات والأغطية الجليدية المخزون الرئيسي للمياه العذبة، وبذا فهي الاحتياطي لسكان الأرض المتزايدين، والذين عرضوا

مياههم الضرورية لحياتهم للتلوث الذي بات يشكل أهم مشكلة من م شاكل العصر الراهن. ورغم كمية المياه الجوفية الكبيرة التي تعد الخزان الث اني للمياه العذبة بعد الجليديات، إلا أنها لم تسلم في بقاع عدة من الأرض م ن تسرب الملوثات إليها، بجانب كون الماء الجوفي الواقع على عمق أكبر من (١٠٠٠ م) مالحاً.

وتتمثل **محيطات الأرض المائية** في الآتي، شكل (٧٤):



الشكل (٧٤) توزع الماء على سطح الكرة الأرضية

أ – **المحيط الهادي**، أو ما يعرف بالمحيط الباسفيكي، وهو أكبر المحيطات المائية مساحة، إذ تبلغ مساحته نحو (١٦٦ مليون كم^{٢})، وأكثرها عمقاً، حيث يبلغ متوسط عمقه نحو (٤٢٠٠ م)، ويحتوي على أه م الأخادي د وأعمقها، ممثلة في أخدود ماريانا (١١٠٠٠ م) شرقي جزيرة تـ ايوان،

وأخدود كوريل – كامشتكا (١٠٥٠٠ م)، وأخدود الفلبين (١٠٠٠٠ م)، وأخدود اليابان (٩٨٠٠ م)، ويحتوي هذا المحيط على نحو نصف مي اه محيطات العالم.

٢ – **المحيط الأطلسي**، أو ما يعرف أيضاً بالمحيط الأطلنط ي، أو بح ر الظلمات، ممتداً من المحيط المتجمد الشمالي، وحت ى الق ارة القطبي ة الجنوبية، وبين أوروبا وإفريقيا من الشرق والأمريكيتين م ن الغ رب، شاغلاً مساحة نحو (٨٤ مليون كم٢)، ومتوسط عمقه بحدود (٣٣١٠ م)، ويعد أخدود بورتوريكو أعمق موقع فيه (٩٢٠٠ م)، ويحتوي على نحو (٢٠%) من مياه المحيطات.

٣ – **المحيط الهند ي**، وهو الذي يمتد إلى الجنوب من الق ارة الآس يوية وحتى القارة القطبية الجنوبية، وفيما بين خطي طول غ رب اس ترالیا ورأس الكاب الجنوب الإفريقي، وتبلغ مساحته بحدود (٧٣ مليون كم٢)، ومتوسط عمقه نحو (٣٨٤٠ م)، وأعمق موقع فيه يتمثل في أخدوده جاو جنوب شرقي جزيرة جاوه الأندونيسية (٧٤٦٠ م)، وتقارب كمية مياهه ما يحتويه المحيط الهادي.

٤ – **المحيط المتجمد الشمالي**، وهو محيط ضحل، متوسط عمق ه نح و (١٢٢٠ م)، ومساحته (١٣ مليون كم٢) تقارب من مساحة القارة القطبية الجنوبية، ويمتد إلى الشمال من القارتين الأوراسية والأمريكية الشمالية، متوسطاً إياه القطب الشمالي، ومياهه السطحية متجمدة طوال السنة.

أما **بحار العالم** فتنتشر في بقاع عدة، منها على ه وامش (أط راف) المحيطات مفتوحة عليها انفتاحاً واسعاً، كما في البحر الك اريبي، والبح ر الإيريلندي وبحر الشمال، وبحر تيمور وبحر الصين الجنوبي وبحر الصين

الشرقي، والبحر الأصفر وبحر اليابان، وبحر أوخوتسك، وبحر العرب، وبحر بارينتس، أو مرتبطة بالمحيطات بفتحات (مضائق) كما في البحر المتوسط، والبحر البلطي، والبحر الأحمر، ومنها ما هو بعيد عن المحيطات غير متصلة بها، كما في، بحر قزوين، وبحر آرال، والبحر الميت.

أما **البحيرات** (Lakes) فمتنوعة، مختلفة الشكل والمنشأ وطبيعة المياه، فهناك بحيرات مالحة كالتي تقع على هوامش البحار والمحيطات، وبعض البحيرات الداخلية، غير أن معظم البحيرات الداخلية عذبة المياه. ومن أكبر البحيرات في العالم نذكر: البحيرة العليا (سوبيرير) أحد البحيرات الكبرى الخمسة الأمريكية ومساحتها نحو (٨٣٣٠٠ كم^{٢})، يليها بحيرة فيكتوريا الإفريقية ذات المساحة نحو (٦٩٠٠٠ كم^{٢})، فبحيرة هورن الأمريكية (٥٩٥١٠ كم^{٢})، وبحيرة ميتشغان الأمريكية (٥٧٨٥٠ كم^{٢})، ومن ثم بحيرة تنجانيقا الإفريقية (٣٤ ألف كم^{٢})، فبحيرة بايكال الآسيوية (٣١٥٠٠ كم^{٢})، وبحيرة نياسا الإفريقية (٣٤ ألف كم^{٢}). ومن الصعب إحصاء عدد البحيرات الطبيعية في العالم ذات الأحجام المختلفة، فهي تعد بالآلاف، أكثرها كثافة في شمالي أوراسيا وأمريكا الشمالية. ومن أهم البحيرات الطبيعية في الوطن العربي، نذكر: بحيرة قارون في مصر، وبحيرة قطينة ومسعدة، وكذلك الخاتونية في سورية، وبحيرة طبريا في فلسطين، وبحيرة القرعون في لبنان.

ونحو (١٨%) من مياه البحيرات العذبة تحتويها بحيرة بايكال، بينما تحتوي البحيرات الإفريقية على نحو (٣٠%) من الماء العذب، والبحيرات الكبرى الأمريكية على نحو (٢٥%)، والباقي موزع على البحيرات الأخرى.

يضاف إلى ما تقدم أعداد كبيرة من البحيرات الصناعية، التي أقيم بعضها على الأنهار، كما في بحيرة الأسد على نهر الفرات في سورية، وبحيرة ناصر على نهر النيل في مصر، وبعضها الآخر على الأودية السيلية.

ويبلغ حجم المياه في الأنهار نحو (٢٠٠٠٠ كم^3)، وهي كمية مدورة، لكون مياهها جارية باستمرار، وتكاد لا تخلو دولة في العالم من احتواء أراضيها أو عبورها نهر من الأنهار أو أكثر، ومن أهم الأنهار في العالم نذكر:

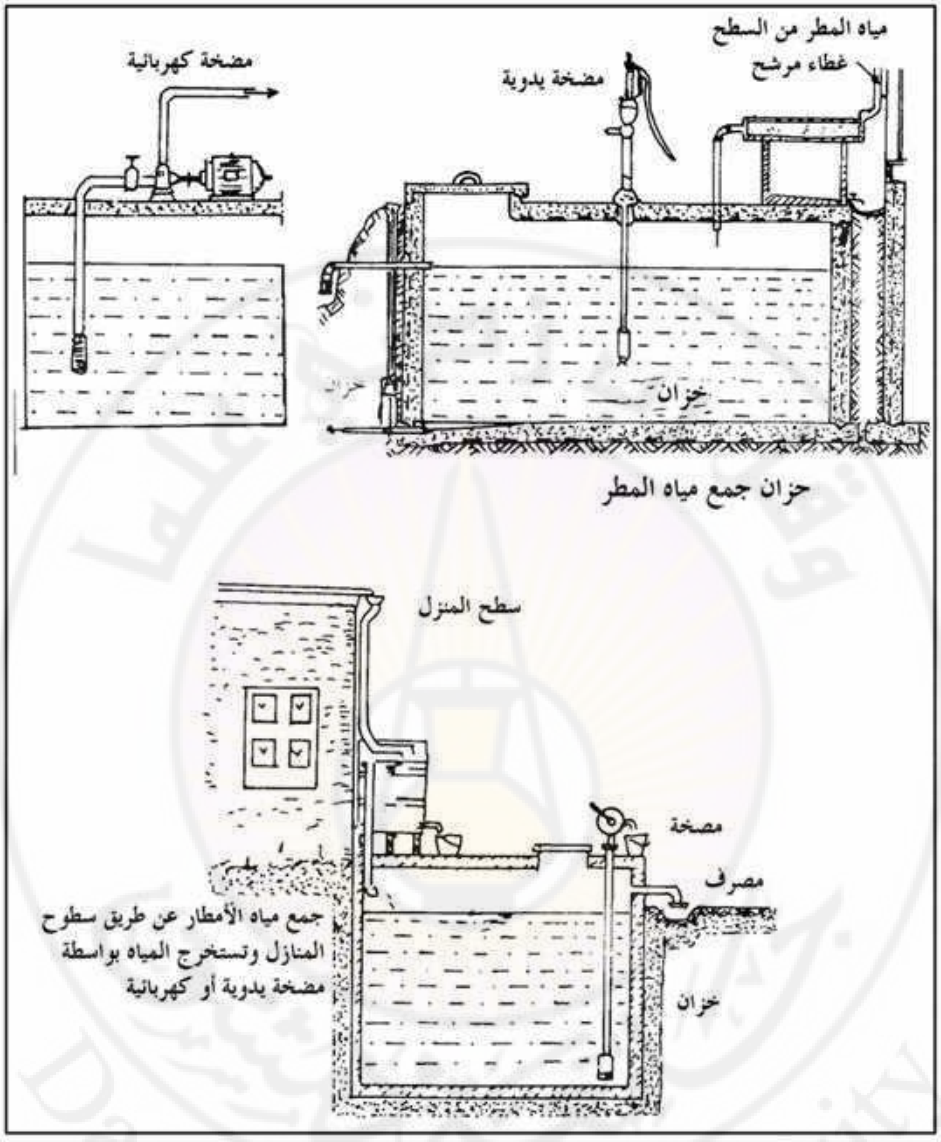
- في القارة الإفريقية: نهر النيل، وهو أطول أنهار العالم (٦٦٥٧ كم) يعبر أراضي أوغندا والسودان ومصر، ونهر الكونغو بطول نحو (٤٨٠٠ كم)، ونهر النيجر بطول نحو (٤٠٠٠ كم) عابراً أراضي مالي والنيجر ونيجيريا والجزء الشمالي من غينيا، والزامبيزي وطوله نحو (٢٥٦٠ كم) ويصب في المحيط الهندي، ونهر الأورانج وطوله نحو (٢٠٦٠ كم).
- في القارة الأوروبية: نهر الفولغا وطوله نحو (٣٧٤٠ كم) ويصب في بحر قزوين، ونهر الدانوب وطوله (٢٨١٥ كم) ويصب في البحر الأسود، ونهر الدينيبر وطوله نحو (٢٢٦٩ كم) ويصب أيضاً في البحر الأسود، ونهر فستولا طوله (١٩٩٠ كم)، ونهر أورال (١٤٤٨ كم)، بالإضافة إلى أنهار الراين والرون والبو وأودور... وغير ذلك.
- في القارة الآسيوية: نهر يانغتسي كيانغ (٤٩٦٠ كم)، ونهر ميكونغ (٤١٦٠ كم)، ونهر هوانغ هو (٣٣٢٠ كم)، ونهر سيكيانغ (١٣٠٠ كم)، ونهر آمور (٣٦٤٠ كم)، ونهر الغانج (٤٠٠٠ كم)، ونهر السند (٣١٧٨

كم)، ونهر براهما بوترا (٢٨٨٠ كم)، ونهر سلوين (٢٧٠٠ كم)، ونهر أوب (٥٢٢٠ كم)، ونهر ينسيئي (٣٧٧٦كم) ونهر لينا (٣١٦٥كم)، ونهر أموداريا (سيحون)، وسيرداريا (جيحون)، ونهرا دجلة والفرات، ونهر العاصي... وغيرهم كثير.

- في الأمريكيتين: نهر الأمازون وطوله نحو (٦٥٠٠ كم)، ونهر المسيسبي وطوله نحو (٤٠٠٠ كم، ٦٨٠٠ كم إذا ما اعتبرت بدايته منابع نهر ميسوري).

- ويتمثل مصدر تغذية (الوارد) الدورة المائية على الأرض فيما يهطل من الجو من ماء بشكل أمطار أو ثلوج وبرد، وبوصول الماء الهاطل إلى سطح الأرض يتبخر بعضٌ منه ليتدفق بعضه الآخر إلى الجداول والأنهار والبحار، وليتسرب ما تبقى إلى داخل الأرض مشكلاً الماء الجوفي.

ويحصل الإنسان على حاجته من الماء باستخلاصه إياها من الدورة المائية، متزوداً بها من مصدرين رئيسين، هما: الماء السطحي، ممثلاً في الجداول والأنهار والبحيرات الطبيعية والتخزينية، وما يجمعه أيضاً من مياه أمطار في آبار وبرك، شكل (٧٥)، والماء الجوفي، مستخرجاً إياه من الطبقة الحاملة له الموجودة تحت سطح الأرض على أعماق متفاوتة، بواسطة حفر الآبار وضخ المياه بمضخات تتراوح بين الكهربائية والهوائية... إلخ، شكل (٧٦).



الشكل (٧٥) جمع مياه الأمطار من سطوح المنازل



شكل رقم (٧٦) ضخ المياه من الآبار الجوفية

وتشكل المياه السطحية في الغالبية العظمى من دول العالم المصدر الرئيسي لتموين الناس باحتياجاتهم في المجالات المختلفة. وتعد نوعية المياه السطحية، ونسبة وجود الملوثات فيها، وتذبذب حجم الممكن استخدامه منها، من العوامل بارزة الأهمية التي تحدد حجم الماء السطحي الممكن استخدامه في الاستعمالات المختلفة.

وتعد المياه الجوفية من أهم مصادر الشرب وأفضلها، لما تتصف به من نقاء، فهي خالية من الجراثيم الممرضة، كما أنها نظيفة من الملوثات

بوجه عام، لذا فإنه بالإمكان استخدامها مباشرة دون الحاجة إلى تنقيتها وتعقيمها، في حين يستلزم الأمر تنقية وتعقيم المياه السطحية المستخلصة للشرب لعدم نظافتها.

وإذا كانت بعض المناطق تعاني من نقص في مياهها اللازمة للاستهلاك، فإن هناك مناطق أخرى يوجد فيها فيض مائي، ففي بريطانيا، كمثال، فإن المعدل السنوي للأمطار فيها بحدود (١٠٥٠ مم)، ومثل هذه الكمية تكفي نظرياً لتلبية المتطلبات المائية كلها، غير أن توزيع الأمطار ليس متساوياً في مناطق بريطانيا المختلفة، فمعدل الأمطار السنوية في الأجزاء الشمالية والغربية تزيد على (٢٥٠٠ مم)، لتهبط في الجزء الجنوبي الشرقي إلى أقل من (٥٠٠ مم)، كما أن المناطق مرتفعة الكثافة السكانية والصناعية تتمثل في، تين – تيس (Tyne - Tees)، لانكشاير، يوركشاير، ميدلاند، ويلز الجنوبية والشرقية، ولندن وضواحيها، وهذه هي مناطق الاستهلاك المائي الكبير، التي تعاني معظمها من عجز مائي ، شكل (٧٧)، منذ زمن ليس بالبعيد، غير أن المشكلة قد تتفاقم في المستقبل.



الشكل رقم (٧٧) مناطق التهطال المطري والعجز المائي والأنهار في كل من إنكلترا وويلز

وتلعب فصلية الأمطار، والفصلية الحرارية دوراً كبيراً في تقرير حجم الاستهلاك المائي، فالفصل الأقل مطراً مرتفع الحرارة، يزيد فيه الاستهلاك رغم قلة موارده المائية، كما هو الحال في معظم مناطق القطر العربي السوري.

١ - ٣ - المياه المستخرجة ومدى سلامتها:

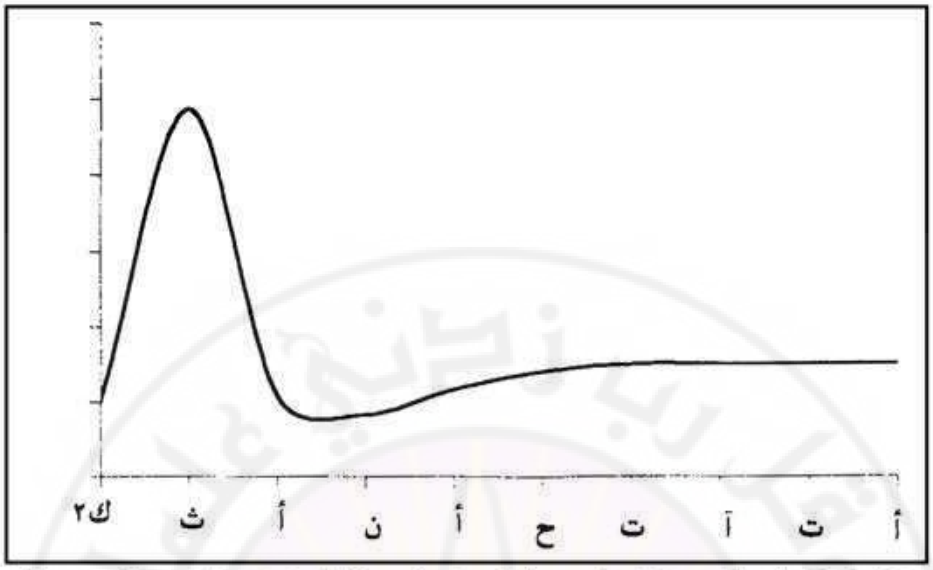
تعد الأنهار بحجم مائها المتدفق، وبطول مجاريها أهم مصدر من مصادر المياه السطحية، فهي تقوم بثلاث وظائف رئيسية، تتمثل في:

١ – كونها تشكل مصدر ماء رئيسي للاستعمالات كافة (الزراعية، والصناعية، والبشرية العامة).

٢ – لكونها مجالاً رحباً وسريعاً لتصريف مخلفات المصانع السائلة والصلبة ومياه المجارير (الصرف الصحي)... وغير ذلك.

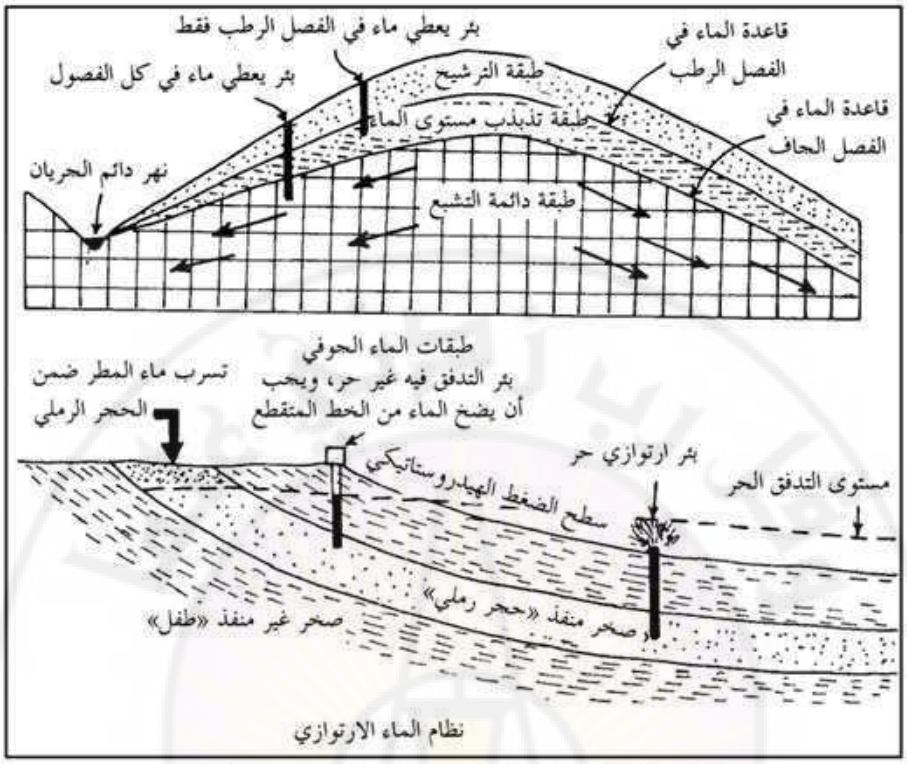
٣ – للأنهار وظيفة ترفيهية وسياحية واقتصادية، لاستخدامها في الصيد، والسباحة، والإبحار.

وللمحافظة على الوظيفة الثالثة للأنهار، يجب العمل على إبقاء النظام البيئي الحيوي فيها متوازناً، حتى يمكنها من تقديم سلاسل الغذاء الحيوية، والبقاء على الدورة الطبيعية للأحياء. وإذا ما تعرض النظام البيئي النهري لتفكك بفعل الملوثات التي تصب في الأنهار، فإن كلا من الوظيفتين الترفيهية والسياحية، تتلاشى بسبب موت الكائنات الحية، وسيادة ظروف نتنة وراكدة، ومن الواجب أن لا يؤثر الماء المستخرج من الأنهار على الوظيفتين الأخيرتين (٢ – ٣). وكمية المياه المتدفقة في المجرى النهري من النادر أن تكون ثابتة، بل متغيرة من فترة إلى أخرى من فترات السنة، فتغزر في فترات الأمطار الوفيرة، وتشح في فترات السنة الجافة. وفي سورية وسائر دول حوض البحر المتوسط تصل كمية المياه المتدفقة في الأنهار إلى أعظمها في النصف الشتوي من السنة، وإلى أدناها في النصف الصيفي من السنة – ويبين الشكل (٧٨) الاختلافات في كمية الجريان الوسطية لنهر العاصي في سورية.



الشكل رقم (٧٨) الاختلافات في كمية الجريان الوسطية لمياه نهر العاصي في سورية (عن: ع. عبد السلام ١٩٧٣)

ويلعب حجم الماء المتدفق دوراً مهماً وأساسياً في تحديد مدى وإمكانية تلوث النهر، لكون سرعة الماء المتدفق وحجمه تحدد القدرة على تصريف الملوثات المنتهية في النهر دون أن تسبب تلوثاً واضحاً لماء النهر، وهذا ما يشاهد طبعاً في فترات الجريان الشديد، أما في فترات انخفاض مستوى الماء النهري (فترات الشح) سواء لظروف الجفاف السائدة، أم لازدياد كمية المياه المستخرجة منه، فإن الوضع عندئذ يساعد على حدوث تلويث للمياه. وبصورة عامة، فإن حجم الماء النهري المتدفق، وكمية الملوثات الموجودة في الماء، من العوامل المؤثرة والمحددة لكمية المياه الممكن استخراجها عند أي موقع وفي أي فترة زمنية. وبغية تأمين مصدر أكثر ديمومة للماء، تم اللجوء إلى تنظيم جريان ماء الأنهار، بفعل إنشاء سدود تنظيمية وتخزينية في آن واحد، خلفت خلفها بحيرات وخزانات مياه ضخمة تستعمل في أغراض عدة.



الشكل (٧٩) طبقات المياه الجوفية ونظامها الارتوازي

ومن الممكن أن تسهم الطبقات الصخرية الحاملة للماء الجوفي في تخفيف الضغط عن الماء السطحي من جهة، ومن جهة أخرى يمكنها أن تزود الماء السطحي بمورد مائي يرفده. وتشكل هذه الطبقات مخزوناً طبيعياً للماء بالنسبة لسكان الأرض، متمثلة هذه الطبقات في الطبقات الصخرية المسامية والمنفذة للماء، كما في: الحجر الرملي، بعض أنواع الصخور الكلسية، الصخور الخضراء (Greensand)، والصخور الحوارية (Chalk)، والتي تقع فوق صخور كتيمة غير منفذة، الشكل (٧٩). ويستخرج ماء هذه الطبقات بحفر آبار أو حفر، وضخها حتى السطح. والمياه الجوفية، مياه نضرة، لكون الماء ارتشح من السطح ومن حول الطبقة الحاملة ليتجمع فيها نقياً من الشوائب، والذي يحدد وجود الطبقة

الحاملة للماء هو نموذج الطبقات الصخرية، كما أن وجود التشققات والصدوع تلعب دوراً مهماً في وفرة المياه الجوفية.

ويمكن للطبقة الحاملة للماء الجوفي أن تتلوث بإحدى طريقتين:

١ – إذا ما وقعت في منطقة ساحلية، حيث الصخور المنفذة تكون تحت مستوى سطح البحر، مما يمكن ماء البحر من التدفق إليها عندما يهبط مستوى الماء العذب إلى ما دون النقطة الحدية في الطبقة الحاملة للماء.

٢ – يمكن أن يحدث التلوث أيضاً، إذا ما تزودت الطبقة الحاملة للماء الجوفي، بالماء المترشح إليها من أرض ملوثة، أو من منطقة تجميع القمامة.

٣ – وبما أن الماء المستخرج من المياه الطبيعية لاستخدامه كماء شرب أو غير ذلك، يكون ملوثاً بدرجات متفاوتة، لذا فإنه من الضروري إخضاعه للمعالجة لتنقيته وتطهيره من الشوائب المضرة بالصحة، وذلك قبل استعماله.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثاني

مصادر التلوث المائي

٢ - ١ - الخصائص الفيزيائية والكيميائية لماء الشرب.

٢ - ١ - ١ - الخصائص الفيزيائية.

٢ - ١ - ٢ - الخصائص الكيميائية.

٢ - ٢ - مدى درجة تلوث المياه.

٢ - ٣ - الملوثات المائية ومصادرها.

٢ - ٣ - ١ - نماذج الملوثات المائية.

٢ - ٣ - ٢ - مصادر الملوثات المائية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

عرف تلوث الماء منذ زمن بعيد، حيث لاحظ الإنسان قديماً التغيرات التي تطرأ على نقاوة الماء في المواسم المختلفة، وكيف تتعكر مياه الأنهار وتتلون في مواسم الفيضان نتيجة لكثرة الجزيئات الصلبة العضوية والمعدنية، والأحياء الدقيقة،... وغير ذلك من المواد التي يحملها النهر معلقة في مياهه. وكيف كان الإنسان يفضل اللجوء إلى أعالي المجاري المائية الصغيرة، حيث بداية الينبوع المائي، للحصول على مياه عذبة نقية، لما كان يراه في المياه المتدفقة بعيداً عن الينبوع من مواد غريبة معلقة فيها.

٢ - ١ - الخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الشرب:

كي تتضح صورة التلوث المائي، من حيث درجته ونوعيته، لا بد من إلقاء نظرة سريعة على الخصائص الفيزيائية والكيميائية للماء بصورة عامة، وخاصة ما خصص منه للشرب.

٢ - ١ - ١ - الخصائص الفيزيائية:

تتمثل أهم الخصائص الفيزيائية للماء فيما يلي:

١ - العكارة:

تتعلق درجة العكارة بنسبة وجود المواد الصلبة العالقة في الماء، والتي تتألف من جسيمات من الطمي، ومزيج من مواد صلبة عضوية ومعدنية، وأحياء دقيقة... إلخ. وتكون المياه صافية إذا تمكن المرء من رؤية جسيم أبيض اللون من خلالها بوضوح إذا كان عمق الماء متراً، وتزال عكارة الماء عن طريق ترسيب المواد العالقة فيه.

٢ - اللون:

المياه النقية عديمة اللون، وتصبح بلون أزرق على عمق ثلاثة أمتار، وينجم تلون الماء عن وجود بعض المواد الدبالية أو المخلفات العضوية المنحلة، أو بعض المواد المعدنية والشوائب العالقة.

٣ - حرارة الماء:

تختلف حرارة الماء حسب مصدرها، فحرارة المياه الجوفية ثابتة نسبياً، بينما تكون حرارة المياه السطحية متقلبة حسب الطقس، وتتراوح درجة حرارة مياه الشرب المقبولة بين (٨ - ١١درجة مئوية).

٤ - الطعم والرائحة:

يكون الماء النقي خالياً من الطعم والرائحة، وفي حال حدوث رائحة، وطعم مميز للماء، فهذا دليل على وجود مواد غريبة فيه.

٥ - قلوية الماء:

يستدل على درجة قلوية الماء من الرقم الهيدروجيني (PH)، الذي يتراوح ضمن الظروف الطبيعية للمياه السطحية بين (٥ - ٨,٥)، والحد المفضل لمياه الشرب بين (٧ - ٨,٥).

٢ - ١ - ٢ - الخصائص الكيميائية:

إن التحليل الكيميائي للماء يكشف عن مركباته الكيميائية، وما يحويه من مواد ملوثة، وفيما يلي بعض المركبات الكيميائية التي يحتوي عليها الماء:

١ - الكلوريدات:

توجد هذه المادة في معظم مياه الأنهار والبحيرات بنسب ضئيلة، لذا فإن أية زيادة مفاجئة في هذه المادة تدل على حدوث تلوث للماء قد يكون

مرده إلى الفضلات البشرية، أو النفايات الصناعية. ويسبب وجود الكلوريد في الماء بنسبة كبيرة طعماً ملحياً.

٢ - الحديد:

يوجد الحديد في الماء بنسب ضئيلة بشكل منحل أو بشكل معلق ضمن مركبات معدنية أو عضوية، وتبلغ القيمة القصوى المقبولة منه في مياه الشرب (٠,١ مغ/لتر).

٣ - النحاس:

لا يوجد النحاس طبيعياً في الماء، لكنه يتواجد من خلال حدوث تآكل للأنابيب الناقلة له، ويسبب وجوده بكمية تزيد على (١,٥ مغ/ل) طعماً قابضياً معدنياً.

٤ - الأكسجين المنحل:

إن وجود الأكسجين المنحل في الماء ضروري لعمل البكتيريا الهوائية التي تفكك المواد العضوية الموجودة في مياه المجاري، وتحولها إلى مركبات بسيطة تنتشر في الوسط. وبصورة عامة يجب أن لا ينخفض مقدار الأكسجين المنحل عن (٥مغ/ل) في الأنهار، وهذا ما يعادل (٥٧%) من حد الإشباع في الدرجة الحرارية (٢٠ °م)، لأن هذا المقدار لا يتواجد طبيعياً في الأنهار، وإنما هو مقدار يدل على تلوث المياه واستهلاك قدر كبير من الأكسجين في الماء. ويتناسب انحلال غاز الأكسجين عكساً مع درجة حرارة الماء، كما هو موضح في الجدول (٤٤).

يوضح جدول (٤٤) العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الأكسجين المنحلة في الماء

درجة الحرارة (م)	٦	١٠	١٤	١٨	٢٥	٣٠
كمية الأكسجين (مغ/ل)	١٢,٤	١١,٣	١٠,٣	٩,٥	٨,٣	٧,٥

٥ – الكبريتات:

لماء الشرب الذي يحتوي على تركيز مرتفع من الكبريت ات ت أثير ملين، ويزيد هذا التأثير عندما يترافق مع المغنيزيوم، وينجم ع ن زي ادة كبريتات الكالسيوم والمغنيزيوم في الماء عسراً (عسير) تحد م ن درج ة قبوله للشرب.

٦ – المركبات الآزوتية:

يتعلق وجود شوارد النشادر في الماء غير الملوث بالعمليات الحيوية التي تؤدي إلى تفكك مادة البروتين، ويجب ألاَّ تزيد نسبة النترات في الماء الذي لا يحتاج إلى معالجة على (١٠ملغ/ل)، كما يظهر النتريت في الم اء كنتيجة للأكسدة الكيميائية الحيوية للنشادر أو إرجاع النترات.

٧ – الفلور

تحتوي المياه السطحية على مقادير من الفلور لا تزي د ع ل ى (١ – ١,٥ مغ/ل)، لتصل في المياه الجوفية إلى (١٠مغ/ل). وينجم من احت واء ماء الشرب على (١,٥ مغ/ل) من الفلور إلى الإص ابة بتبق ع الأس نان والانسمام الفلوري، كما هو ملاحظ عند سكان منطقتي تدمر وسلمية ف ي سورية.

ويبين الجدول (٤٥) الخصائص الفيزيائية والكيميائية القياسية لمي اه الشرب، المعمول بها في القطر العربي السوري[1].

(1) هيئة المواصفات السورية (١٩٧٦).

جدول (٤٥) الخصائص الفيزيائية والكيميائية القياسية لمياه الشرف في سورية

المادة	النسبة المسموح بها (مغ/ل)	أقصى ما يمكن السماح به (مغ/ل)
أولاً – خصائص فيزيائية		
١ – اللون	٥ وحدات مقدرة بمقياس الكلوبالت البلاتيني	٥٠ وحدة
٢ – العكارة	٥ وحدات مقدرة بجهاز الشمعة لجاكسون	٢٥ وحدة
ثانياً – خصائص كيميائية		
١ – مجموع الخلاصة الجافة	٥٠٠	١٥٠٠
٢ – القساوة الكلية مقدرة بفحمات الكالسيوم	٣٠٠	٦٥٠
٣ – الرقم الهيدروجيني (PH)	٧ – ٨,٥ وحدة	٦,٥ – ٩,٥ وحدة
٤ – الحديد	٠,٣	١,٠
٥ – المغنيز	٠,١	٠,٥
٦ – النحاس	١,٠	١,٥
٧ – التوتياء	٥,٠	١٥,٠
٨ – المنغنزيوم	٥٠,٠	١٥٠,٠
٩ – الكالسيوم	٧٥,٠	٢٠٠,٠
١٠ – الكبريتات	٢٠٠,٠	٤٠٠,٠
١١ – الكلوريد	٢٠٠,٠	٦٠٠,٠
١٢ – الفلوريد	٠,٦	١,٥
١٣ – النترات	١٥,٠	٤٠,٠
١٤ – الكلور الحر للمياه المعالجة	٠,٣ – ٠,٥	١,٠ في حال الأوبئة

المادة	النسبة المسموح بها (مغ/ل)	أقصى ما يمكن السماح به (مغ/ل)
- المواد الدالة على التلوث		
١ - النشادر (NH_3)	عدم وجوده	آثار زهيدة شريطة صلاحية المياه للشرب
٢ - النتريت (NO_2)	عدم وجوده	عدم وجوده

٢ - ٢ - مدى درجة تلوث الماء:

يمكن تحديد درجة تلوث الماء بطرق مختلفة، فأحياناً يحدد الماء الملوث بمظهره، فالنهر يكون ملوثاً إذا كانت مياهه عكرة، وكان هناك رغوة (زبد) على سطحه، مما يجعل الماء مضطرباً بشكل غير مقبول، ويحدد ذلك من قدرة تحمل الأسماك والكائنات الحية الأخرى مثل هذا الوضع. وأحياناً أخرى يحدد تلوث الماء، من خلال التأثيرات السلبية التي يتركها في النظام البيئي الحيوي للأحياء المائية، والتي تحددها كمية الأكسجين المنحلة، ووجود المواد السمية... وغير ذلك.

فالنموذج الأول من التحديد لتلوث الماء، يتركز على أنشطة الإنسان المختلفة، وما تخلفه من تأثيرات على صفات الماء، فيقال عن النهر إنه ملوث، إذا ما حدث تغير في تركيب مياهه، ومظهره بشكل مباشر أو غير مباشر، نتيجة لأنشطة الإنسان المختلفة، مقللاً ذلك من ملاءمة مياهه للاستعمال في الأغراض المختلفة، عما كانت عليه في حالتها الطبيعية، وهذا ما يمكننا من تحديد **تعريف للتلوث المائي:** «تلوث الماء هو عبارة عن أي تغير طبيعي أو مستحث (Induced) في نوعية الماء، تجعله غير ملائم للاستعمالات المختلفة، في الشرب، والصناعة، والزراعة، والصيد،

والترويح..». وتعكس أنشطة الإنسان المختلفة، وفعاليته المتعاظمة، ومخلفاته وفضلاته المتزايدة، ما يصيب المياه الطبيعية من مزيد من التلوث الذي يدخلها. وفي ضوء الاتجاه الآخر لتحديد التلوث، يعرف تلوث الماء على أنه: «أي مادة أو أي تأثير يؤدي إلى تغير عكسي (سلبي) في البيئة المائية، من حيث التأثير على معدل نمو الأنواع الحية، أو من حيث التأثير على السلاسل الغذائية، مع ما لذلك من تأثير على صحة الإنسان وسعادته». وهكذا نجد أن تحديد التلوث يتعلق بالغاية المراد منها، مما يجعل من الممكن وضع تعريف عام له: «تلوث الماء: هو التغير في الصفات الفيزيائية والكيميائية أو الجرثومية، بحيث لا يمكن استعمال المياه للغاية المرادة منه».

ولمعرفة شدة التلوث وتغيره، يجب أن تجري على عينات المياه تحاليل مختلفة لمعرفة ما هو التلوث، والصفات التي تغيرت في المياه. ورغم الكميات المتزايدة من الملوثات التي تدخل مياه الأنهار والبحار والبحيرات، فإنه لا يوجد مسح عام لأنهار العالم وبحيراته وبحاره يحدد حجم هذه المشكلة ودرجة خطورتها، وإن كانت قد تمت بعض المسوحات الإقليمية في بعض دول العالم، كما جرى في بريطانيا عام (١٩٥٨م)، تم وفقها تصنيف مجاري الأنهار حسب درجة تلوثها، اعتماداً على طبيعة المواد المصرفة إليها، وكمية الأكسجين المنحل، وكمية الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD)، والوضع الحيوي، إلى أربعة أصناف:

١ – أنهار غير ملوثة، كمية الأكسجين الحيوي المستهلك فيها دون (٣مغ/ل).

٢ – أنهار مشكوك في حالتها، تتلقى المواد السمية، والمواد العكرة لصفائها، وهي بحاجة إلى معالجة بسيطة.

٣ – أنهار ملوثة، ذات ظروف فقيرة، وهي بحاجة إلى معالجة، حتى تستخدم، ونسبة تشبع الأكسجين المنحل دون (٥٠%).

٤ – أنهار ملوثة بإفراط، رائحة مياهها كريهة، ومظهرها كريه أيضاً، تصعب حياة الأسماك فيها، وتبلغ كمية الأكسجين الحيوي المستهلك (١٢مغ/ل) أو أكثر.

ويعد ماء الصنفين الأول والثاني مناسباً للاستخدامات كلها، في حين لا تناسب مياه الصنف الثالث سوى الري، وأغراض التبريد الصناعية، أما مياه الصنف الرابع فغير ملائمة للاستعمال في أي غرض. وفي بريطانيا، فإن معظم الأنهار شديدة التلوث، كأنهار، تين، تيز، وير (Wear)، ترنت، همبر، التايمز، وميرسي (Mersey)، تتلقى كميات كبيرة من النفايات المصرفة إليها من ملايين السكان الذين يقطنون على مقربة من مجاريها. وفي سورية، يعد نهر بردى في قطاعه الأوسط ملوثاً جداً، كما أن نهر العاصي ملوث نسبياً.

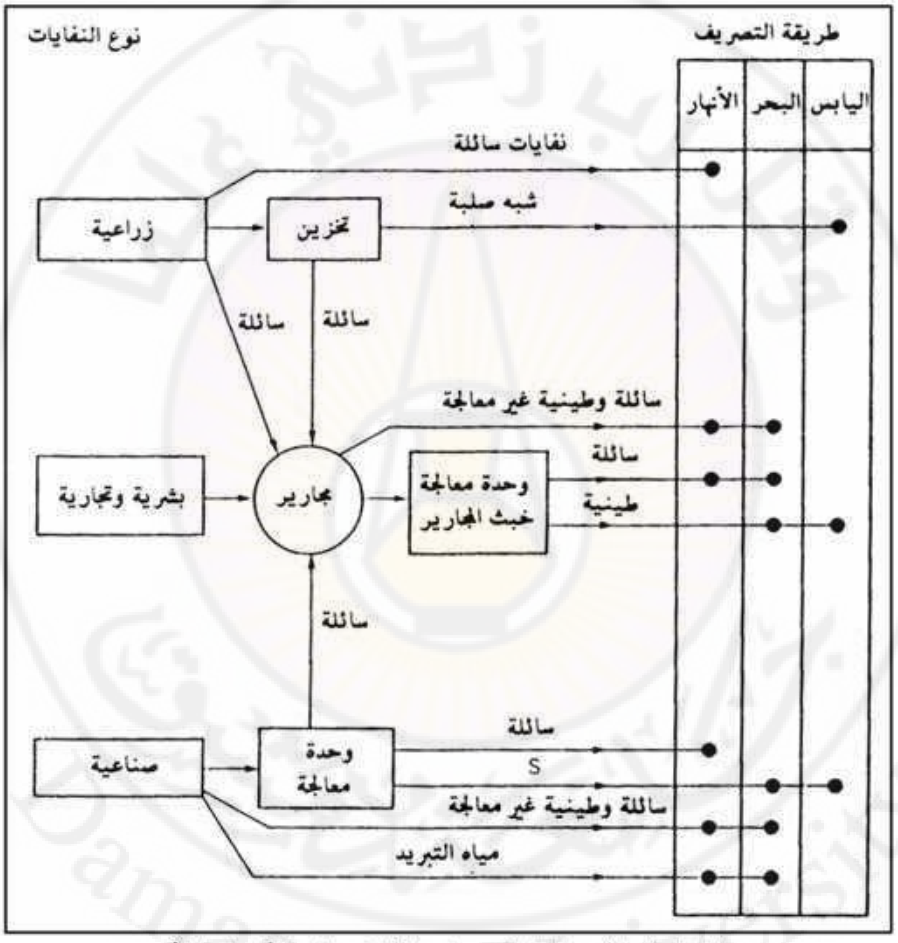
ويمكن أن يعبر عن مدى تلوث الماء، بتحديد قيمة الأوكسجين الحيوي المستهلك (الممتص BOD)، والذي هو مؤشر عن كمية المادة العضوية الممكن تفككها حيوياً الموجودة في الماء، لكنه مؤشر غير مباشر لكمية الملوثات الأخرى غير العضوية.

٢ – ٣ – الملوثات المائية ومصادرها:

لا يقتصر تلوث الماء على نواتج النفايات الصلبة والسائلة التي تصرف إلى الأنهار والبحار والبحيرات، وإنما تتأثر أيضاً بالملوثات الجوية التي قد يترسب بعضها مباشرة (الغبار، الأتربة،... إلخ) ويسقط بعضها الآخر مع الأمطار الهاطلة، وإن كان دور الملوثات الجوية في التأثير على الماء محدوداً.

٢ - ٣ - ١ - نماذج الملوثات المائية:

إن نواتج النفايات الصلبة والسائلة التي تصرف إلى المياه الـ سطحية والبحرية وسواها، تعد المسبب الأساسي لتلوث المياه، ويمكـ ن تلخـ يص نماذج تلك النفايات الملوثة للمياه في ثلاث مجموعات رئيسية، شكل (٨٠).



الشكل (٨٠) مخطط لتصريف النفايات الصلبة والسائلة

١ - مياه المجارير:

وما تحمله من مركبات ء ضوية وكيماوي ة وق اذورات مختلف ة، تتصرف إلى الأنهار، أو إلى حفر داخل سطح الأرض، ويشمل هذا النوع

من الصرف، نفايات المتاجر، والاستعمالات البشرية المختلفة، في المنازل، والمؤسسات، والمستشفيات، وأوساخ الشوارع التي تصرف عبر مصارف أرضية إلى شبكة المجارير.

٢ - النفايات الصناعية:

التي تصرف مباشرة إلى الأنهار والأقنية، والبحار، وليس إلى شبكة المجارير، محملة بأنواع مختلفة من الملوثات، من زيوت، وأصبغة، وشوارد كيميائية، ومركبات سامة، ومواد عضوية، وأملاح غير عضوية. وبعض النفايات الصناعية تخضع لمعالجة قبل تصريفها إلى الأنهار والبحار، وبعضها لا يمر بأية معالجة، وهذا هو الأخطر في التلوث.

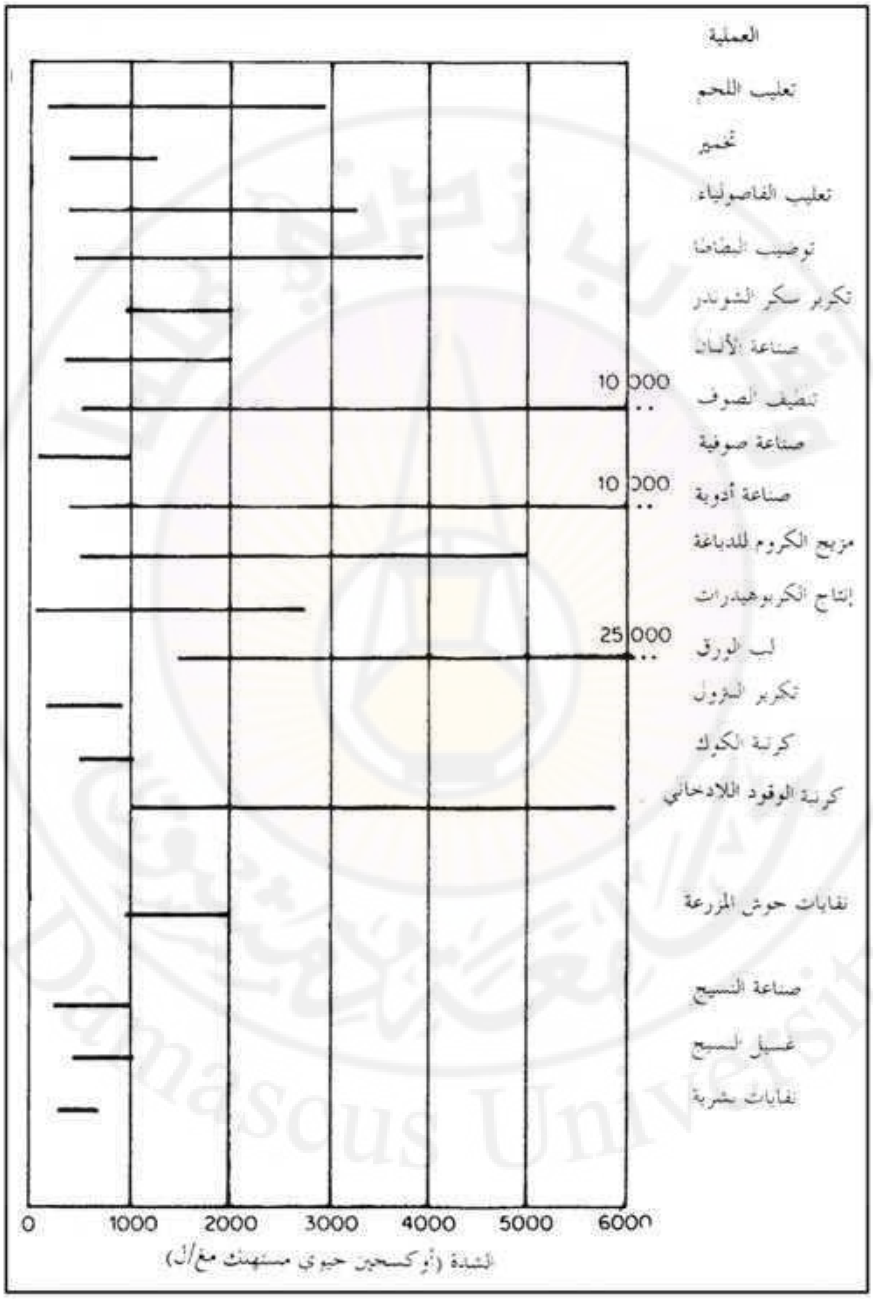
٣ - الملوثات الزراعية:

وهي تلك الملوثات الناتجة عن الصرف الزراعي، والمتمثلة بأنواع المبيدات المختلفة التي ينصرف بعضها إلى المياه، والمركبات الكيماوية والعضوية المتولدة عن الأسمدة المستعملة في الزراعة.

يضاف إلى ما تقدم ماء التبريد التي تتصرف بصورة رئيسية من محطات الطاقة لتوليد الكهرباء، ومن بعض المراكز الصناعية، والذي يعمل على رفع درجة حرارة المياه التي تتصرف إليها، بسبب درجة حرارة ماء التبريد المرتفعة في أثناء تصريفها، مسببة نوع من التلوث يعرف بالتلوث الحراري، وقد تكون الأضرار التي يسببها التلوث الحراري أكبر من أضرار المواد الناتجة عن المصانع نفسها.

وتختلف شدة التلوث التي تنجم عن الفضلات البشرية، والنفايات الصناعية، وغيرها، باختلاف المصانع وما تقذفه من مواد، الشكل (٨١) يبين شدة فعالية بعض أنواع الملوثات الناتجة عن عمليات صناعية مختلفة،

ومن مجارير الصرف البشري، في ضوء كمية الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD).



الشكل (٨١) شدة فاعلية بعض الملوثات السائلة

٢ - ٣ - ٢ - مصادر الملوثات المائية:

إذا حاولنا **تصنيف الملوثات المائية وفقاً لمصادرها**، لاستطعنا أن نميز الملوثات التالية:

١ - ملوثات المجارير:

التي تحملها شبكات المجارير المنتشرة في المدن، ومعظم الأريافها، المتمثلة بالمخلفات الناتجة عن التجمعات البشرية التي تصرفها مياهها المجارير دون معالجة تذكر إلى الأنهار والبحار.

٢ - ملوثات المصانع:

التي تتولد خلال عمليات التصنيع المختلفة، والتي قد تخضع موادها إلى معالجة قبل أن تصرف، وقد لا تخضع للمعالجة.

٣ - ملوثات المزارع:

إن مخلفات الحيوانات كما هي الحال في مخلفات البشر تشكل ما يعرف بالسماد البلدي، بجانب الأسمدة الكيماوية، والمبيدات المختلفة، والتي يتصرف جزء منها عن طريق الأمطار التي تهطل وتتدفق فوق السطح تجاه المجاري المائية ملوثة إياها، بجانب المخلفات الناتجة عن عمليات تصنيع الأجبان والألبان التي تشكل مصدراً أيضاً من مصادر التلوث.

٤ - ملوثات مقالب القمامة (Waste Tip Seepage):

تنتقل بعض مواد هذه المقالب في أثناء هطول الأمطار، مترشحة إلى داخل الأرض، لتنتهي أخيراً إلى المجاري المائية، عندما تتدفق إليها المياه الجوفية بصورة ينابيع، وعادة فإن مثل هذه الملوثات لا تكون معالجة.

٥ - الملوثات الأرضية (Run - off from Land):

وهي عبارة عن الملوثات التي تم غسلها بمياه الأمطار الهاطلة، أو في عمليات تنظيف الشوارع، حيث تحمل الملوثات المختلفة إلى المصارف الأرضية، لتنقل عبر شبكة المجارير إلى المجاري المائية، وهذه المواد المصرفة لا تجري عليها أية معالجة.

٦ - الانسكاب الذي يحدث بصورة عرضية لبعض المواد الكيماوية:

وهو الانسكاب الذي يحدث في أثناء عمليات تحميل أو تفريغ أو نقل بعض المواد الكيماوية، في الموانئ، وفي الطرق النهرية والبحرية التي تسلكها وسائط النقل البحرية، أو حتى إذا ما حدث الانسكاب على اليابسة، فإن المواد الكيماوية ستغسل بالمياه بعيداً لتنقل إلى المجاري المائية.

٧ - التسرب العرضي:

التسرب الذي يحدث لبعض المواد الملوثة من أحواض التخزين الصناعية، ومن محطات تكرير البترول... إلخ، التي تقع بجانب الأنهار، وعند مصباتها، أو عند سواحل البحار.

٨ - مصادر أخرى:

تتمثل في، مراحيض المراكب والزوارق البحرية والنهرية، والسفن التجارية... وغيرها. ومخازن المبيدات الزراعية، ومراحيض المعسكرات البحرية.

٩ - ناقلات البترول، وآبار البترول البحرية:

إن أهم مصدر ملوث لمياه البحار هو البترول الذي يتدفق إلى مياه البحار عن طريق ناقلات البترول، وما يتسرب أيضاً من آبار البترول إلى المياه المجاورة. ويقدر أن أكثر من (٨٠٠ مليون طن) من البترول تنقل

سنوياً في بحار العالم، ويأتي البترول المنتشر على سطح مياه البحار والمحيطات من ثلاثة مصادر، وهي:

أ – ناقلات البترول، وهذا المصدر يتمثل دوره في الآتي:

١ – من عمليات غسل صهاريج الناقلات، أو أحواض التفريغ، بين كل عمليتي نقل، منسكبة مخلفات البترول في الماء، ملوثة إياه.

٢ – عن طريق الماء الموجود في مستودعات الاستقرار في المياه، إذ إن الناقلات تستهلك في أثناء الإبحار وقودها المخزون في مستودعات الاستقرار، وإذا لم تملأ تلك المستودعات بالماء للتعويض عما فقد من وزن، فإن السفينة تصبح غير مستقرة، ولذلك يضخ ماء البحر في مستودعات السفينة، ولكن عندما تمّون السفينة بالوقود يضخ الماء من المستودعات إلى البحر ثانية، فيحمل معه بعضاً من البترول، وتصل الكمية الملقاة أحياناً إلى (١%) من الحمولة في كل مرحلة.

٣ – عن طريق حوادث تصادم الناقلات، أو تفجيرها في أثناء الحروب، وتشير التقارير إلى أن عدد الحوادث يزيد سنوياً على (٥٠٠) حادثة، معظمها يحدث في عرض البحار. ومن الأمثلة عن حوادث الناقلات التي نجم عنها انسكاب كميات ضخمة من البترول، نذكر، حادثة الناقلة توري كانيون (Torrey Canyon) في عام (١٩٦٧م) في بحر المانش التي تدفق منها نحو (١٢٠,٠٠٠) طن من البترول، والناقلة باسيفيك غلوري (Pasific Glory) التي تدفق منها نحو (٤٩٠٠٠) طن عام (١٩٧٠م)، وأيضاً الناقلة إموكوكاديز (Amoco Cadiz) التي وقعت حادثتها عام (١٩٧٨م)، مطلقة نحو (١٧٠ ألف م^{٣}) من البترول.

ب – آبار البترول البحرية، إن استثمار البترول في عرض البحر سواء مرحلة التنقيب أم في مرحلة الإنتاج يشكل مصدراً للتلوث البترولي، وذلك عن طريق التسرب، كما حدث في آبار النوروز في إيران عام (١٩٨٣م)، التي نتج عنها تدفق كميات كبيرة من البترول في مياه الخليج العربي، وما حدث للبئر البترولي الأمريكي سانتا بربارا (Santa Barbra) في عام (١٩٦٩م) الذي قذف ما بين (١٠,٠٠٠ – ١٢,٠٠٠ طن) من البترول الخام عند مقربة من الساحل الكاليفورني الأمريكي.

ج – ما يتدفق إلى مياه البحار والبحيرات والمحيطات... وغيرها، عند تدمير آبار البترول بحرية أو قريبة منها، وتدمير المنشآت البترولية (محطات التكرير)، كما يحدث خلال الحروب، وهذا ما حدث فعلاً أثناء الحرب العراقية الكويتية، حيث تدفقت كميات كبيرة من البترول الكويتي إلى مياه الخليج العربي.

د – ما يتسرب من أنابيب نقل للبترول، وصهاريج النقل البرية، ومحطات تكرير البترول، ومستودعات التخزين، وفي أثناء تحميل الناقلات وتفريغها... إلخ.

والجدول (٤٦) يبين كمية البترول المتصرفة إلى المياه في كل من المملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية:

جدول (٤٦) كمية البترول المتصرفة إلى المياه في كل من المملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية

المصدر	المملكة المتحدة ١٩٧٢م طن/سنة	الولايات المتحدة ١٩٧٢م طن/سنة
تصريف من سطح اليابس	٧٨٠,٠٠٠	٣,٧٠٠,٠٠٠
فقد من سفن البحار	٧٣٥,٠٠٠	٧٥٠,٠٠٠

المصدر	المملكة المتحدة ١٩٧٢م طن/سنة	الولايات المتحدة ١٩٧٢م طن/سنة
تصريف حوادث	١٩٦,٠٠٠	١,٣٨٠,٠٠٠
إنتاح خلف السواحل	١٤٧,٠٠٠	٢٨٣,٠٠٠
المجموع	١,٨٥٨,٠٠٠	٦,١١٣,٠٠٠

وتبدو مخاطر التلوث بالبترول، من قدرته على الانتشار مكوناً طبقة رقيقة فوق سطح الماء، إذ يمكن لقطرة واحدة من البترول أن تنتشر عل ى مساحة يصل قطرها إلى (٣٠سم)، كما يمكن لطن واحد من البتـ رول أن يغطي مساحة قدرها (١٢كم٢).

١٠ - المواد المشعة:

يعد التلوث بالمواد المشعة من مظاهر تلوث الماء شديدة الخطورة، وتصل المواد المشعة إلى الماء من التجـ ارب النوويـ ة، والمفـ اعلات والمحطات النووية، ومن النفايات النووية المحفوظة في أعماق البحـ ار. وبانتقال هذه المواد المشعة إلى الكائنات الحية عبر السلـ سلة الغذائيـ ة تتزايد نسبتها، ليصل تركيزها في الطافيات النباتية والطحالب المختلفـ ة إلى أضعاف تركيزها في الماء. ونظراً لأن هذه النباتات هـ ي الغـ ذاء الرئيسي للحيوانات البحرية كالأسماك والطيور، كما وصلت في النهايـ ة إلى الإنسان.

١١ - الأمطار:

لقد كانت النظرة إلى الأمطار على أنها تمثل الماء النقي العذب الذي يتسارع إليه الناس في الريف والبادية لجمعه واسـ تخدامه فـ ي الـ شرب وغيره. غير أن المطر الحالي، وخاصة منذ نحو خمسين سـ نة مـ ضت، أصابه التلوث بدرجات تختلف ما بين المدينة والريف، فإذا كانت الملوثات

الكيميائية والغبار الصناعي والدخان تكثر في أمطار المدينة والمناطق الصناعية، وأكبر مثال عن ذلك الأمطار الحامضية، فإن الغبار الطبيعي هو الغالب على أمطار الريف والبادية، ولذا فإن عملية الترسيب التي يلجأ إليها أبناء تلك المناطق تقلل كثيراً من نسبة التلوث، بحيث لا يشكل خطراً معتبراً.

غير أن الأمطار بهطولها على سطح الأرض تصبح مياهها شديدة التلوث، خاصة في المدن، لما تتضمنه من نفايات ومخلفات حيوانية وأجسام مطاطية وبلاستيكية وغبار متنوع... وغير ذلك كثير تنقله إلى حيث تنتهي مياه الأمطار في نهر أو بحيرة... أو غير ذلك، وقد تكون سبباً في تلوث المياه تحت السطحية.

وفيما يلي جدول (٤٧) يبين أنماط تلوث الأنهار والبحيرات (حسب برسون Parson ١٩٦٩) ومصادرها وآثارها.

الجدول (٤٧) أنماط تلوث الأنهار والبحيرات، ومصادرها وآثارها

نمط التلوث	طبيعة الملوثات	مصادر الملوثات	آثارها
مياه الفضلات البشرية وغيرها من الملوثات المستهلكة للأكسجين	مواد عضوية تتحول عادة إلى مركبات ثابتة تحت تأثير البكتيريا الهوائية، وتتطلب الأكسجين المنحل في الماء	مياه الفضلات البشرية، ومياه مصانع المواد الغذائية، وغيرها	تؤدي إلى نقص حاد للأكسجين في الماء الأمر الذي ينجم عنه تأثيرات مميتة على الحيوانات المائية، وخاصة الأسماك. والنقص الحاد في الأكسجين ينشط البكتيريا اللاهوائية التي تفكك المواد العضوية مما يؤدي إلى تعفن الماء

نمط التلوث	طبيعة الملوثات	مصادر الملوثات	آثارها
مسببات العدوى (حاملات العدوى)	بكتيريا وفيروسات مرضية	فضلات الإنسان والحيوان، ومياه فضلات معامل دباغة الجلود، والمسالخ، والمستشفيات، وغيرها	لا بد من تنظيف هذه المياه ومعالجتها بشكل جيد، ذلك لأنها مصدر الجائحات المرضية المعروفة، تؤثر بشكل كبير على الحيوانات المائية، لا يجوز استعمال الأنهار والبحيرات التي تقذف فيها هذه المخلفات للسياحة والاصطياف
المواد التي تشكل مصدراً غذائياً للنباتات	بشكل رئيسي مركبات الآزوت والفوسفور	مياه فضلات الصناعات الغذائية والأسمدة ومياه الحقول الزراعية المسمدة	نمو كبير للنباتات المائية ينجم عنه نقص الأكسجين في الماء. وتصبح المياه ذات رائحة كريهة وطعن غير مستساغ
الأملاح والأحماض العضوية	مواد التنظيف، المبيدات الكيميائية، منتجات ثانوية لبعض الصناعات	مياه الفضلات البشرية والصناعية، ومياه الجريان الحاوية على المبيدات	خطر على الأسماك والحيوانات المائية والطيور. يمكن أن تؤدي إلى أمراض معوية ومعدية للإنسان
المعادن، والأملاح، والحموض اللاعضوية	ملح الطعام، الحموض، أملاح المعادن وغيرها من المركبات	الصناعات المعدنية، صناعة استخراج الأملاح، وغيرها	تسبب مشاكل كبيرة لعمليات الإنتاج الصناعي. وتسممات مباشرة أو غير مباشرة للإنسان والحيوان. تغير طعم الماء ورائحته، كما تؤدي إلى حت المعادن والآلات

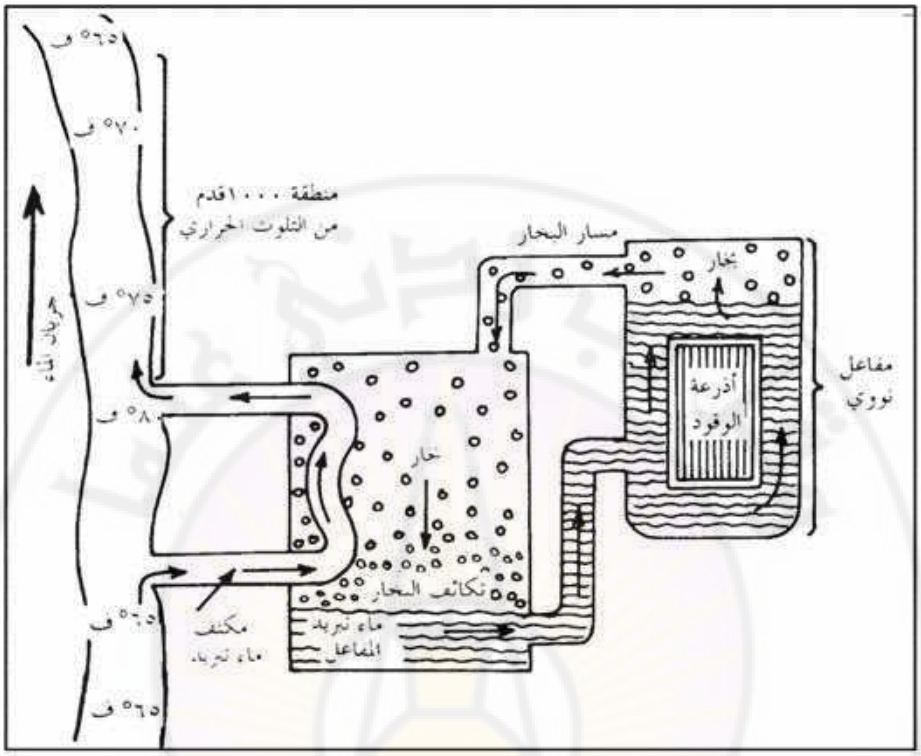
نمط التلوث	طبيعة الملوثات	مصادر الملوثات	آثارها
الجسيمات الصلبة	جسيمات التربة والصخور، ومنتجات ثانوية لبعض الصناعات	حت التربة، صناعة السيليلوز، وغيرها	تلوث المياه، تقليل عمق الأنهار والبحيرات والخزانات الاصطناعية، زيادة كلفة التنظيف، إنقاص عدد الحيوانات المائية
التلوث الحراري	المياه المستعملة لتبريد الآلات	محطات الكهرباء، المصانع التي تحتاج إلى تبريد	تقليل كمية الأكسجين في الماء، وبالتالي نقص أو توقف تفكك المواد العضوية، أضرار كبيرة على الكائنات الحية كافة في المياه
التلوث الإشعاعي		مصادر متعددة	أخطار متعددة على الكائنات الحية كافة

١١ - التلوث الحراري للماء (Thermal Pollution):

لم يتوقف مفهوم التلوث المائي على دخول أجسام غريبة صـ لبة أو مواد كيميائية إلى الماء مغيرة مـ ن خصائـ صه الفيزيائيـ ة والكيماويـ ة والحيوية، وإنما تعدى ذلك إلى: الارتفاع الغير الطبيعي في درجة حـ رارة الماء نتيجة تصريف المياه الساخنة الناتجة من العديد من المصانع والتـ ي تعرف باسم مياه التبريد، مؤدية إلى تغير سلبي في النظام الحيوي المائي، ويدعى مثل هذا النوع من التلوث باسم **التلوث الحراري**.

وتعد محطات إنتاج الطاقة الكهربائية ومصانع الفولاذ والـ صناعات الكيميائية، أهم مصدر من مصادر التلوث الحراري المـ ائي لاسـ تخدامها كميات كبيرة من مياه التبريد. وتسهم محطات الطاقة الكهربائيـ ة وحـ دها

بنحو (٨١%) من إجمالي المياه الحرارية، وذلك لاستخدامها كميات كبيرة من الماء لتبريد المحركات، حيث قدر أن محطة ذات طاقة إنتاج نحو (١٠٠٠ مغاواط) تستخدم نحو (٢مليون ليتر) من التبريد كل دقيقة، أي ما يعادل إجمالي استهلاك المياه في مدينة شيكاغو ذات عدد سكان نحو (٣,٥ مليون نسمة). وقد احتاجت أن الصناعات في عام (٢٠٠٠م) للتخلص من نحو (٥٠٤٠ تريليون حريرة) من الحرارة المصرفة يومياً إلى الأنهار والجداول والبحيرات... وغير ذلك. وهذا تطلب كميات كبيرة جداً من المياه للتبريد. وتشير بعض الدراسات إلى أن كمية الحرارة التي تنقلها مياه التبريد إلى بحيرة ميتشغان الأمريكية من محطات توليد الطاقة باستخدام الفحم، والمحطات النووية، والصناعات، بلغت في عام (٢٠٠٠م) أكثر بنحو (١٦مرة) مما هي عليه في عام (١٩٦٧م)، حيث غدت كمية المياه المسخنة كافية لتشكل طبقة مائية على امتداد بحيرة ميتشغان ذات المساحة (٦,٧ هكتار) بسماكة نحو (١,٥ متراً) ذات درجة حرارة تزيد بنحو (١٢ درجة مئوية) عن درجة حرارة البحيرة الطبيعية، شكل (٨٢).



الشكل (٨٢) نظام تبريد مفاعل نووي والتلوث الحراري المائي الناجم عنه

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

المؤشرات الحيوية للتلوث المائي

٣ - ١ - المياه الطبيعية.

٣ - ٢ - العناصر الحيوية الدالة على التلوث المائي.

٣ - ٢ - ١ - كمية الأكسجين المنحل في الماء.

٣ - ٢ - ٢ - الأكسجين المستهلك حيوياً.

٣ - ٢ - ٣ - التفكك الحيوي.

Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

لقد أعطى (ويسدون S. A. Wisdon) في عام (١٩٥٦) تحديداً مقبولاً للتلوث المائي، ويتمثل، بإضافة أي شيء إلى الماء يؤدي إلى تغيير صفاته الطبيعية، وهكذا فإنه لفهم التأثيرات الحيوية للتلوث المائي، لا بد من معرفة الخصائص الطبيعية التي تتميز بها المياه السطحية. وفي الحقيقة، فإنه عندما تخلص المياه من الملوثات، فإنها تعود إلى حالة التوازن الطبيعي.

٣ - ١ - المياه الطبيعية:

ليس من السهولة وضع تحديد دقيق للمياه الطبيعية، ولكنه من الممكن أن توصف وفق معايير فيزيائية وكيميائية، وحيوية. **فالمعايير الفيزيائية للماء**، هي أنه يتركب من ماء نقي ذي درجة حرارة معينة، حر من الجسيمات الصلبة المعلقة، والتلوين، والزبد الصابوني السطحي، والرائحة الكريهة، والطعم. أما **المعايير الكيميائية**: فيجب التأكد من وجود أكسجين منحل بكفاية، وتوازن كامل في المواد المغذية الكيميائية المنحلة لاستمرارية الحياة، وعدم وجود فائض في المادة العضوية، وخلوه من المواد السمية. أما **حيوياً**: فإن معظم المياه الطبيعية تحتوي على كمية من الأحياء الدقيقة، والنباتات والحيوانات، التي توجد في حالة بيئية متوازنة. فللبرك كافة، والبحيرات، والأنهار أنظمة بيئية، حيث توجد تجمعات أحيائية ضمن الوسط الكيميائي - الفيزيائي، ولكل نظام بيئي، تنظيمه الخاص به، بما في ذلك دوراته الغذائية الحيوية الضرورية لاستمرارية

بقاء الأنواع الحية بتركيب الشبكة الغذائية ضمن النظام، وأي تغير في ظروف النظام البيئي نتيجة دخول مواد غريبة عليه، يمكن التعبير عنه بأن أصبح ملوثاً.

ويمكن أن يحدث التلوث بصورة طبيعية، من جراء سقوط الأوراق، أو الحيوانات الميتة، وبذلك تدخل المواد السامة إلى الماء، مغيرة من التوازن البيئي الموجود، ومن الظروف الكيميائية والفيزيائية. وكنا أشرنا سابقاً، إلى أن التلوث المائي يمكن أن تسببه أنشطة الإنسان المختلفة، التي تختلف تأثيراتها من البسيط إلى الشديد. فالتلوث البسيط، والذي هو عبارة عن تلوث طبيعي، لا يترتب عليه أية تأثيرات شاذة مرئية، ويمكن القول إن الماء يمتصها، وهذا يعني أن النظام البيئي المائي يعاود الإصلاح بسرعة، لتعود المياه إلى حالتها الطبيعية، مع عدم وجود تأثيرات تذكر على أشكال الحياة، ومثل هذا التلوث البسيط لا يشكل مشكلة بيئية. أما التلوث الشديد، فيظهر واضحاً في الماء شكلاً ومحتوىً، وهو مشكلة بيئية كبيرة، إذ يعمل على تدهور النظام البيئي ضمنه، ويمكن أن تنتهي فيه الحياة بكلّ أنواعها.

وبصورة عامة، فإن لمعرفة التأثيرات الحيوية للتلوث المائي، يجب تحديد، كمية الأكسجين المنحلة، والأكسجين الحيوي المستهلك، وعمليات التفكك الحيوي التي تتم في الماء.

٣ - ٢ - العناصر الحيوية الدالة على التلوث المائي:

٣ - ٢ - ١ - كمية الأكسجين المنحل في الماء:

الأكسجين عنصر حيوي أساسي، لكونه ضرورياً لتنفس الأحياء كلها تقريباً. وهو ضروري الوجود في الماء، إذ يتوقف عليه وجود الحياة

البحرية واستمراريتها. وتضمن تهوية الماء انتشار الأكسجين الجوي فيه، كما أن الهواء الجوي الملامس للأسطح المائية يعبرها لينحل في الماء بنسب تختلف باختلاف الضغط الجوي ودرجة الحرارة، واضطراب الماء، فالحركة المضطربة للماء تضمن له تهوية جيدة، ونسبة أكسجين منحلة كبيرة، قياساً بالحركة البطيئة للماء التي تجعل كمية الأكسجين المنحلة منخفضة.

والأكسجين ليس قابلاً للذوبان في الماء بشكل جيد، لكنه يوجد في المحلول المائي كأكسجين منحل، وأفضل المياه تحتوي على نسبة قليلة من الأكسجين. وتعد الكمية العظمى من الأكسجين الممكن أن تنحل في الماء بنسبة التشبع المئوية، وتختلف هذه النسبة مع درجة الحرارة والتركيب الكيميائي للماء، فتشبع الماء العذب بالأكسجين المنحل، أي نسبة التشبع (١٠٠%)، يكافئ إلى (١٤ مغ/ل) من الأكسجين المنحل عند درجة حرارة صفر درجة مئوية، وإلى (٩ مغ/ل) عند درجة (٢٠ °م)، وإلى (٧,٦ مغ/ل) عند درجة (٣٠ °م). وفي الماء المالح، فإن النسبة المئوية للتشبع بالأكسجين تكون أخفض مما هي عليه في الماء العذب عند درجة الحرارة نفسها، فالماء البحري المالح المشبع بالأكسجين يحتوي على (٧ مغ/ل) عند درجة حرارة (٢٠ °م). ويمكن أن يبلغ الماء في بعض الحالات مرحلة فوق التشبع بالأكسجين، حيث يمكن أن تصل النسبة المئوية للتشبع إلى (٢٠٠%)، كما يحدث ذلك في الجداول المائية المضطربة، في ظل سيادة جو مشمس برّاق، ومعدل تمثيل ضوئي مرتفع ينتج عنه تهوية إضافية للماء، والجدول (٤٨) يبين تشبع المياه بالأكسجين المنحل (مغ/ل) في درجات حرارة مختلفة (درجة مئوية).

جدول (٤٨) تشبع المياه بالأكسجين المنحل (مع/ل) في درجات حرارة مختلفة

درجة م	٠	٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩
٠	١٤,١٦	١٤,١٢	١٤,٠٨	١٤,٠٤	١٤,٠٠	١٣,٩٧	١٣,٩٣	١٣,٨٩	١٣,٨٥	١٣,٨١
١	١٣,٧٧	١٣,٧٤	١٣,٧٠	١٣,٦٦	١٣,٦٦	١٣,٥٩	١٣,٥٥	١٣,٥١	١٣,٤٨	١٣,٤٤
٢	١٣,٤٠	١٣,٣٧	١٣,٣٣	١٣,٣٠	١٣,٢٦	١٣,٢٢	١٣,١٩	١٣,١٥	١٣,١٢	١٣,٠٨
٣	١٣,٠٥	١٣,٠١	١٢,٩٨	١٢,٩٥	١٢,٩١	١٢,٨٧	١٢,٨٤	١٢,٨١	١٢,٧٧	١٢,٧٤
٤	١٢,٧٠	١٢,٦٧	١٢,٦٤	١٢,٦٠	١٢,٥٧	١٢,٥٤	١٢,٥١	١٢,٤٧	١٢,٤٤	١٢,٤١
٥	١٢,٣٧	١٢,٣٤	١٢,٣١	١٢,٢٨	١٢,٢٥	١٢,٢٢	١٢,١٨	١٢,١٥	١٢,١٢	١٢,٠٩
٦	١٢,٠٦	١٢,٠٣	١٢,٠٠	١١,٩٧	١١,٩٤	١١,٩١	١١,٨٨	١١,٨٥	١١,٨٢	١١,٧٩
٧	١١,٧٦	١١,٧٣	١١٧٠	١١,٦٧	١١,٦٤	١١,٦١	١١,٥٨	١١,٥٥	١١,٥٢	١١,٥٠
٨	١١,٤٧	١١,٤٤	١١,٤١	١١,٣٨	١١,٣٦	١١,٣٣	١١,٣٠	١١,٢٧	١١,٢٥	١١,٢٢
٩	١١,١٩	١١,١٦	١١,١٤	١١,١١	١١,٠٨	١١,٠٦	١١,٠٣	١١,٠	١٠,٩٨	١٠,٩٥
١٠	١٠,٩٢	١٠,٩٠	١٠,٨٧	١٠,٨٥	١٠,٨٢	١٠,٨٠	١٠,٧٧	١٠,٧٥	١٠,٧٢	١٠,٧٠
١١	١٠,٦٧	١٠,٦٥	١٠,٦٢	١٠,٦٠	١٠,٥٧	١٠,٥٥	١٠,٥٢	١٠,٥٠	١٠,٤٨	١٠,٤٥
١٢	١٠,٤٣	١٠,٤٠	٤٠,٣٨	١٠,٣٦	١٠,٣٤	١٠,٣٠	١٠,٢٩	١٠,٢٧	١٠,٢٤	١٠,٢٢
١٣	١٠,٢٠	١٠,١٧	١٠,١٥	١٠,١٣	١٠,١١	١٠,٠٩	١٠,٠٦	١٠,٠٤	١٠,٠٢	١٠,٠٠
١٤	٩,٩٨	٩,٩٥	٩,٩٣	٩,٩١	٩,٨٩	٩,٨٧	٩,٨٥	٩,٨٣	٩,٨١	٩,٧٨
١٥	٩,٧٦	٩,٧٤	٩,٧٢	٩,٧٠	٩,٦٨	٩,٦٦	٩,٦٤	٩,٦٢	٩,٦٠	٩,٥٨
١٦	٩,٥٦	٩,٥٤	٩,٥٢	٩,٥٠	٩,٤٨	٩,٤٦	٩,٤٥	٩,٤٣	٩,٤١	٩,٣٩
١٧	٩,٣٧	٩,٣٥	٩,٣٣	٩,٣١	٩,٣٠	٩,٢٨	٩,٢٦	٩,٢٤	٩,٢٢	٩,٢٠
١٨	٩,١٨	٩,١٧	٩,١٥	٩,١٣	٩,١٢	٩,١٠	٩,٠٨	٩,٠٦	٩,٠٤	٩,٠٣
١٩	٩,٠١	٨,٩٩	٨,٩٨	٨,٩٦	٩,٦٤	٩,٩٣	٨,٩١	٨,٨٩	٨,٨٨	٨,٨٦
٢٠	٨,٨٤	٨,٨٣	٨,٨١	٨,٧٩	٨,٧٨	٨,٧٦	٨,٧٥	٨,٧٥	٨,٧١	٨,٧٠
٢١	٨,٦٨	٨,٦٧	٨,٦٥	٨,٦٤	٨,٦٢	٨,٦١	٨,٥٩	٨,٥٨	٨,٥٦	٨,٥٥
٢٢	٨,٥٣	٨,٥٢	٨,٥٠	٨,٤٨	٨,٤٧	٨,٤٦	٨,٤٤	٨,٤٣	٨,٤١	٨,٤٠
٢٣	٨,٣٨	٨,٣٧	٨,٣٦	٨,٣٤	٨,٣٣	٨,٣٢	٨,٣٠	٨,٢٩	٨,٢٧	٨,٢٦
٢٤	٨,٢٥	٨,٢٣	٨,٢٢	٨,٢١	٨,١٩	٨,١٨	٨,١٧	٨,١٥	٨,١٤	٨,١٣

درجة م	٠	٠,١	٠,٢	٠,٣	٠,٤	٠,٥	٠,٦	٠,٧	٠,٨	٠,٩
٢٥	٨,١١	٨,١٠	٨,٠٩	٨,٠٧	٨,٠٦	٨,٠٥	٨,٠٤	٨,٠٢	٨,٠١	٨,٠٠
٢٦	٧,٩٩	٧,٩٧	٧,٩٦	٧,٩٥	٧,٩٤	٧,٩٢	٧,٩١	٧,٩٠	٧,٨٩	٧,٨٨
٢٧	٧,٨٦	٧,٨٥	٧,٨٤	٧,٨٣	٧,٨٢	٧,٨١	٧,٧٩	٧,٧٨	٧,٧٧	٧,٧٦
٢٨	٧,٧٥	٧,٧٤	٧,٧٢	٧,٧١	٧,٧٠	٧,٦٩	٧,٦٨	٧,٦٧	٧,٦٦	٧,٦٥
٢٩	٧,٦٤	٧,٦٢	٧,٦١	٧,٦١	٧,٥٩	٧,٥٨	٧,٥٧	٧,٥٦	٧,٥٥	٧,٥٤
٣٠	٧,٥٣	٧,٥٢	٧,٥١	٧,٥٠	٧,٤٨	٧,٤٧	٧,٤٦	٧,٤٥	٧,٤٤	٧,٤٢

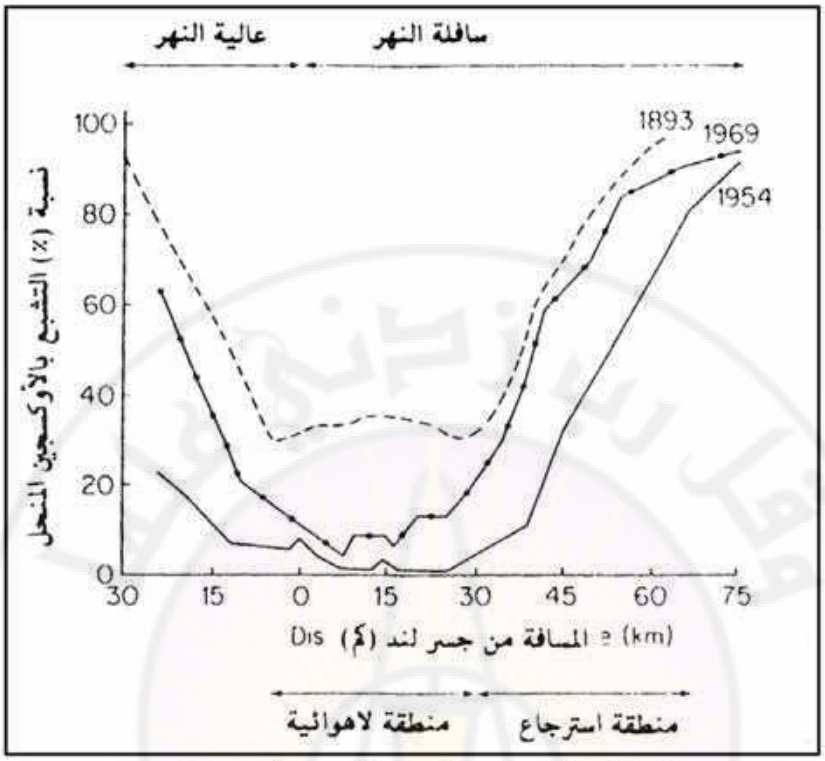
المصدر: سامح غرايبة، يحيى الفرحان، ص٢٠٦.

وعموماً، فإن الماء الملوث، يمكن أن يكون خالياً من الأكسجين، مما يجعل العديد من الأحياء المائية غير قادرة على الوجود والعيش فيه. كما أن المجاري المائية والبرك غير الملوثة لا تكون مشبعة بالأكسجين إلا في ساعات النهار عندما تكون النباتات مشغولة بعملية التمثيل الضوئي، مطلقة الأكسجين الذي يرفع من النسبة، بينما في الليل عندما تكون النباتات والحيوانات في حالة تمثيل للأكسجين، فإن نسبته قد تنخفض بدرجة ملحوظة.

٣ - ٢ - ٢ - الأكسجين المستهلك حيوياً (Biological Oxygen Demand):

تعد نسبة تشبع الماء بالأكسجين عاملاً حيوياً مهماً، تتجلى آثاره واضحة في دعم النظام البيئي للأحياء البحرية، وفي التأثيرات الناتجة عن التلوث، فعندما تتصرف المخلفات العضوية إلى مياه الأنهار، فإن بعضاً منها يتحلل ويتأكسد بفعل الكائنات الحية الدقيقة الموجودة، مستهلكة بذلك جزءاً من الأكسجين المنحل في الماء، وهذا ينجم عنه انخفاض في كمية الأكسجين المنحلة، وفي نسبة التشبع، مما يؤدي إلى نقص الأكسجين. إذ يشير الأكسجين المستهلك حيوياً، إلى كمية الأكسجين المستهلكة بفعل الكائنات الحية الدقيقة المفككة والمحللة هوائياً للمخلفات العضوية المتصرفة

إلى المياه (العالقة المذابة والمترسبة) بطرق الصرف المختلفة. وإذا ما زادت كمية الأكسجين المستهلك حيوياً (BOD)، على معدل الأكسدة الإرجاعية من الجو، فسيستمر عندئذ النقص في الأكسجين المائي، مما يزيد من ظروف تلوث الماء، واضطراب النظام البيئي للأحياء المائية، وإذا لم تدخل إلى الماء أية مادة عضوية زيادة، فإن المادة الملوثة الموجودة ستتأكسد بالتدريج جميعها، ولتأخذ فيما بعد الأكسدة الإرجاعية فعلها، بحيث يعاود النهر التخلص من التلوث، ويبدو مما تقدم ذكره سابقاً واضحاً في الشكل (٨٣)، الذي يظهر فيه منحنى تقوس الأكسجين للأسفل، إذ يبدو التقوس للأسفل في نسبة التشبع بالأكسجين نتيجة التلوث الشديد لنهر التايمز، وامتداد ذلك مسافة تقارب من (٨٠كم) في عام (١٩٥٤)، إذ إن درجة تلوث مياه هذا النهر على طرفي جسر لندن أخذت تزداد باضطراد خلال الخمسين سنة الأولى من القرن العشرين، كما أظهر المسح الذي جرى في عامي (١٩٥٧ – ١٩٥٨) أن الحياة السمكية مختفية من النهر في منطقة المجرى المحصورة ما بين ريتشموند (٢٤ كم من جسر لندن تجاه أعالي النهر) وغرفسند Gravesend (٤٠كم من جسر لندن تجاه أسفل النهر). وفي أواخر الخمسينيات من القرن العشرين، وضعت مصلحة مياه لندن برنامجاً لتحسين نوعية المياه، وتبدو نتائج ذلك واضحة في منحنى عام (١٩٦٩) الشكل السابق. وفي عامي (١٩٦٧ – ١٩٦٨م) تم الكشف عن وجود (٢٤نوعاً) من السمك في منطقة التلوث السابقة، وفي عام (١٩٧٧م) بلغ عدد أنواع السمك الموجودة (٩١) نوعاً.



الشكل (٨٣) منحنيات تقوس الأكسجين في نهر التايمز

ونظراً لأهمية الأكسجين المستهلك حيوياً، لحاجة الكائنات الحية الدقيقة، لتتمكن من القيام بعملها في تفكيك المواد العضوية وتحللها وأكسدتها. وحيث إن كمية الأكسجين المستهلك تتأثر بعوامل كثيرة، منها درجة حرارة الماء وغيرها، فقد اتفق على اختبار قياسي لمعرفة كمية الأكسجين المستهلك حيوياً، بعد خمسة أيام وعند درجة حرارة (٢٠م) وفي الظلام[1]، وتسمى عندها (BOD_5^{20}).

(1) هذا الاختبار من الاختبارات المهمة، باعتباره طريقة لقياس تركيز المواد العضوية، إذ بإجرائه تقدر كمية الأكسجين اللازمة لنشاط البكتيريا في أكسدة المواد العضوية الموجودة في المياه خلال فترة خمسة أيام وتحت ظروف معينة، ويجري الاختبار بتمديد العينة بكمية محدودة من المياه المهواة المحتوية على تركيز للأكسجين معروف، ثم قياس تركيز الأكسجين في الخليط في بداية المدة ونهايتها، ومن ثم حساب كمية الأكسجين المستهلكة خلال هذه الفترة.

ومن الممكن التعبير بيانياً عن العلاقة ما بين التـ شبع بالأكـ سجين، والأكسجين المستهلك حيوياً، شكل (٨٤)، بدءاً من منطقة التقاء مـ صرف المخلفات في النهر، حيث يظهر التناقص السريع فـ ي كميـ ة الأكـ سجين المنحلة على مقربة من منطقة تصريف المخلفات، يتبعها تزايد تدريجي مع تزايد الزمن بعد التصريف، لتصل إلى مستوى الأكسجين المنحل الأصلي في مياه غير ملوثة.

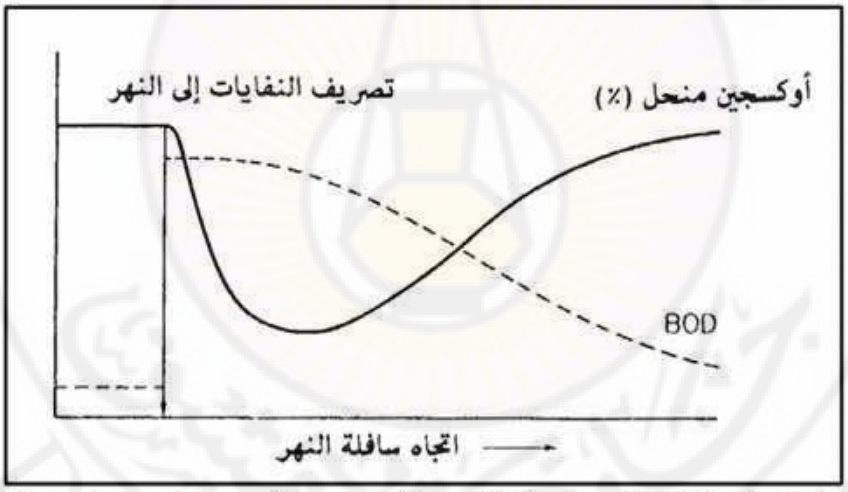
وتشكل كمية الأكسجين المستهلك حيوياً مؤشراً دالاً على درجة تلوث المياه بالملوثات العضوية، فمياه الشرب يجب أن تكون كميـ ة الأكـ سجين المستهلك حيوياً فيها معدومة (صفر / مغ/ل). أما في المياه ذات النوعيـ ة المقبولة فتتراوح كمية الأكسجين المستهلك بين (١ – ٨ مغ/ل)، ولتتراوح في المياه شديدة التلوث بين (٢٠٠ – ٥٠٠ مغ/ل).

وتختلف كمية الأكسجين المستهلكة حيوياً باختلاف: نوعيـ ة وكميـ ة الكائنات الحية الدقيقة في المياه، ونوعية المـ واد العـ ضوية فـ ي الميـ اه المعرضة للتحلل، وكمية العناصر الغذائية، ونسبة الكربون للآزوت، وكمية الأكسجين المذابة، وكذلك درجة حرارة المياه ورقمها الهيدروجيني الـ ذي يفضل أن يكون بين (٦ – ٨)، بالإضافة إلى طول فترة التحلل، ومـ ا إذا كانت المياه تحتوي على مواد سامة معيقة لعملية التحلل.

ولا يقتصر استهلاك الأكسجين في المياه على تحلل وأكسدة المادة العضوية، وإنما يستهلك أيضاً في الأكسدة الكيميائية (Chemical Oxygen Demand)، وفي أكسدة المواد غير العضوية. وتزيد كميـ ة الأكـ سجين المستهلك كيميائياً (COD) في العديد من المياه علـ ى تلـ ك المـ ستهلكة حيوياً.

٣ - ٢ - ٣ - التفكك الحيوي (Biodegradation):

تتصف المادة العضوية بقابليتها للتفكك الحيوي، إذ إنها تتفكك دائماً بفعل الكائنات الحية الدقيقة، تلك الكائنات التي توجد بصورة تجمعات مختلفة من البكتيريا، والفطور، والبروتوزوا، وتبدو مرئية في المياه الشديدة التلوث بلون أبيض، أصفر، أحمر وردي، أو بصورة تجمعات شرائحية بنية، كما في فطريات المجارير. وإذا كانت الكائنات الحية الدقيقة، يمكن أن توصف على أنها مركبات عضوية ملوثة للماء، لوفرة نموها، وتغذيتها، فإنها تعمل مع ذلك أيضاً على إنقاص كمية المواد العضوية الملوثة للماء.



الشكل رقم (٨٤) العلاقة بين نسبة التشبع بالأكسجين، والأكسجين الحيوي المستهلك في مجرى مائي

وهناك نموذجان من عمليات الاستقلاب (Metabolism)، تعتمد على ما إذا كانت هذه العملية أو تلك تتطلب لقيامها أكسجيناً منحلاً، أم لا تتطلب. فالكائنات الحية الدقيقة الهوائية تستعمل الأكسجين للقيام بتفاعلات الأكسدة على النحو التالي:

١ – الكربوهيدرات، الفينولات... إلخ، تتأكسد متحولة إلى ثاني أكسيد الكربون وماء.

فينول

$$C_6H_5OH + 7O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 3H_2O$$

ميتان

$$CH_4 + 2O_2 \Rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

الإيتلين

$$C_2H_4 + 3O_2 \Rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$$

٢ – مركبات الآزوت العضوية، تتأكسد متحولة إلى ثاني أكسيد الكربون، ماء، أمينات، ونشادر.

٣ – مركبات الكبريت العضوية، تتأكسد متحولة إلى كبريتيد.

٤ – مركبات الفوسفور العضوية، تتأكسد متحولة إلى فوسفات.

وبعض النواتج الأولية المتشكلة تستمر في تفاعلها، كمثال: البكتيريا في دورة الآزوت، تحول النشادر (NO_3) إلى نتريتات (NH_3) ونترات (NO_2)، وبكتيريا الكبريت تحول الكبريتيد إلى كبريتات، وجميع تلك التفاعلات تتطلب الأكسجين الضروري لإتمامها، ولذا فإن التفكك الحيوي سينقص بسرعة من كمية الأكسجين المنحل، إلى أن يستهلك معظم الأكسجين، كما يحدث في المياه شديدة التلوث.

وقد ينعدم في المياه شديدة التلوث الأكسجين المنحل كلياً، أو أنه يوجد منحلاً بكميات قليلة جداً، وفي مثل هذه الظروف، فإن الكائنات الحية الدقيقة اللاهوائية فقط هي التي تستطيع الوجود والعيش، والنشاط، للقيام بسلسلة من تفاعلات التفكك الحيوي المختلفة، كما هو مبين أدناه:

١ – تحول الكربوهيدرات إلى ميتان.

٢ – تتحول مركبات الكبريت العضوية والكبريتات إلى كبريتيد.

٣ – تتحول مركبات الفوسفور العضوية إلى فوسفين.

٤ – تتحول مركبات الآزوت العضوية إلى نترات ومن ثم إلى نشادر.

فالبرك، والجداول، والأنهار، ذات المياه شديدة التلوث، غالباً ما تكون ذات رائحة كريهة جداً بسبب توافر كبريتيد الهيدروجين (H_2S)، ويمكن أن تظهر فيها ترسبات سوداء من كبريتيد الحديد، وتجمعات كثيفة من فطريات المجارير.

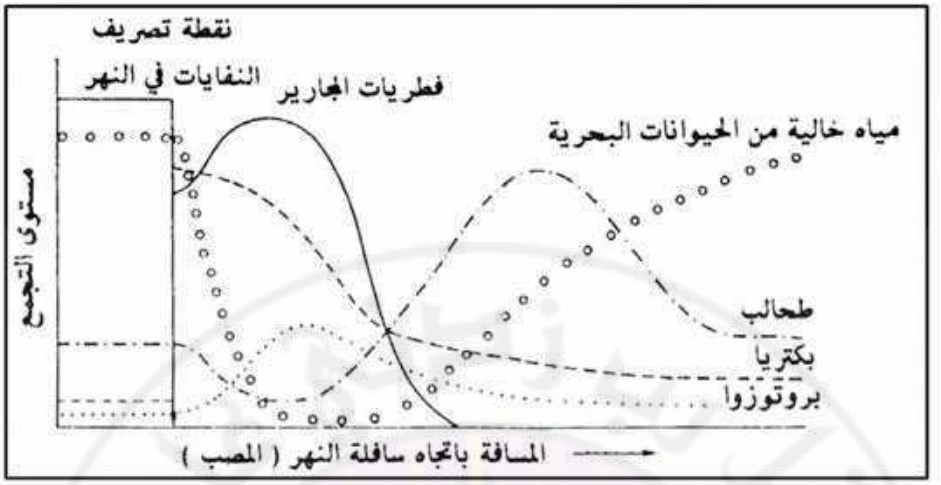
إن طبيعة التفكك الحيوي الذي يحدث، يتأثر أيضاً بكمية المياه المصرفة الملوثة، ونوعيتها، فإذا احتوت الملوثات على مواد سامة، كالمعادن الثقيلة (الرصاص، الزئبق، الكادميوم... إلخ)، والسيانيدات (Cyanides) والكبريتيدات، فإن الكائنات الحية الدقيقة الهوائية تموت، حتى في حال توافر أكسجين منحل في الماء بشكل كاف، فبقعة سطحية من زيت البترول على سطح الماء تمنع من حدوث التشبع بالأكسجين، لكونها تشكل طبقة عازلة تمنع التبادل الغازي بين الهواء والماء، بالإضافة إلى التفكك البكتيري لهيدروكربونات البترول، مما ينتج عن ذلك تدن سريع في كمية الأكسجين المنحلة.

تحدث عملية التفكك الحيوي بشكل مستمر في المياه الطبيعية كلها، وتلعب دوراً مهماً في المحافظة على الدورات الطبيعية المتوازنة ضمن النظام البيئي للأحياء المائية. وعندما تدخل النفايات الملوثة إلى مياه النهر، تتغير عندئذ شروط التوازن البيئي، فباتجاه مصب النهر (مع اتجاه التيار) بدءاً من نقطة تصريف النفايات في النهر، يتزايد معدل التفكك الحيوي مسبباً في انخفاض كمية الأكسجين المنحل في الماء، ونقص في الأكسجين

المستهلك، انظر الشكل (٨٤). ويعتمد حجم تلك التغيرات بصورة كبيرة على الكمية الإجمالية للمادة العضوية في النهر، والأمثلة الثلاثة التالية توضح ذلك:

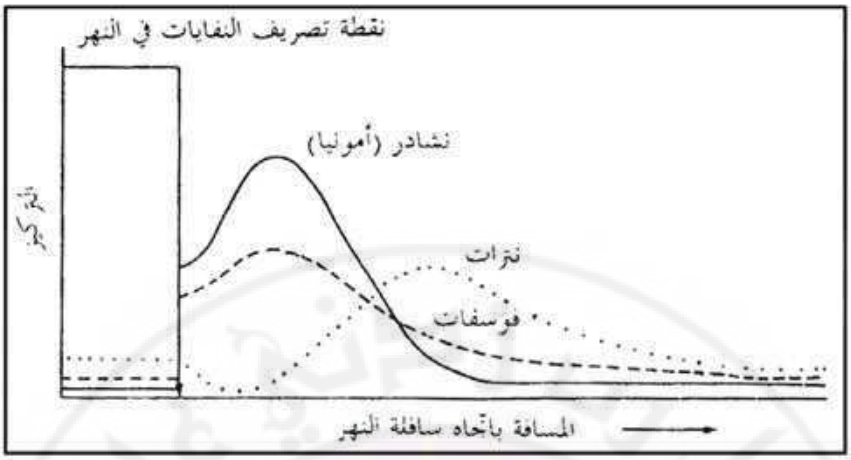
١ - **المثال الأول:** إذا كانت كمية المادة العضوية قليلة، فإن النقص بالأكسجين سيتلاشى بسرعة، بفعل إعادة تولد الأكسجين السطحي، ويبدو الماء بهذه الحالة وكأنه يمتص التلوث، مما يجعل التلوث بسيطاً جداً، كما أن التغير الوقتي في النظام البيئي لمسافة قصيرة جهة مصب النهر، يعاد إصلاحها بسرعة.

٢ - **المثال الثاني:** وفي حال وجود تصريف عضوي أكبر، ينتج عنه تغير بيئي أكبر. فباتجاه جريان النهر من نقطة التصريف يتناقص الأكسجين بسرعة، مسبباً حدوث اضطراب شديد في النظام البيئي، والتغيرات التي تحدث في مجتمعات الأنواع الحية، تكون معقدة ومتبدلة. وتظهر التأثيرات العامة لنهر متوسط التلوث من الصنف الثالث، موضحة في الشكل (٨٥)، فعلى مقربة من نقطة تصريف المخلفات، تتزايد التجمعات البكتيرية بسرعة، وينشط نمو فطريات المجارير، كما تتزايد أعداد أنواع البروتوزوا التي تتغذى على البكتيريا. غير أن النقص في الأكسجين، يسبب تناقص في الطحالب، والحيوانات البحرية (Fauna)، فالسمك ذو حساسية متميزة لتركيز الأكسجين المنحل، وغالباً ما يتلاشى بانخفاض نسبة تركيز الأكسجين المنحل، في حين تستمر أنواع من اللافقريات ضمن تركيزات أكسجين منخفضة، كما في: ديدان الحمأة Sludge Worms (Tubificidae)، والديدان الحمراء (Chironomus).



الشكل (٨٥) تأثيرات التلوث العضوي على الحياة البيولوجية في مياه نهر

وعند المستوى الأخفض من منحنى هبوط الأكسجين، يحدث تفكك حيوي أعظمي، وتصبح الحياة الحيوانية والنباتية قليلة جداً بالمقارنة مع الأجزاء غير الملوثة من النهر. وبالاتجاه أكثر نحو المصب، تخف بصورة تدريجية تأثيرات التلوث، فبكتيريا التلوث الحيوي، ومستعمرات فطر المجارير تتناقص لانخفاض المصدر العضوي لتغذيتها، ومن الممكن أن تطلق عملية التفكك الحيوي أملاحاً غير عضوية، كما هو مبين في الشكل (٨٦)، لتزداد بذلك كمية النترات والفوسفات، وينجم عن ذلك ازدياد في نمو الطحالب خلال مسافة قصيرة على طول النهر، كما أن تولد الأكسجين من جديد في الماء يحسن من ظروف التهوية، ويسمح للفلورا النباتية والفونا الحيوانية من التطور ببطء والعودة إلى الظهور.



الشكل رقم (٨٦) تأثيرات التلوث العضوي على المغذيات في مياه نهر

٣ – **المثال الثالث:** لنهر من الصنف الرابع ذي درجة تلويث عالية جداً، وهنا فإن معدل التفكك الحيوي يكون مرتفعاً بحيث يكفي ليعمل على تبدد كامل الأكسجين المنحل، وليخلق بذلك ظروفاً غير هوائية فوق جزء من مجرى النهر. وبناء على ذلك، يوجد انعدام كامل في البكتريا الهوائية، والطحالب، والنباتات الطافية، والثابتة، والأسماك، وبعض الحيوانات اللافقرية في المنطقة اللاهوائية، والتحرر من التأثيرات الشديدة لهذا التلوث يكون بطيئاً جداً، ويمتد فوق مسافة أطول من النهر.

الفصل الرابع

آثار الملوثات المائية

٤ – ١ – التأثيرات الفيزيائية.

٤ – ١ – ١ – تأثير المواد الصلبة.

٤ – ١ – ٢ – تأثير مياه التبريد.

٤ – ١ – ٣ – المواد الزيتية.

٤ – ٢ – تأثيرات الأكسدة.

٤ – ٣ – التأثيرات السمية الكيميائية.

٤ – ٤ – تأثيرات المغذيات الكيميائية.

٤ – ٥ – تأثير الكائنات الحية الدقيقة.

٤ – ٦ – التأثير الإشعاعي.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

من الممكن تصنيف آثار الملوثات المائية في ست مجموعات رئيسية، هي:

١ – التأثيرات الفيزيائية، المتمثلة في تأثير الجسيمات الصلبة المعلقة التي تسبب تعكر الماء، ومياه التبريد التي ترفع من درجة حرارة الماء، وتأثير شرائح السطح الزيتية (البترولية) التي تعيق من تجدد الأكسجين.

٢ – تأثيرات الأكسدة، الناتجة عن الفعل البكتيري، أو الأكسدة الكيميائية للمواد العضوية وغير العضوية، وكلا نوعي الأكسدة يعمل على خفض كمية الأكسجين المنحل في الماء.

٣ – التأثيرات الكيميائية السمية، الناتجة عن بعض المواد ذات الآثار السامة العرضية، أو التراكمية، في النبات والحيوان، والإنسان.

٤ – تأثيرات التغذية الكيميائية، الناتجة من التركيزات المرتفعة للنترات، والفوسفات.

٥ – التأثيرات المرضية، بسبب الكائنات الحية الدقيقة، حيث ينجم عن وجود البكتريا، والفيروسات بأعداد وفيرة، مخاطر صحية.

٦ – التأثيرات الإشعاعية الذرية، بسبب تراكم المواد النشطة إشعاعياً في الكائنات الحية المغذية التي تنتقل عبر السلسلة الغذائية حتى تصل إلى جسم الإنسان.

وفيما يلي عرض مفصل لكل من التأثيرات السابقة:

٤ - ١ - التأثيرات الفيزيائية:

يمكن أن نصنف التأثيرات الفيزيائية، حسب طبيعة المواد الملوثة، في الآتي:

٤ - ١ - ١ - تأثير المواد الصلبة:

تتصرف إلى المياه العذبة والساحلية البحرية نماذج متنوعة من المواد الصلبة المعلقة، التي إما أن تكون مخلفات معدنية خاملة كالغضار الصيني، أو بقايا المناجم، أو تكون بصورة جسيمات عضوية فردية دقيقة غير قابلة للانحلال في الماء، ومثل هذه الجسيمات العضوية تخضع إلى تفكك حيوي بطيء، لتسبب نقصاً في الأكسجين المنحل في الماء. أما الجسيمات الصلبة الخاملة، فتختلف في أحجامها وكثافتها، وهي إما أن تستقر خارجاً، أو تبقى معلقة تبعاً لصفاتها ودرجة اضطراب الماء، ويمكن للجزيئات المستقرة أن تتراكم ببطء على أوراق النبات، لتترسب على قيعان الأنهار، وينجم عن الطبقات المستقرة من تلك الجسيمات نقص في امتصاص الطاقة الشمسية من قبل النباتات، وانخفاض في معدل التمثيل الضوئي، ومن ثَمَّ نقص في الأكسجين عند قاع النهر، وهذا ما يعيق، أو حتى يمنع، تطور بيوض سمك الترويت والسلمون، ويحول دون إمكانية بقاء الحيوانات القاعية اللافقرية على قيد الحياة.

أما الجسيمات الدقيقة المعلقة، فتسبب تعكر الماء، وتقلل من قدرة الضوء على اختراقه، ومن عملية التمثيل الضوئي أيضاً، وتحد من نمو النباتات، كما يعمل التعكر على خفض الرؤية في الماء، مما يحد من إمكانية العديد من الحيوانات على التقاط طعامها، فالأسماك وبعض

الحيوانات اللافقرية تنخفض قدرتها التنفسية، نتيجة لأن سطوح الخياشيم السمكية تصبح موحلة ومسدودة بالمادة المعلقة.

إن التأثيرات الفيزيائية السابقة تحدث خللاً في توازن النظام البيئي، حيث تقل أعداد الحيوانات، وتتأثر السلاسل الغذائية. ولقد تمكنت الدراسات التي أجريت على اختبار حدود التأثيرات لتلك الجسيمات المعلقة، من أن تضع حدود أمان لذلك، إذ إنها بينت أن الحد المسموح تواجده من الجسيمات الصلبة المعلقة هو بحدود (٣٠ غ/م^{٣}).

٤ - ١ - ٢ - تأثير مياه التبريد:

هي المياه الناتجة من محطات توليد الطاقة الكهربائية، ومن بعض المصانع، والتي تصرف عادة بصورة مباشرة إلى الأنهار، وتخرج هذه المياه بدرجة حرارة مرتفعة، مسببة في ارتفاع درجة حرارة مياه الأنهار التي تصب فيها، متولداً عن ذلك ما يعرف بالتلوث الحراري، وتتوقف درجة التأثيرات الحيوية للتلوث الحراري على مدى ارتفاع درجة حرارة الماء. فإذا كانت معدلات الاستقلاب في العمليات الفيزيولوجية تتضاعف مع كل ارتفاع حراري مقداره (١٠ ْم)، مع اختلاف نسبي في هذا المعدل تبعاً لاختلاف الأنواع الحية، فإن لبعض الحيوانات المائية حدوداً حرارية معينة لا تستطيع تجاوزها والعيش خارجها، فسمك التروت لا يتحمل درجة حرارة تزيد على (٢٥ ْم)، كما أن بيوضه لا تفقس في ماء درجة حرارتها تزيد على (١٤ ْم)، أما سمك الكارب (Carp) فيستطيع المقاومة والاستمرار حتى درجة تصل إلى (٣٥ ْم)، وتقل أعداد معظم حيوانات المياه العذبة بارتفاع درجة حرارتها، وأنواع قليلة فقط هي التي تستطيع الوجود في مياه تزيد درجة حرارتها على (٤٠ ْم).

وتكون النباتات أقل حساسية لتغيرات درجة الحرارة من الحيوانات المائية، غير أن درجات الحرارة المرتفعة تزيد من معدل العمليات الفيزيولوجية، ومن سرعة النمو، وفوق درجة حرارة (٣٥ م) تتجه الطحالب الخضراء إلى التناقص، في حين تستمر الطحالب الخضراء المزرقة، وفطريات المجارير بالتزايد.

إن التأثير العام للتلوث الحراري، لا يعتمد فقط على حجم المياه المصرفة ودرجة حرارتها، وإنما يعتمد أيضاً على معدل تدفق مياه الأنهار، ودرجة تلوثها بالملوثات الأخرى. ويكون تأثير التلوث الحراري في الصيف أكبر، في ظل درجة حرارة للهواء تزيد على (٢١ م)، حيث يقل حجم الماء المتدفق في النهر بطيء الحركة. ويترتب على الارتفاع الناتج في درجة حرارة الماء، انخفاض في النسبة المئوية للتشبع بالأكسجين، وتسريع عملية التفكك الحيوي للمادة العضوية الملوثة، كما أن ارتفاع درجة الحرارة يزيد أيضاً من سمية بعض الملوثات الكيميائية، وبصورة عامة فإنه من المفضل ألاَّ تزيد درجة حرارة مياه التبريد المصرفة إلى المياه العذبة على (٢٥ م) وعلى (٢٠ م) بالنسبة للمصرفة إلى مياه البحر.

ويمكن تحديد أهم الآثار الناجمة عن التلوث الحراري للمياه، بالآتي:

١ - **نقص كمية الأكسجين المنحلة في الماء:** عندما تتسخن المياه فإن قدرتها على حلّ الأكسجين تتناقص، وعند درجة حرارة صفر مئوية يكون الماء المشبع بالأكسجين المنحل يحتوي على (١٤,٦) جزء من مليون من الأكسجين، لتهبط كمية الأكسجين المنحلة إلى (٦,٦) جزء من مليون في درجة حرارة للماء مقدارها (٤٠ م). ولسوء الحظ، فإن هذا النقص في

الأكسجين المنحل يظهر في الوقت نفسه الذي تزداد فيه حاجة الأحياء المائية للأكسجين (الأسماك، القشريات... وغير ذلك). مثال: يحتاج سمك الكارب إلى (٠,٥) جزء من مليون من الأكسجين في درجة حرارة (٠,٦ مْ)، ولكنه يحتاج على الأقل إلى (١,٥) جزء من مليون أوكسجين منحل عند درجة حرارة (٤٥ مْ) ليحافظ على بقائه واستمراره. وبصورة عامة، فإن أسماك المياه الباردة كسمك الترويت (Trout) والسلمون تتطلب نحو (٦) جزء من مليون للبقاء، ولا يمكنها تحمل درجات الحرارة المرتفعة التي تسود عند نقط تصريف مياه التبريد الساخنة.

٢ - **الحد من تناسل الأحياء المائية:** تتصف الأسماك والحيوانات الأخرى ذات الدم البارد بحساسيتها الكبيرة للتغيرات في حرارة الماء، وتعد درجة الحرارة نحو (٩ مْ) المثالية لتفريخ أحد أنواع الأسماك المياه الباردة كالترويت، بينما درجة الحرارة المناسبة لتفريخ القاروس كبير الفم الأسود هي (٢٦,٧ مْ). ولا تؤدي الحرارة المرتفعة فقط إلى منع التفريخ، وإنما تسبب تدميراً للبيض.

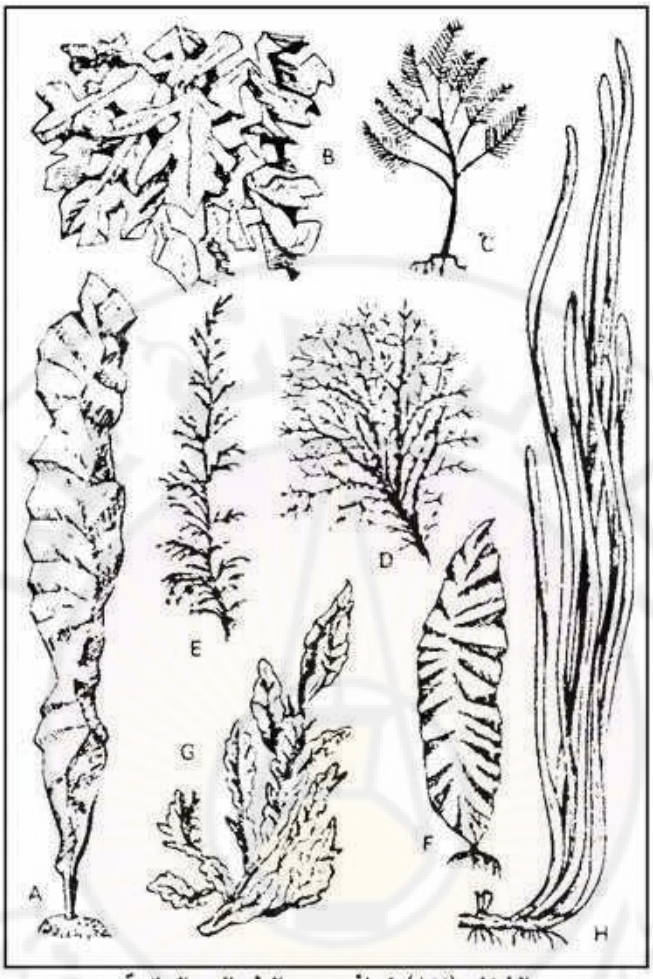
٣ - **الموت المباشر:** تؤدي سخونة المياه إلى هلاك العديد من الحيوانات المائية، فسمك ترويت البحريات يهلك إذا ما تجاوزت درجة حرارة المياه (١٠ مْ)، وهناك أسماك أخرى تتحمل درجة الحرارة حتى (٣٥ مْ) قبل أن تموت. وبما أن مياه التبريد الساخنة المصرفة إلى الأنهار، يمكنها أن ترفع درجة حرارة مياهه نحو (١٢ مْ) زيادة عن حرارتها الأصلية، لذا كان على أسماك المياه الهجرة لتحافظ على نفسها.

٤ - **الآثار العكسية على الطحالب:** إن لكل نوع من أنواع الطحالب الرئيسية الثلاثة (الدياتوم، والخضراء، والخضراء المزرقة) درجة

حرارة مياه مفضلة، وإن أكبر عدد وتنوع لأنواع الطحالب يكون في درجة حرارة (١٥ ْم) للدياتوم، و(٣٣ ْم) للطحالب الخضراء، و(٤٠ ْم) للطحالب الخضراء المزرقة، شكل (٨٧). والطحالب الأكثر أهمية التي تشكل الغذاء الرئيسي للأسماك والقشريات هي طحال المياه الباردة، أما الطحالب الخضراء المزرقة التي تنمو في المياه الدافئة فليست مرغوبة من الحيوانات المائية، كما أنها تطلق مواد سامة تسبب مشاكل متعددة. وهذا كله سينعكس على السلسلة الغذائية المائية، فمثلاً: يستطيع برغوث الماء تحمل درجة حرارة أقصاها (٣٥ ْم)، لكنه يموت جوعاً عند الحرارة تلك بسبب عدم إمكانية الدياتوم غذاءه من البقاء في درجة الحرارة المرتفعة، ومن ثم فإن الأسماك التي تتغذى ببراغيث الماء تعجز عن الاستمرار على قيد الحياة لعدم توفر الغذاء اللازم لها.

٥ - **تدمير الأحياء الدقيقة:** وذلك ضمن مياه التبريد المستخدمة، إما بواسطة الصدمة الحرارية أثناء مرورها ضمن أنابيب التكثيف، أو بواسطة الكلور الذي يوضع لقتل الأحياء الدقيقة التي يمكنها أن تشكل نمواً لزجاً على أنابيب التبريد. ويمكن أن تصل نسبة الموت في العوالق المائية (البلانكتونات) إلى نحو (٩٥%).

بالإضافة إلى ما تقدم، فإن لمياه التبريد تأثير على مياه الشرب، وهناك وسائل للتخفيف من مشكلة التلوث الحراري باستخدام أبراج التبريد.. وغيرها.



الشكل (٨٧) نماذج من الطحالب المائية

٤ – ١ – ٣ – المواد الزيتية:

تتمثل المواد الزيتية في الزيوت البترولية، والدهون والشحوم التي تدخل الأنهار ومصباتها من مصادر مختلفة، وهذه يمكن أن توجد ضمن الملوثات الصناعية، كما أنها تدخل الماء من محطات تكرير البترول، ومن الناقلات البحرية، أو وسائل نقل البترول البرية، بالإضافة إلى المواد البترولية المصرفة إلى مجارير المياه من عمليات تزييت الآلات وتشحيمها وغير ذلك. وتشكل الزيوت فوق سطح الماء شرائح ثخينة، تمنع من تبادل

الأكسجين مع الجو، مما يترتب عليه حدوث نقص في تشبع الماء بالأكسجين، وازدياد في تأثيرات التلوث العامة. وكثيراً ما ينجم عن شرائح البترول موت أعداد كبيرة من الطيور، كطيور السيكوتر، البطريق، الغلموت، البوفين (Puffin)، (Rozorbill)، والبط، التي تعيش على سطح الماء وتغطس فيه لتحصل على طعامها. ويمكن للمادة البترولية أن تدخل ضمن ريش الطيور، مقللة من درجة عزله الحراري، ومن قدرته على مقاومة البرد، لتعيق الطيور أيضاً من الطيران بحثاً عن طعامها. وإذا ما ابتلعت الطيور البترول ودخل إلى جسمها، فإنه سيحدث تأثيراً سمياً، يؤدي إلى موتها، وحادثة الناقلة البترولية توري كانون عام (١٩٦٧م)، مثال على ذلك، إذ نجم عنها موت أكثر من (١٠٠,٠٠٠) طير.

وسواء أكان انسكاب البترول في عرض البحر، أم على مقربة الشواطئ، بفعل حوادث الناقلات، أو محطات التكرير، فإن شرائح البترول الضخمة، ستتشتت متبعثرة إلى بقع أصغر، قد تندفع نحو الشواطئ بفعل الرياح وحركات المد، لتترسب هناك على الصخور والرمال، مما يؤثر على عمليات السياحة والاستجمام، والحياة المائية الشاطئية. فحيوانات الشواطئ، مثل؛ السلطعون، القريدس، بلح البحر (Mussel)، حنكليس (Winkles)، البطلينوس (Limpet)، والإوز البحري (Barnacles)، تبتلع الهيدروكربونات السامة، مؤثراً ذلك على طعامها، وجهازها التنفسي، مع ما يترافق بأضرار قد تبلغ حد الخطر على الحياة.

٤ - ٢ - تأثيرات الأكسدة:

هناك نموذجان من الأكسدة، الأول؛ أكسدة حيوية (أكسدة بكتيرية)، وتتم بفعل العمل البكتري على الملوثات العضوية، والثاني؛ أكسدة كيميائية

للملوثات الأخرى الموجودة في النفايات الصناعية. وينطوي كل من نموذج الأكسدة على استهلاك للأكسجين المنحل في الماء، بحيث يترتب عليه تزايد في الأكسجين الحيوي المستهلك، ونقص الأكسجين المنحل في مياه المجاري المائية.

ومن الأمثلة على الأكسدة البكتيرية (الحيوية)؛ أكسدة الكبريتيد وتحويله إلى كبريتات في دورة الكبريت، وأكسدة النشادر وتحويله إلى نتريت، ومن ثم إلى نترات في دورة النتروجين (الآزوت). وتبرز الأكسدة الكيميائية واضحة، عندما تتعدم البكتريا، أو تقل أعدادها بشكل لا يسمح بالأكسدة الحيوية، ففي حال تصريف مياه المناجم، وأكداس الخردة إلى المجاري المائية والأنهار، فإن تلك المياه المصرفة تحتوي عادة على كبريتات الحديد وكربونات هيدروجين الحديد، مما يترتب على تأكسد أملاح الحديد متحولة إلى هيدروكسيد الحديد، أو التراب الحديدي (المغرة)، التي تتوضع ككتل هلامية (جلاتينية) حمراء صدئية، وغالباً ما تكون تلك التوضعات مترافقة مع بكتريا ليفية، وإذا ما وجدت بكميات كبيرة، فإنها تسبب تسمماً للأحياء المائية. وبصورة عامة، فإن معظم تأثيرات الأكسدة، ناتجة عن الفعل البكتيري على النفايات العضوية المصرفة ضمن مياه المجارير المنزلية، والمصارف الصناعية.

٤ - ٣ - التأثيرات السمية الكيميائية:

تعد بعض المواد الكيميائية العضوية وغير العضوية سامة بالنسبة للنباتات والحيوانات. والإنسان. والسمية، صفة لأية مادة كيميائية قادرة على إحداث ضرر، أو تلف، أو موت للكائنات الحية. وتمتص المواد السامة وتدخل الأنسجة الحية من الماء الملوث، ويختلف تأثيرها باختلاف

نموذج المادة الكيميائية السامة، ودرجة تركيزها في الأنسجة، ومعدل التمثيل الغذائي في الأحياء.

وفي المياه التي تتعرض للتلوث بشكل متكرر، فإن الأحياء تتعرض إلى تركيزات منخفضة في فترات زمنية مختلفة، مترتباً على ذلك حدوث تراكم لتلك الملوثات في الأنسجة، وتأثيرات مختلفة، وإذا استمرت المادة الملوثة بالتراكم في الأنسجة، فإنها تصل أخيراً إلى تركيز مهلك، ومميت للكائن الحي. وبين التركيزات القاتلة والخطرة للملوثات السمية، هناك مستوى متوسط من التركيز السمي، الذي يحدث عندما يتزايد التركيز في الأنسجة، دون أن يصل ذلك إلى مستوى التأثير السمي القاتل. وهذا التركيز الحدي للسميات أو ما يعرف بالعتبة الحدية للمواد السامة (TLV)، يدل على التركيز الأعظمي للمواد السمية الذي إذا ما تعرض له الكائن الحي باستمرار لا يؤدي إلى انعكاسات خطرة عليه. وهذا المستوى الحدي الأعظمي من التركيز (العتبة الحدية) يستخدم كمقياس معياري للدرجة التي يبدأ عندها التأثير الخطر للملوثات، كما هو موضح في الجدول (٤٩)، وفق ما أقرته منظمة الصحة العالمية (W. H. O) عام (١٩٧١م).

جدول (٤٩) يبين القيم المعيارية العالمية للماء الصالح للاستخدامات المنزلية، وللشرب وفق تحديد منظمة الصحة العالمية عام (١٩٧١م)

المادة	الرمز	المستوى الأعظمي المسموح به (غ/م^3)	
		للاستعمال المنزلي	لماء الشرب
الزرنيخ	(As)*	–	٠,٠٥
الكالسيوم	(Ca)	٢٠٠,٠٠	–
الكادميوم	(Cd)*	–	٠,٠١
الكروميوم	(Cr)*	٠,٠٥	–
النحاس	(Cu)	١,٥	–
الحديد	(Fe)	١,٠	–

المادة	الرمز	المستوى الأعظمي المسموح به (غ/م^3)	
		للاستعمال المنزلي	لماء الشرب
الرصاص	(Pb)*	–	٠,١
مغنزيوم	(Mg)	١٥٠,٠	–
منغنيز	(Mn)	٠,٥	–
زئبق	(Hg)	–	٠,٠٠٠١
سيلينيوم	(Se)*	–	٠,٠١
زنك		١٥,٠	–
النشادر		–	٠,٥
منظفات متشردة سلبياً		١,٠	–
كلوريد	(Cl)	٦٠٠,٠	–
سيانيد	(CN)*	–	٠,٠٥
فلوريد عند درجة حرارة (١٠ – ١٢ م)		–	١,٧
زيت معدني		٠,٣	–
نترات	$(No_3)^+$	–	٤٥,٠
إجمالي الآزوت (عدا فينول*)	(NO_3)	–	١,٠
هيدروكربونات عطرية متعددة النوويات	(PAH)	–	٠,٢
كبريتات	(SO_4)	٤٠٠,٠	–
نوى مشعة – معظمه أشعة ألفا		–	٣ × ١٠$^{-١٢}$ كوري/ل
نوى مشعة – معظمه أشعة بيتا+		–	٣ × ١٠$^{-١١}$ كوري/ل
بكتيريا كوليفورم		–	ليس كثر من ١٠٠/١٠ سم^3
الأكسجين الحيوي المستهلك	(BOD)	–	٦
الأكسجين المنحل	COD	–	١٠
الرقم الهيدروجيني	(PH)	٦,٥ – ٩,٢	–
عسارة الماء (قساوته)	$CACO_3$	٥٠٠,٠٠	–
المواد الصلبة المنحلة		١٥٠٠,٠٠	–

* سمية عالية.

+ خطر على الصحة.

ويمكن أن نستعمل التأثيرات السمية المختلفة لتوضيح النتائج المترتبة عن الملوثات المصرفة إلى المجاري المائية. وبصورة دائمة، فإن مياه المجاري المائية بدءاً من نقطة التصريف باتجاه وجهة الجريان، تتدنى فيها نسبة الكائنات الحية، بل حتى لنجدها تنعدم أحياناً، مقارنة مع ما هو موجود من مجموعات حيوانية وفيرة في عكس مجرى التيار المائي بدءاً من نقطة التصريف، ومرد هذا الاختلاف إلى شدة تركيز المواد السمية في المياه الملوثة المصرفة، وقد يكون تركيز تلك المواد قاتلاً لبعض الأنواع الحيوانية، مع وجود أنواع تتمكن من مقاومة ذلك، لقدرة عملية الاستقلاب فيها على تحمل تركيزات عالية، ذلك أن التأثيرات السمية على الكائنات الحية تعتمد على درجة تركيز المواد السمية في الماء، وعملية الاستقلاب، والعتبة الحدية للأنواع الحية التي ليست واحدة في الأنواع الحية كافة.

ومن الممكن أن نصنف المواد الكيمياوية السامة في أربع مجموعات رئيسية:

أ – المعادن.

ب – الأملاح.

ج – المبيدات الكيماوية.

د – الأحماض والقلويات.

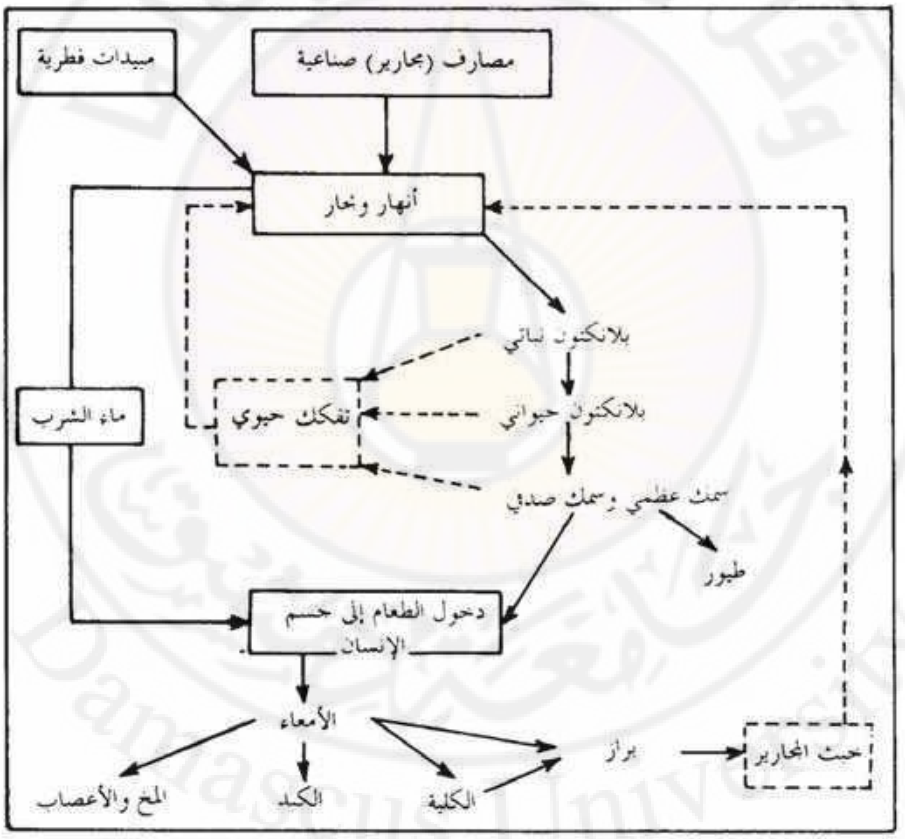
بالإضافة إلى مركبات عضوية أخرى، كالـ .:. Pcb_s، الفينول، والسيانيد (CN). وتعد هذه المواد الصادرة عن المصانع ذات سمية واضحة.

وغالباً ما تعرف **المعادن السمية**، بالمعادن الثقيلة، التي تشتمل على الحديد، والرصاص، والزئبق، والكادميوم، والزنك، والنحاس، والنيكل،

والزرنيخ. وتتطلب الكائنات الحية في عمليتي النمو العادي والاستقلاب كميات قليلة جداً من بعض المعادن، كالحديد، والنحاس، والنيكل، والزنك، غير أنه إذا ما زادت الكمية على العتبة الحدية، تحدث أضراراً تختلف باختلاف الأنواع الحيوانية والنباتية، ومثال على ذلك: إن مقدار (٠,٣ مغ/ل) من الزنك، (٠,٠٢ مغ/ل) من النحاس، و(٠,٣٣ مغ/ل) من الرصاص، تعدد مميتة لسمك أبو شوكة (Sticklebak). ويحدث تراجع في نمو النبات إذا ما زاد تركيز الزنك على (٧ مغ/ل)، بينما مقداره (٠,٥ مغ/ل) من النحاس، أو (٠,٠١ مغ/ل) من الزئبق يعد مميتاً بالنسبة للطحالب.

وتتصف بعض المجتمعات البشرية بسويات استهلاك مرتفعة من الطعام، لذا فإنها تبتلع سميات معدنية أكثر. وهناك أمثلة عدة عن حالات تسمم معدنية، نتجت عن تناول الإنسان لأسماك صدفية وعظمية بحرية ملوثة. فعند مدينة تویاما في اليابان احتوت الملوثات على مادة الكادميوم الناتجة عن معامل صهر الرصاص والزنك، تلك الملوثات التي تصرفت إلى نهر جينتش خلال فترة طويلة من الزمن، لتتركز مادة الكادميوم بنسبة عالية في أسماك النهر، التي نجم عن استخدامها من قبل الإنسان كغذاء له، حدوث مرض مفصلي مؤلم يعرف محلياً في اليابان باسم (أوش - أوش Ouch - Ouch)، كان من نتيجة ذلك التسبب في موت نحو (١٠٠ شخص) وشل حركة عدد آخر، قبل أن يتم اكتشاف سبب ذلك. كما حدث تسمم آخر في اليابان فيما بين عامي (١٩٥٣ - ١٩٥٦م)، عندما كانت مياه النفايات المصرفة إلى خليج مينامانا تحتوي على كميات من كبريتات الزئبق. وقد تحول **الملح الزئبقي** إلى زئبق ميتيلي عضوي بواسطة الأحياء البحرية، وكان من نتيجة أكل الناس للسمك المستخرج من مياه هذا الخليج، حدوث

تسمم زئبقي، ترتب عليه موت (٤٣ شخصاً)، وعجز رئيسي عند (٦٨ شخصاً) آخر. ولقد أوصت منظمة الصحة العالمية، بأن العتبة الحدية للزئبق (٠,٣ غ/م^{٣}) للشخص الذي وزنه بحدود (٧٠ كغ). ومن المهم معرفة الكمية الكلية للمعادن النوعية الموجودة في البيئة، وكيف تتوزع في الغلاف الحيوي، ويبين الشكل (٨٨) مخططاً لسلوك الزئبق في الغلاف الحيوي، وكيفية انتقاله إلينا مع الماء والطعام، وطرحه خارجنا، ليعود مع مياه الصرف الصحي إلى الأنهار، بعد أن يكون قد ترك تأثيره فينا.



الشكل (٨٨) مخطط لحركة الزئبق في الغلاف الحيوي

غالباً ما تتراكم الشوارد المعدنية، أو الذرات المشحونة إيجابياً، في أعضاء جسم الإنسان، فشوارد الرصاص والكادميوم تحل محل الكالسيوم

في العظام لتجعلها سهلة الكسر، كما يمكن أن تتركز شـ وارد الرصـ اص والكادميوم والزئبق والكروميوم في الكبد والكليتين محدثة أضراراً بالغـ ة في الجسم، وتتصف الجملة العصبية للإنسان بشدة حـ ساسيتها لتركيـ زات الزئبق والرصاص والنحاس، وتتباين تأثيراتها من ضرر في المخ إلى أذى في الأعصاب الوحشية، مترتباً على ذلك مرض عضلي، وفقر في النظر. ويختلف تأثير المواد السمية النوعية على جسم الإنسان، باختلاف الـ شاردة المعدنية، وتركيزاتها في النسيج، والجرعة المأخوذة، وعمر الفرد.

أما **المبيدات الكيميائية**، التي تدخل الماء ملوثة إياه، ذلك الماء الذي يستخدم في ري المزروعات، ليؤثر على الإنسان بصورة غيـ ر مباشـ رة. وأكثر المبيدات خطراً هي المركبات الكلورينية العضوية كالـ . (د. د. ت) لما تتصف به من ثبات كيميائي، وقدرة على التراكم في النباتات والأنسجة الحيوانية. وتدل الدراسات المتعددة، علـ ى أن تلـ وث الميـ اه بالمبيـ دات الكيميائية وخاصة الـ . (د. د. ت)، قد أدى إلى نقص كبير فـ ي احتيـ اطي الأسماك في المحيط الأطلسي والبحر المتوسط وغيرها.

وتعد **الأحماض والقلويات** خطيرة أيضاً، سواء ارتفعت قيمـ ة (PH) في الماء أم انخفضت عـ ن القيمـ ة الحياديـ ة (٧)، ولا تـ ستطيع معظـ م الحيوانات والنباتات العيش في ماء رقمه الهيدروجيني (PH) أقل مـ ن (٥ حامضي) أو فوق (٩ قلوي). وتؤثر التغيرات الشاذة في الـ . (PH) علـ ى الخلايا الحية، ومعدل نشاط الأنزيمات المتحكمة في العمليات الفيزيولوجية، كما أن التغيرات في قيمة الرقم الهيدروجيني تؤثر علـ ى فعاليـ ة المـ واد السمية الأخرى، فالسيانيدات، والكبريتيدات تكون أكثر سمية فـ ي الوسـ ط الحامضي مما هي في الوسط القلوي أو المعتدل.

وتتصف مركبات **Polychlorinated Biphenyls (PCBs)**، التي تنتج من عمليات تصنيع الورق، والمطاط، والبلاستيك، وزيوت التشحيم، باستقرارها، وعدم قابليتها للانحلال بالماء، وإمكانية انحلالها في الزيوت (Oils)، وتتفكك ببطء شديد جداً في أنسجة جسم الإنسان. وهذه المركبات قاتلة لمعظم أنواع الحيوانات (أسماك، وطيور جارحة، وطيور بحرية الغذاء، والمحاريات الشاطئية)، وقد تسببت (PCBs) في عام (١٩٦٩م) إلى موت آلاف الطيور في البحر الإيرلندي.

أما **المواد السيانيدية (Cyanides)** فسميتها عالية جداً بالنسبة للأحياء كافة، إذ إنها من الممكن أن تمنع النشاط الأنزيمي، وتشل حركة الجملة العصبية عند الإنسان والحيوان. وتستعمل المواد الكلورفينولية كوسائط مضادة للتعفن، ومواد قاتلة للبكتريا، إذ إنها مواد سامة بالنسبة للبكتريا، وللأسماك عند تركيز لها يزيد على (١ مغ/ل)، وللإنسان عند تركيز يزيد على (٤٠ مغ/ل).

٤ - ٤ - تأثيرات المغذيات الكيميائية:

المغذيات الكيميائية، هي تلك المواد التي تتطلبها النباتات والحيوانات للمحافظة على نموها وتجديد خلاياها. وفي سياق الحديث عن تلوث الماء، وجدنا أن أهم مغذيين هما، الآزوت (النتروجين) والفوسفور، اللذين يوجدان على صورة نترات وفوسفات، ويبدو أن المياه الطبيعية كافة تحتوي على كميات قليلة من النترات والفوسفات، تكفي للمحافظة على نمو وحيوي متوازن.

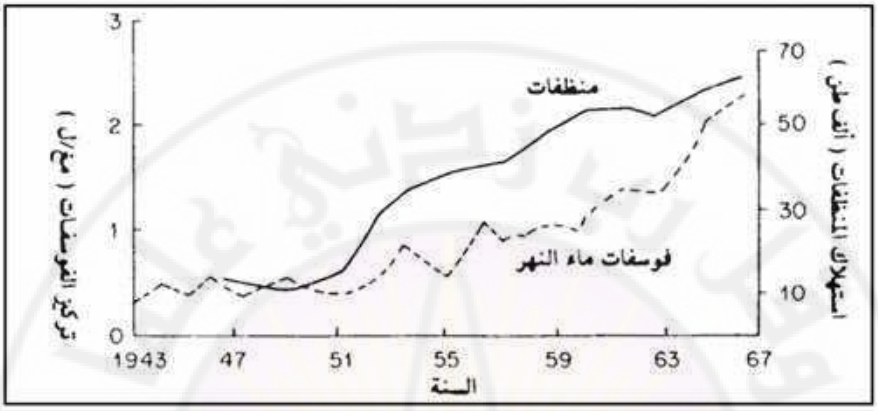
وفي البحيرات، وخلال فترة طويلة من الزمن، فإن نسبة المغذيات ترتفع ببطء نتيجة للتفكك الحيوي للمادة العضوية الميتة، إذ إنه نتيجة لكثرة

الطحالب، بسبب وفرة المواد المغذية، تصبح أكثر وفرة من قدرة الحيوانات على استهلاكها، مما يؤدي إلى موت قسم كبير من تلك الطحالب، لتترسب على القاع، حيث تتفكك، وهذا التزايد في نسبة المغذيات يقود إلى حالة تعرف بالعجز الطبيعي (Eutrophicution)، التي ينجم عنها خلال مئات السنين تحول البحيرة إلى مستنقع وبالنهاية إلى مروج.

وفي مجاري المياه البريطانية وبحارها تزايدت نسبة النترات والفوسفات بشكل ملحوظ خلال (٥٠) السنة الماضية، ففي عام (١٩٧٧م) احتوى مصب نهر التايمز على خمسة أضعاف ما كان يحتوي عليه من النترات في عام (١٩٤٨م)، وقد أظهرت الأنهار البريطانية الأخرى تزايداً مشابهاً، ليس هذا فحسب، بل إن البحيرات والطبقات الحاملة للمياه الجوفية شهدت أيضاً تزايداً في تركيز هذين المغذيين، كما دلت الدراسات عن وجود علاقة مباشرة ما بين التزايد في النترات في بعض المياه الطبيعية والأراضي المزروعة المجاورة لها.

إن التزايد في استعمال المخصبات الكيميائية لرفع إنتاجية وحدة المساحة، ترافق مع زيادة نسبة النترات والفوسفات في المياه، ذلك أنه ليس كل الكمية من المخصبات التي تستعمل تستغلها نباتات المحاصيل الزراعية، إذ إن أكثر من (٤٠%) من النترات المستخدمة يمكن أن تذهب إلى المجاري المائية عن طريق الجريان السطحي، والغسل من الأراضي الزراعية، وبما أن فوسفات التربة يميل إلى الادمصاص، أو يرتبط بجزئيات التربة، لذا فإن النسبة المغسولة منه إلى المجاري المائية تتراوح بين (٢٠ – ٢٥%)، كما أن مياه المجارير، حتى بعد إخضاعها لمرحلتي المعالجة الأولية والثانوية، تبقى محتوية على أملاح النتريت، كما أظهرت

كمية الفوسفات تزايداً في مياه المجارير منذ أن أخذت المنظفات الكيماوية تنتشر بشكل واسع، شكل (٨٩). ولقد أوصت منظمة الصحة العالمية بـ أن لا تزيد كمية الآزوت في الماء على (٤٥ مغ/ل).



الشكل (٨٩) العلاقة بين استعمال المنظفات وتركيز الفوسفات في مياه نهر التايمز

والفوسفور عنصر حيوي وضروري لعملية التمثيل الـ ضوئي فـ ي النباتات، وللتنفس، وإنتاج الحمض النووي (DNA) فـ ي خلايـ ا النباتـ ات والحيوانات كافة، كما أن الآزوت عنصر أساسـ ي لتكـ وين البروتينـ ات الموجودة في سيتوبلازم الخلية (Cytoplasm)، والنواة، والأنزيمـ ات، فـ ي الكائنات الحية العضوية كافة.

وينتج عن التزياد في تركيز النترات والفوسفات في الماء تأثير عـ ام على الزيادة في معدل النمو، حيث يتزايد نمو الطحالـ ب، لتـ شكل طبقـ ة سطحية شرائحية كثيفة، مما يترتب عليه نقص في نفاذية الضوء، وتحديـ د من إعادة خلق الأكسجين الجوي في الماء، ولهذه الظروف تـ أثير سـ لبي على الغوص في الماء، والسباحة، والاغتسال، والصيد. وسـ ينتهي النمـ و الوفير والكثيف للطحالب بالموت، وسينجم عن ذلك حدوث تفكك حيـ وي، واستهلاك للأكسجين، مما يترتب عليه نقص كبير في كميـ ة الأكـ سجين المنحل، يؤدي إلى خلق ظروف غير هوائية سامة.

أما فيما يتعلق بالإنسان، فإن الكثير من مياه الشرب المستمدة من الأنهار، والمياه الجوفية، تحتوي على تركيز زائد من الآزوت، ولهذا آثار خطرة على الإنسان، فالنترات التي تدخل جسم الإنسان من خلال الطعام والشراب، يمكن أن تسبب في تعرضه لحدوث أمراض مختلفة.

٤ – ٥ – تأثير الكائنات الحية الدقيقة (Micro - Organism):

تحتوي المخلفات (النفايات) التي تتصرف إلى المياه على كائنات حية (بكتريا وفيروسات) مرضية، قادرة على نقل الأمراض البشرية، إذ يمكن لبعض البكتريا الموجودة في الماء أن تسبب أمراض: الكوليرا، الحمى التيفوئيد، زحار باسيلري، ونزلة معدية. كما أن الفيروسات تكون عاملاً مسبباً في حدوث أمراض عدة، كمرض شلل الأطفال (الكساح)، والتهابات الكبد... إلخ، أيضاً توجد البيوض المعدية، التي تنتقل بالعدوى، والمراحل اليرقية لبعض الطفيليات الحيوانية في الماء، متضمنة، دودة الإسكاريس، وديدان الخنازير والأبقار، وتوجد تلك النماذج كلّها من الكائنات الحية في البراز، ولذا فإنها تنتشر في مجارير الصرف الصحي، ومخلفات المزارع الحيوانية، ويمكن لعمليات المعالجة الأولية والثانوية لمياه المجارير أن تزيل ما بين (٥٠ – ٩٥%) من البكتريا، وبعض الفيروسات، وعادة فإن مياه المجارير تضم بعض الكائنات الحية المرضية التي عند تصريفها تدخل المجاري المائية.

٤ – ٦ – التأثير الإشعاعي الذري:

إن التزايد في عدد المفاعلات النووية، والمحطات النووية، وتجارب التفجيرات النووية، ترافق بازدياد في كمية النفايات المتخلفة نشطة الإشعاع التي يتم تصريفها ضمن البيئة، وإذا كان بعض تلك النفايات يتم التخلص

منه بدفنه في أعماق بعيدة عن سطح اليابس، فإن بعضه الآخر يتم التخلص منه بوضعه في حاويات مغلقة ورميه في أعماق البحار والمحيطات.

ورغم أن مثل تلك النفايات الإشعاعية محفوظة الآن في أعماق المحيطات، إلا أنه لا أحد يعرف ماذا سيحدث في المستقبل، ذلك أن العمل الحتي لمياه البحر، وتأثيرات قوى الطبيعة، يمكن أن تسبب في حدوث منافذ ضمن حاويات النفايات المشعة، تتيح تسرب النوويات نشطة الإشعاع وانتشارها، بحيث يصعب السيطرة عليها، لتدخل ضمن النظام البيئي للمياه، مخلفة آثارها التي يمكن أن تصل إلى الإنسان عبر السلسلة الغذائية.

الباب السادس

حماية البيئة من التلوث

الفصل الأول: التحكم في تلوث الهواء والحد منه.

الفصل الثاني: مكافحة الضوضاء.

الفصل الثالث: طرق الحد من تلوث التربة.

الفصل الرابع: معالجة الملوثات المائية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الأول

التحكم في تلوث الهواء والحد منه

١ - ١ - عزل الملوثات.

١ - ٢ - التغيير من صفات الملوثات.

١ - ٣ - تحسين الوقود المستخدم.

١ - ٤ - امتصاص الملوثات من قبل النباتات.

١ - ٥ - الطرق الوقائية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

كانت وما زالت العمليات الطبيعية تلعب دوراً مهماً في تنقية الهـ ـواء من الملوثات والحد من تأثيراتها، فالهطول المطري أو الثلجي يعملان على إسقاط جزء كبير من الملوثات الصلبة، غير أن المشكلة تنتقل من الجو إلى سطح اليابس والمسطحات المائية، إذ تعمل تلك الملوثات الجوية الهابطـ ـة مع المطر والثلج على زيادة تركيز نسبة التلوث في المياه والتربـ ـة. وقـ ـد دفعت الزيادة الحالية المضطردة في مصادر التلـ ـوث، وتنـ ـوع الملوثـ ـات الجوية، وبلوغ بعضها حد الخطر، إلى البحث عن وسائل وطرق عمليـ ـة تكفل التقليل من حجم الملوثات المنطلقة، والسيطرة عليهـ ـا، والحـ ـد مـ ـن تأثيراتها.

ومن الطرق الممكن استخدامها للتحكم في التلوث الهوائي والحد منه، نذكر ما يلي:

١ - ١ - عزل الملوثات:

تعتمد هذه الطريقة على التخلص من الملوثات عن طريق فصلها قبل انطلاقها إلى الوسط الهوائي، وذلك بتجميع الملوثات الضارة، من جسيمات صلبة وغازات مختلفة، وعزلها، باستخدام وسائل متعـ ـددة مـ ـن أهمهـ ـا؛ المرشحات، والمرسبات الكهربائية، والوسائل الميكانيكية الأخرى.

فبالنسبة للجسيمات الصلبة المختلفة، يتم عزلها ومنعها من الانطلاق إلى الجو باستخدام مرشحات تسمح بمرور الغازات، لكنها تمنـ ـع مـ ـرور الجسيمات الصلبة لكبر حجم تلك الجسيمات قياسـ ـاً بالغـ ـازات، وبمـ ـا أن

الغازات أكثر ذوباناً في السوائل من الهواء، لذا يتم التخلص منها بإذابتها في سوائل معينة، فبتمرير الهواء الملوث قبل انطلاقه خلال سوائل معينة. تزال غازات محددة بذوبانها في السائل، إذ إن لكل غاز سائلاً يذوب فيه بسرعة.

١ - ٢ - التغيير من صفات الملوثات:

وتعتمد هذه الطريقة على تحويل الملوثات قبل انطلاقها إلى الجو إلى مركبات غير سامة، عن طريق أكسدتها، وتستعمل الأكسدة بشكل فعال للتخلص من بعض الغازات الضارة. ففي حال المواد المستخدمة كوقود التي تطلق الكربون والهيدروجين والأكسجين، فإنه لمن الممكن أكسدتها، وعندها يعطي الاحتراق الكامل ثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء فقط، وكلاهما غير سامين. كما يمكن أكسدة غازات عادم السيارات الضارة (المواد الهيدروكربونية وأول أكسيد الكربون)، باستخدام مفاعل حراري في مشعب العادم، لإتاحة الوقت الكافي لغازات العادم عند درجات الحرارة العالية للحصول على درجة كبيرة من أكسدة المواد الهيدروكربونية وأول أكسيد الكربون، وذلك بحقن الهواء في أنبوب العادم، وعزله، للمحافظة على درجات الحرارة العالية والتحكم في انسياب الغازات. ويتم حقن الهواء في مشعب العادم قريباً من المحرك، حيث تكون حرارة العادم عند أعلى درجة، مما يساعد على أكسدة المواد غير المؤكسدة أو المؤكسدة جزئياً.

١ - ٣ - تحسين الوقود المستخدم:

تختلف درجة التلوث، باختلاف الوقود المستعمل، فالبترول أقل تلويثاً للهواء من الفحم، كما أن الغاز الطبيعي يلوث الهواء بصورة أقل من الوقود

البترولي، والطاقة الكهربائية المستمدة من محطات الطاقة المقامة على الأنهار، وكذلك الطاقة الشمسية، تلويثها أقل من غيرها من مصادر الطاقة.

ولقد جرت محاولات عدة لتحسين نوعية الوقود المستخدم في السيارات (البنزين)، وذلك عن طريق التخفيف قدر الإمكان من مركبات الرصاص ومادة الكبريت. فمركبات الرصاص تضاف إلى الوقود لتحسين أدائه ولتخفيف الخبط الناتج عن الاحتراق، ويمكن الاستعاضة عنه بمركبات أخرى تقوم بالدور نفسه، غير أنها أقل تلويثاً وأكثر أمناً للبيئة، ومن أمثلة ذلك، المركبات الأكسجينية، مثل؛ الإيثانول، الميثانول، كحول ثلاثي، أميل الأثير، وميتيل ثلاثي، والإكسانول. على أن أنسب مادة تحل محل مركبات الرصاص هي، ميتيل ثلاثي بوتيل الأثير (Mtbe)، مع المحاولات الجادة بغية استخدام الطاقة الكهربائية في السيارات.

١ - ٤ - امتصاص الملوثات من قبل النباتات:

تتصف بعض النباتات بقدرتها الكبيرة على امتصاص بعض الملوثات، فقد اكتشف علماء الكيمياء الحيوية، أن هدب الصنوبر القفقاسي (Medw PINUS Eldariea) والصنوبر النمساوي الأسود (Iron Wood)، كذلك أوراق شجر عود الأنبياء (Pinus Nigra) والشوفان والقمح والحمص، تمتص من الهواء بنجاح أكاسيد الآزوت التي يصعب جداً احتجازها بوسائل تقنية. كما تمتص أشجار الحور المزروعة في هكتار واحد خلال فصل النمو نحو (١٠٠كغ) من غاز ثاني أكسيد الكبريت وذلك في المناطق المحيطة بالمصانع.

وتلعب الغابات والأحزمة الخضراء والمناطق المشجرة في المدن وحول المناطق الصناعية دوراً مهماً في تنقية الهواء من الغبار المعلق.

١ – ٥ – الطرق الوقائية:

إن عجلة التطور الحضاري تسير إلى الأمام، وهذا يعني تطوراً صناعياً وتقنياً متزايداً، وملوثات تنطلق إلى الوسط المحيط، غير أنه بإتباع بعض الطرق الوقائية يمكن التخفيف من حدة التلوث وأضراره على البيئة الحيوية بشكل عام والإنسان بصورة خاصة، ويمكن أن يتم ذلك باتباع بعض مما يلي:

١ – اعتماد التخطيط العلمي عند إنشاء أية صناعية لها تأثير ملوث معروف، وذلك بأخذ الظروف المناخية السائدة، بخاصة وجهة الرياح السائدة، ودرجة استقرار الجو، والوضع التضاريسي، والبيئة الحيوية المحيطة، ومن الأمثلة عن ذلك، مخاطر التلوث الناتجة عن بعض معامل الإسمنت في سورية، معمل إسمنت طرطوس، ومعمل إسمنت دمر، بسبب الظروف المناخية والتضاريسية السائدة في مناطقها.

٢ – ضرورة الصيانة الدائمة لآلات الاحتراق، لتقليل الغازات الملوثة السامة المنطلقة، كما يحدث كثيراً في حالة وسائل النقل ذات المحركات المعطوبة أو القديمة.

٣ – إنقاص حجم الحركة المرورية في التجمعات المدنية.

٤ – تحسين وسائل التدفئة، وعدم تدخين التبغ في الأماكن المغلقة، والقيام بحملات تنظيف مستمرة للشوارع.

٥ – استخدام مقالب القمامة المغطاة.

٦ – وضع تشريعات ولوائح ومقاييس خاصة بالتراكيز القصوى للملوثات المسموح بوجودها في الهواء، خاصة في هواء المدن والمناطق الصناعية.

٧ – الاهتمام بزراعة الأشجار والحدائق، لدورها في تنقية الهواء، بالتقليل من تأثير الملوثات، وفي تحسين ظروف الوسط.

الفصل الثاني

مكافحة الضوضاء

٢ – ١ – الضوضاء مشكلة العصر.

٢ – ٢ – الطرق الوقائية للتخفيف من الضوضاء والحد من آثاره.

٢ – ٣ – الطرق العلاجية لمكافحة الضوضاء.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

٢ - ١ - الضوضاء، مشكلة العصر:

رغم أن التلوث الهوائي عاماً وشاملاً، بمصادرة المتنوعة الطبيع ة والبشرية، ونكاد لا نشعر به، لآثاره البعيدة غير المباشرة التي لا تت ضح آنياً، فإن التلوث الضوضائي الصوتي باعتبار ناقلة الهواء، ويتخامد بسرعة بالابتعاد عن مصدره (عثرات ب ل ومئ ات الأمت ار، وأحياناً ب ضعة كيلومترات في الطيران وأصوات السفن..)، فهو وقت ي ومحل ي التأثير ومباشر.

ومما يميز الضوضاء أننا لا نحس بها إلا بجوار مصدرها فقط، ولا تنتشر آثارها أو ينتقل مفعولها من مكان إلى آخر، كما في التلوث الهوائي والتلوث المائي، فالتلوث الضوضائي ينقطع أثره بمجرد توقف ه، دون أن يترك خلفه آثاراً واضحة في البيئة، فآثاره وقتية تنتهي بانقطاعه وتوقف ه ليعود بعدها المرء إلى الهدوء والراحة والسكينة. والضوضاء الص وتي ظاهرة رغم قدمها، إلا أنها آثارها لم تكن ملموسة وفعالة - س وى ف ي حالات خاصة - لكونها كانت تمثل حالات شاذة أو ع ابرة م ن خ لال صراخ الطفل، أو صوت مرتفع لشخص، أو من خلال أص وات بع ض الحيوانات (نباح الكلاب... وغير ذلك). لتأخذ الضوضاء ظاهرة الإزعاج والقلق والاضطراب منذ بداية الثورة الصناعية، وبخاصة منذ منت صف القرن العشرين، لازدياد أعداد المعامل والمصانع وإقامة معظمها داخ ل التجمعات البشرية أو بجوارها، ولتعاظم أعداد وسائط النق ل المختلف ة

مصدر الضوضاء الرئيسية، ومشكلتها. بجانب الضوضاء المنزلية - في الداخل ومن الجوار - المتعددة المصادر والتي قد تطغى على غيرها في بعض الحالات، وهي خطرة على الإنسان، رغم أن بإمكانه الحد من تأثيرها.

فمن حق المرء أن ينعم بعيش هادئ في منزله، بعد أن يكون قد قضى ساعات عدة في عمله الصاخب، وفي طريقه إلى المنزل. وبيت المرء هو قلعته، ويجب أن تكون هذه القلعة هادئة متحررة من ضوضاء جيرانه وضوضاء المجتمع حوله، والعالم الخارجي المحيط به من شوارع وسواها. وقد يكون من الصعب القضاء نهائياً على الضوضاء، إلا أنه من الممكن التخفيف من حدتها إلى القدر الذي لا يترك آثاراً سلبية واضحة على الإنسان، إذا ما توفرت الأخلاق الحميدة والنوايا الطيبة، واعتبر كل إنسان نفسه هو المسبب والمتأذي، بعيداً عن الأنا..؟.

وهناك من الطرق الممكن باستخدامها التخفيف من الضوضاء، أو حتى القضاء عليها في بعض الأماكن، ومن هذه الطرق:

٢ - ٢ - الطرق الوقائية للتخفيف من الضوضاء والحد منها:

هناك العديد من الطرق المستخدمة للوقاية من الضوضاء والحد من تأثيراتها، نذكر منها:

١ - نشر الوعي عن طريق وسائل الإعلام المختلفة عن الضوضاء، وأخطارها على الصحة العامة - وخاصة صحة الأطفال ونموهم الجسدي -، وعلى الحالة النفسية، والقدرة الإنتاجية، والتفكير السليم، والتحصيل العلمي. بحيث يعلم كل إنسان أن الفضاء الصوتي ملكية جماعية، تنتفي أمامها محاولات التصرف والعبث فيه، وكأنه ملكية

خاصة، فإن أية انتهاكات للفضاء الصوتي لابد من معاملتها كجرائم على الممتلكات العامة.

٢ – تنظيم سير وسائط النقل في شوارع المدن بإبعادها عن الاكتظاظ المصطنع، والحد من تجمع السيارات في الشوارع لأي سبب كان.

٣ – منع مرور السيارات الشاحنة الكبيرة داخل المدن، وإنشاء طرق لها خارجها.

٤ – إصدار القوانين وتطبيقها بشكل حازم لمنع استعمال منبهات السيارات، ومراقبة محركاتها، وإيقاف تلك المصدرة للأصوات المزعجة، وكذلك إيقاف الدراجات النارية التي لا تحوي كاتماً للصوت.

٥ – إصدار التعليمات وفرض الغرامات بحق محدثي الضوضاء الذين يزعجون جوارهم بأجهزة التلفاز والمذياع والمسجلات مرتفعة الصوت، وكذلك أصوات الموسيقا الصاخبة التي تصدر بشكل متكرر في أثناء الحفلات المتكررة... وبدونها.

٦ – منع استعمال مكبرات الصوت، والمسجلات في شوارع المدن أو المقاهي، أو المحلات العامة، وإجراء مراقبة شديدة على الموسيقا الصاخبة.

٧ – الاهتمام بتخطيط المدن، بتعريض الشوارع وتشجيرها لما للأشجار من دور في تشتت الأصوات والخفض من شدتها.

٨ – ومن الطرق الوقائية اللجوء إلى استخدام سدادة أذنية في حال التعرض للضوضاء الشديدة، للتخفيف من آثارها.

٩ – إغلاق الأبواب والنوافذ عند حدوث ضوضاء خارجية، أو حتى ضوضاء منزلية، مما يخفف من شدة الضوضاء بنسبة كبيرة تصل إلى الربع، إن لم يكن انعدامها.

٢ - ٣ - الطرق العلاجية لمكافحة الضوضاء:

مهما كان العلاج فهو غير ناجع بالمطلق، ولكنه مخفف من تعاظم العلة وما يصيب المعلول، فأنى ذهب الإنسان سيجد الضوضاء بانتظاره، إلا إذ ما اختار الجبال العالية، والمناطق الجليدية في العروض العليا، والصحاري المقفرة. ولكن إبعاد المسبب، ومعالجة الأسباب؛ هي من طرق العلاج المتمثلة في الآتي:

١ - إبعاد المنشآت الصناعية عن مناطق السكن - بإنشاء مدن صناعية خاصة - وتنظيم مصادر الضوضاء الناجمة عنها، بحيث لا يصدر عنها إلى خارج المصنع إلا أقل ما يمكن من الضوضاء، بوضع الأجهزة المصدرة للضوضاء على أرضية عازلة، أو وضع مواد عازلة للصوت.

٢ - إبعاد المدارس والمستشفيات عن مصادر الضوضاء، وخاصة الشوارع المزدحمة بالسيارات، والمنشآت الصناعية والأسواق التجارية التي تجلجل فيها أصوات البائعين، بحيث لا تزيد شدة الضوضاء على (٤٥ ديسيبلاً) في المدارس، و(٣٥ ديسيبلاً) في المستشفيات.

٣ - جعل المسافة ما بين المناطق الآهلة بالسكان والمطارات لا تقل عن (٢٥ كم)، مع مراعاة عدم مرور الطائرات فوق المدن وسواها من المناطق السكنية.

٤ - العناية بتصميم البيوت السكنية، واستخدام مواد البناء التي تقلل قدر الإمكان من نفاذيتها للأصوات المزعجة، بما بات متوفراً حالياً من مواد عازلة للصوت يمكن استخدامها.

٥ - منع إطلاق الأعيرة النارية بالكثافة والشدة المزعجين في أية مناسبة كانت، وما أكثر تلك المناسبات. وبجانب الضوضاء الشديدة الناتجة

عنها، فإن لها آثاراً أخرى، تتمثل في إلحاق أضرار في الممتلكات (سيارات...)، وخسائر في الأرواح.

٦ – إنها طريقة وقائية وعلاجية بآن واحد، ينطبق عليها المثل الشعبي: «الهريبة ثلثي المراجل»، فأحياناً إزعاجات المنزل من الداخل ومن الجوار، مما تصدر من أصوات مزعجة من هنا وهناك، مما يفضل أحياناً بعض ساكني المنزل من الخروج إلى منطقة هادئة، حتى نجد أحياناً بعض الموظفين يلجأوون إلى عدم الحصول على إجازاتهم من عملهم للهدوء في العمل والصخب في المنزل، والعكس أحياناً يلجأ العاملين في المصانع الصاخبة من الحصول على إجازات، لما يجدوه من هدوء وراحة في منازلهم.. وسواها.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

الفصل الثالث

طرق الحد من تلوث التربة

٣ - ١ - التخلص من النفايات والحد من تلويثها.

٣ - ٢ - الحد من التلوث بالمبيدات الكيميائية.

Damascus University

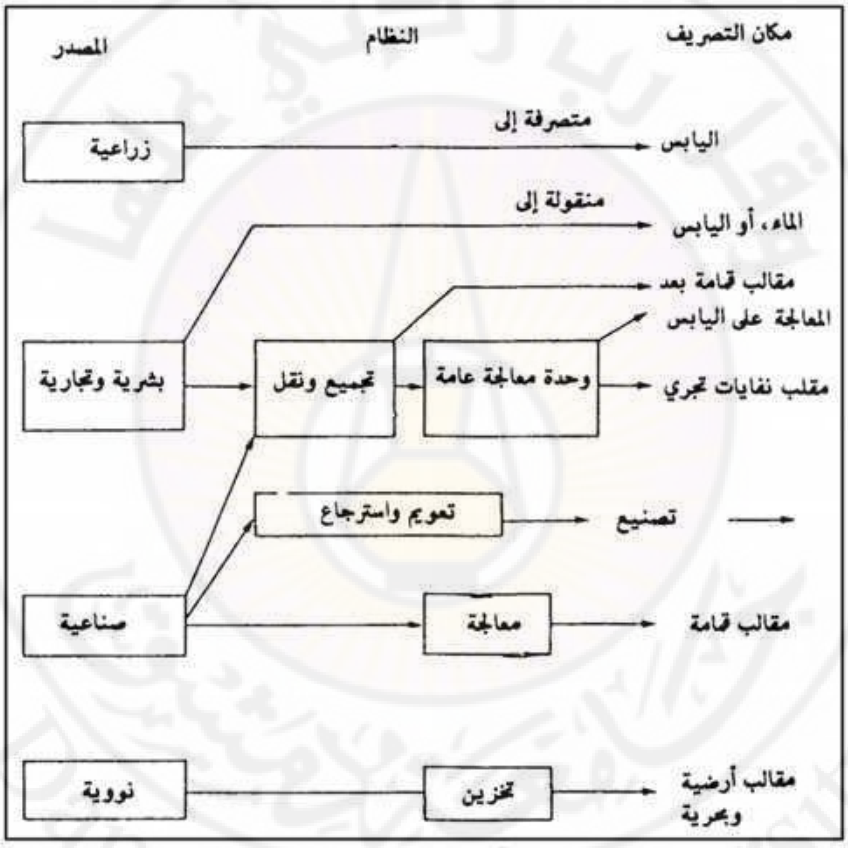
وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

٣ - ١ - التخلص من النفايات والحد من تلويثها:

تختلف طرق تصريف النفايات، باختلاف نماذجها وأنواعها. وبصورة عامة، فإن أغلب النفايات الصلبة تتوضع على الأرض بشكل مقالب قمامة أو أكداس متراكمة فوق بعضها بصورة أكوام، أو أنها تصرف إلى الحفر التي تكونت في أراضي المحاجر، ومداخل المناجم، أو تتصرف إلى ملقى الكناسات (حاوية النفايات) محتوية على كميات كبيرة مختلفة من المواد التي تشكل مخلفات استخدامات منزلية وغيرها، بجانب كميات قليلة من المخلفات التي تصرف إلى البحر. والشكل (٩٠) يبين الطرق الأساسية والمراحل المختلفة في عملية تصريف النفايات.

وقد نجم عن الثورة الصناعية المتعاظمة يوماً بعد يوم، وما رافقها من صناعات استخراجية، والاستهلاك البشري المتزايد، وما يرتبط بذلك من فعاليات تجارية، أن ازدادت كمية النفايات زيادة كبيرة، حتى باتت تشكل مشكلة، تتطلب التفكير الجدي بالحد من تراكمها وتخزينها، والتقليل منها ما أمكن قبل تصريفها، بمعالجتها بوسائل معالجة مناسبة. ففي بعض صناعات الاستخراج المعدنية، كما في مناجم تعدين الفحم العميقة، والغضار الصيني، والحجر الحديدي، تتراكم أكوام النفايات في مواقع العمل، وتزداد ضخامة تلك الأكوام لكون التجميع أكثر من التصريف، غير أنه في مواقع صناعية أخرى، غالباً ما يتم نقل النفايات المتجمعة إلى مناطق تصريف تحت السطح، أو فوقه، ويمكن للنفايات المخزنة أن تعالج

بطرق مختلفة قبل تصريفها، ويمكن للمعالجة أن تنقص من الحجم أو تسهل من عملية التصريف، كما أنها قد تعطي الفرصة لإمكانية إعادة اس تعمال المواد المستخلصة من النفايات، أو إعادة تدويرها إلى عمليات التـ صنيع. وفيما يتعلق بالتلوث البيئي، فإن أساليب معالجة النفايات وتـ صريفها ذات أهمية رئيسية.



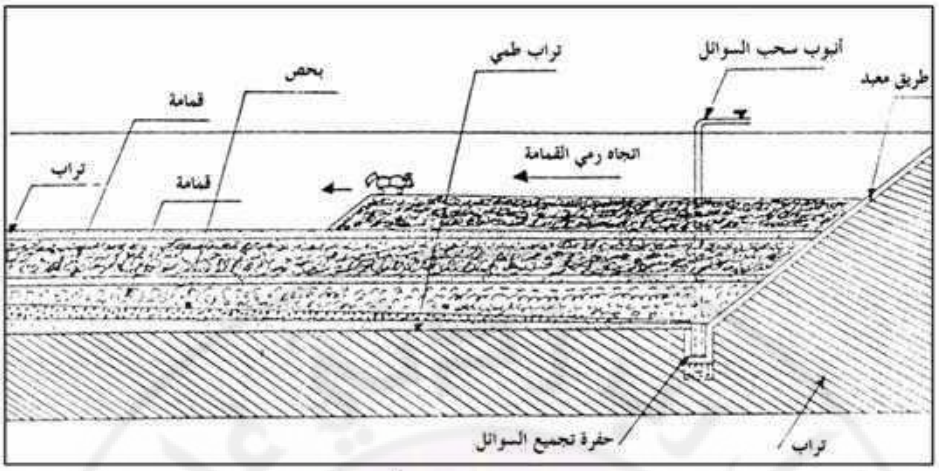
الشكل (٩٠) مخطط يبين أساليب ومراحل عمليات تصريف النفايات

وقد بلغ حجم كمية النفايات البشرية في المملكـ ة المتحـ دة بحـ دود (١٩,٥ مليون طن) عام (١٩٧٣م)، تمت معالجتها وفق طـ رق مختلفـ ة، ونحو (١٥ مليون طن) من نفايات القمامة كانت عبارة عن فضلات منزلية اشتملت على؛ بقايا الفحم، الرماد، الغبار، الأطعمة والخـ ضار، الـ ورق،

الخبز، المعادن، الزجاج، ثياب بالية، مواد بلاستيكية. بينما الباقي ومقداره (٤,٥ مليون طن)، كان من مصادر تجارية مختلفة، و(٨٦%) من تلك النفايات لم تكن قد خضعت لأية معالجة مسبقة، والتخلص منها كان بصورة مقالب قمامة.

وتشير التقديرات التقريبية إلى أن الكمية السنوية من النفايات الصناعية بلغت في عام (٢٠١٠م) نحو (٢٥٠ مليون طن) توزعت على القطاعات الصناعية التالية: (١٧٠ مليون طن، ٦٧%) من قطاع التحجير والتعدين، (١٨ مليون طن، ٧,٣%) من محطات توليد الطاقة الكهربائية، و(٣٥ مليون طن، ١٤%) من قطاعات صناعية أخرى، مع إهمال نفايات العناصر النشطة إشعاعاً لتدني كميتها.

وتختلف كمية النفايات ونوعيتها من صناعة إلى أخرى، وإن كان الجزء الرئيسي منها يتركب من مواد صلبة، وملوثات سائلة، وكميات متباينة من المواد الكيميائية المعلقة والمنحلة في الماء. وأكبر كمية من النفايات الصلبة تولدها الصناعات الاستخراجية والتعدينية، التي يتم التخلص منها إما بواسطة مقالب القمامة على سطح الأرض، شكل (٩١)، أو بتصريفها إلى البحر، والجدول (٥٠) يبين بعض طرق التخلص من النفايات الصناعية في المملكة المتحدة.



الشكل (٩١) مقلب قمامة نموذجي

جدول (٥٠) بعض طرق التخلص من النفايات الصناعية في المملكة المتحدة

نموذج النفايات الصناعية	مليون طن/سنة	الطريقة	مليون طن	
			إعادة استعمال	النفايات
نفايات منجم فحمي	٤٥	مقالب أرضية	٨	٣٧
خبث صناعة الحديد والصلب	١٣	مقالب أرضية	١١	٢
بقايا الزجاج المنزلي	٢	مقالب أرضية	لا يذكر	٢
نفايات محجر أردواز	١,٢	مقالب أرضية	–	١,٢
رماد مواد إحراق القمامة	٠,٦	مقالب أرضية	–	٠,٦
رماد الوقود المسحوق	٩,٩	مقالب أرضية	٦,٣	٣,٦
نفايات منجم فحمي	٥	إلى البحر	–	٥
كبريتات الكالسيوم	٢,١	إلى البحر	٠,٠٠٦	٢,٠٩٤
نفايات الغضار الصيني	٢٢	في اللاغونات	١	٢١
نفايات منجم فلورسبار (حجر فلوري)	٠,٢٣	في اللاغونات	لا يذكر	٠,٢٣
نفايات الأمونيا	٠,١	في اللاغونات	لا يذكر	٠,١
المجموع الكلي	**١٠١,١٣**		**٢٦,٣٠٦**	**٧٤,٨٢٤**

وعلى الرغم من أن الجدول (٣٩) لا يتضمن نفايات صناعات تعدين الحديد، والحجارة، إلا أن نحو (٧٥ مليون طن) من النفايات يتم الـ تخلص منها سنوياً عن طريق مقالب القمامة على اليابسة، والنفايات الأخرى، كما في، رماد الأفراد، خبث الأفران، ونفايات تـ صنيع النحـ اس، القـ صدير، الزنك، والرصاص تهمل نتيجة محاولة إعادة استعمالها في إنتاج لاحق.

ويتولد عن الصناعات التحويلية نفايات مختلفة، صلبة، أو شبه صلبة، أو سائلة، أو غازية، وأي من تلك النفايات يتضمن مواد سـ مية أو غيـ ر سمية، مواد قابلة للاشتعال، أو غير قابلة للاحتـ راق، ومعظـ م النفايـ ات السمية، عبارة عن مواد قلوية وحامضية وسموم صرفة.

وتدل المعطيات على أن (٧٢,٧%) من النفايات القلوية والحماضـ ية كانت في ملقى الكناسات علـ ى الأرض، و(٢٦,٤%) كانـ ت فـ ي شـ كل Slurry، و(٩%) كانت محولة إلى رماد. وبالنسبة للنفايات السمية، فكـ ان منها حوالي (٩٦,٥%) في ملقى الكناسات، و(٣%) مصرفة إلى البحـ ر، و(٥%) بصورة محولة إلى رماد.

ويشير تقرير لجنة الشؤون الفنية للبيئة في المملكة المتحدة، إلـ ى أن نحو (٦٠%) من النفايات، كانت بصورة نصف سائلة، تم التخلص منها إما عن طريق ملقى الكناسات بوضعها في حفر، أو بتصريفها عـ ن طريـ ق المجارير، أو تحويلها إلى اللاغونات الساحلية.

إن بقايا المواد النشطة إشعاعياً الناتجة عـ ن المفـ اعلات النوويـ ة، والأبحاث العلمية الخاصة بالبيئة، تشكل مشكلة تصريف بيئيـ ة معتبـ رة، وتتضمن هذه النفايات. أذرع وقود مستهلكة، وقوالب (Casings)، ونفايـ ات الوقود، ومواد مختلفة بصورة صلبة وسائلة، تحتوي على نسب مهمة مـ ن

السيزيوم ١٣٧، والستروند شيوم ٩٠ بمستويات مختلفة من النشاط الإشعاعي. ويمكن أن يتم التخلص من نفايات المواد المشعة بعدة طرق، فالنفايات السائلة ذات النشاط الإشعاعي المنخفض يمكن أن يتم تصريفها إلى البحار، أما النفايات ذات النشاط المنخفض إلى المتوسط، فيمكن أن تحرق، أو يتم التخلص منها بوضعها في حاويات محكمة الإغلاق من الحديد الصلب، ومن ثم تدفن إما في حفر عميقة تحت سطح الأرض، أو في حفر بأعماق المحيطات، وهكذا الحال في النفايات ذات النشاط الإشعاعي المرتفع التي تخزن في حاويات مغلقة من الحديد الصلب، لتدفن في حفر على أعماق تزيد على (٣٠٠م) في صخور كتيمة كالغرانيت أو غيره.

٣ - ٢ - الحد من التلوث بالمبيدات الكيميائية:

مما تجدر الإشارة إليه، إلى أن هناك أنواع من المبيدات - عدا الكيميائية - تدعى باسم **المبيدات الحيوية (Biological Control)**، أو الضوابط الحيوية، أو **المكافحة الحيوية**. وتتم المكافحة الحيوية من خلال تعطيل تكاثر نوع من الكائنات الحية الضارة عن طريق الانتفاع بالقضاء على أحد جوانب مراحل حياته، أو وظائف أعضائه، أو عن طريق استخدام كائن آخر يقضي عليه، وهذه الطريقة معروفة منذ القدم، إلا أن وسائلها كانت محدودة ومجال الانتفاع منها محدود أيضاً.

وتستخدم حالياً في المكافحة الحيوية الطفيليات والفيروسات والميكروبات، وربما تتم التربية في مزرعة للطفيليات الطبيعية التي تتطفل على الآفات الحشرية أو النباتية، مثل الزنابير الطفيلية، ثم تطلق بعدها عند الحاجة وسط مناطق زراعة المحاصيل المحتاجة لها. وتستخدم خنافس

(بعبع الست) في مكافحة الحشرات القشرية التي تظهر على ثمار الحمضيات وحشرات المن التي تسبب آفة الندوة العسلية.

وتعد البكتريا والفيروسات أكثر وسائل المكافحة الحيوية فعالية، كونها أنواع متخصصة لا تقتل سوى آفة واحدة، ولا تتراكم في البيئة مثل المبيدات الكيميائية، ولكنها تنضم إلى جماعة الميكروب نفسه الموجودة سابقاً في البيئة. وقد وجد في الولايات المتحدة أن أشد العوامل الحيوية تأثيراً على حشرة الحنفساء اليابانية هو نوع من الفيروسات يهاجم يرقات الخنافس وهي تحت سطح الأرض.

وهناك بعض السلبيات في استخدام الميكروبات في المكافحة الحيوية، تتمثل في:

١ – ضرورة استخدام نوع ميكروبي واحد ضد كل نوع من الآفات.

٢ – بطء انتشار فاعلية الميكروبات مقارنة بالمبيدات الكيميائية.

٣ – ضرورة تربية نوع حشرة الآفة التي يتخصص الميكروب في مهاجمتها.

ومع ذلك فإن هذه الطريقة في المكافحة الحيوية وغيرها مما سبق ذكره ضرورية للحد من التلوث الكيميائي الذي يتناول التربة والمياه والحاصلات الزراعية والإنسان.

٤ – وهناك أسلوب آخر للحد من استخدام المبيدات الكيميائية، يعتمد على إنتاج سلالات من نباتات المحاصيل المقاومة للآفات، باحتوائها على مركبات شبه قلوية للدفاع الكيميائي، أو بامتلاكها سبل الحماية الميكانيكية بزيادة سماكة القلف الذي يغلف النبات من الخارج.

٥ – وهناك أسلوب تعقيم ذكور حشرات الآفات للقضاء على أ ذ واع م ن الذباب الضار. وبإطلاق ذكور الحشرات العقيمة في الحقول تتزاوج مع إناث الذباب المراد القضاء عليه، مما يجعل الإناث تضع بي ضاً غي ر مخصباً فلا يتكاثر النوع.

٦ – وهناك أسلوب يعتمد على التركيب الصناعي للأملاح العضوية الت ي تثير الروائح المماثلة لتلك التي تصدرها حشرات الآفات، وخاصة عن د النداء الجنسي، وباستخدام تلك الروائح يتم تجمع الحشرات البالغة بأعداد هائلة في مكان معين يتم عندها إبادتها.

٧ – ويوجد أيضاً أسلوب استخدام مبيدات حشرية هرمونية محـ ددة لكـ ل نوع.

٨ – وهناك أسلوب إشارات الأشعة الذي يمكن استخدامه في جذب وإب ادة الحشرات، أو في تغيير مواقيتها الحيوية، أو في عرقلة مواعيد الدورات الموسمية لأنواع الآفات.

٩ – وبما أن معظم الحشرات البالغة التي تطير ليلاً تنجذب إل ى ض وء الأشعة فوق البنفسجية، لذا كان من السهل استخدام الشبكات المكهربة أو غيرها من المصائد الحشرية مع مصدر لضوء الأشعة فوق البنف سجية فيتكون منها مزدوج يستطيع إحكام السيطرة الفعالة على بعض أ ذ واع الحشرات.

الفصل الرابع

معالجة الملوثات المائية

٤ – ١ – معالجة مياه المجارير وصرفها.

٤ – ٢ – معالجة المخلفات الصناعية وتصريفها.

٤ – ٣ – معالجة مياه الشرب.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

ازداد في السنوات الأخيرة الاهتمام بمياه المخلفات البشرية وتلوثها، نظراً للزيادة المضطردة في معدلات استهلاك المياه، والتي ترافقت مع الزيادة السكانية المستمرة، والتقدم الصناعي، وقد رافق ذلك، زيادة في الملوثات الناجمة عن الاستعمال المنزلي، والاستعمالات الصناعية، التي عملت على تلويث المياه السطحية، وحتى الجوفية. لذا فإن التفكير اتجه في السنوات الأخيرة ليس فقط إلى التخلص من المخلفات السائلة في الأنهار أو البحيرات أو البحار، وإنما إلى إعادة استعمالها بعد معالجتها إلى درجة كافية تحول دون الضرر من استعمالها. وتختلف أساليب المعالجة، باختلاف مياه الصرف الملوثة، فالطرق المتبعة في معالجة مياه المجارير، تختلف عن الطرق المتبعة المتعددة في مجال معالجة المخلفات الصناعية.

٤ - ١ - معالجة مياه المجارير وصرفها:

إن مياه المجارير، عبارة عن سائل عكر، يحتوي على قرابة (٩٩,٩%) ماء، والباقي خليط من مواد عضوية وغير عضوية في صورة جزيئات صلبة معلقة مرئية، وجزيئات صلبة دقيقة جداً، وجزيئات غروية، ومركبات منحلة، وكائنات حية دقيقة، كالبروتوزوا (Protozoa)، والبكتريا، والفيروسات. وتعود الرائحة واللون الكريهان لهذه المياه بنسبة كبيرة (٦٦%) إلى وجود المادة العضوية، وفعل البكتريا اللاهوائية الموجودة ضمنها. وتوجد المادة العضوية بصورة، ورق، براز، بول، صابون، منظفات، زيوت، شحوم، ومواد غذائية، أما المواد غير العضوية الموجودة

في هذه المياه فتتضمن، الرمال، الطين، النشادر، أملاح النشادر المستمدة من تحلل البول، أملاح معدنية، نترات، فوسفات... إلخ. وبصورة عامة، فإن تركيب مياه المجارير، تختلف تبعاً لمصدرها، ولما في داخلها من المخلفات الصناعية التي يمكن أن تصل نسبتها إلى (٥٠%) من الحجم.

إن نمو السكان، وتطور الصناعة، وتزايد حجم المراكز المدنية خلال أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، وبشكل مضطرد حتى يومنا هذا، مع ما رافق ذلك من تزايد في حجم المخلفات البشرية التي تصرف عبر المجارير، هذا كله استدعى البحث عن طرق معالجة جديدة لمياه المجارير، تحل محل الطرق القديمة التقليدية التي كانت تعتمد على ترسيب ما أمكن من المواد العالقة في المياه، ثم السماح لها بالترشيح ضمن التربة، حيث تمارس بكتريا التربة فعلها في المادة العضوية، فالتصفية البيولوجية (الحيوية) عرفت منذ نحو عام (١٩٠٠م)، لتتطور بالتدريج إلى وحدات معالجة حديثة لخدمة المدن الكبرى، وعلى كل حال، فقد دفع التطور التقني للصناعة والاستعمال المتزايد للكيماويات العضوية إلى إيجاد تقنيات معالجة جديدة.

إن المعالجة الحالية لمياه المجارير تتجه أساساً إلى عزل (إزالة) الجزيئات الصلبة العالقة، والطافية على السطح، شريطة المعالجة الحيوية للمادة العضوية الموجودة فيها. والمياه الناتجة من ذلك تكون مستقرة، والمادة العضوية فيها منخفضة، بحيث تصبح ملائمة لتصريفها إلى المجاري المائية القريبة دون أن تسبب في حدوث تلوث لها.

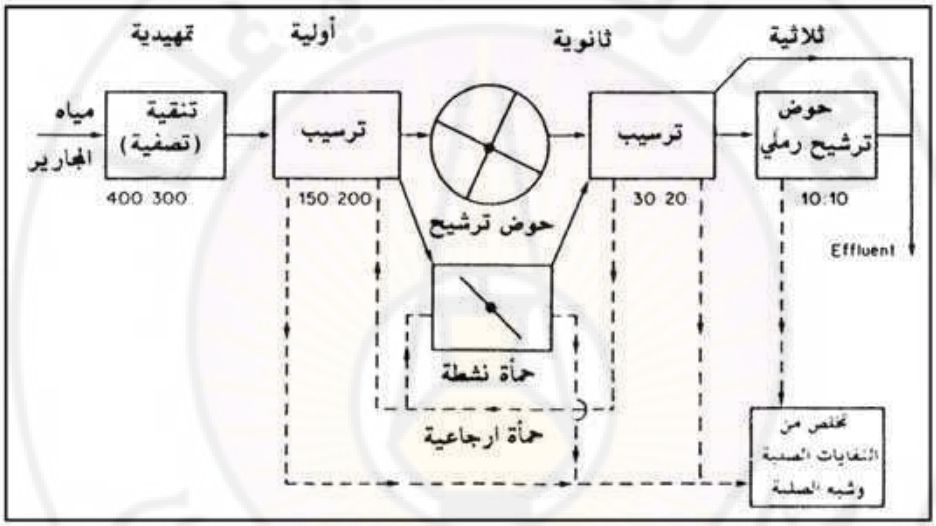
ومن الممكن تقسيم المراحل التي تمر فيها معالجة مياه المجارير إلى ثلاث:

١ – مرحلة تمهيدية.

٢ – مرحلة أولية (ابتدائية).

٣ – مرحلة ثانوية.

وفي بعض مراكز المعالجة التي تحتوي على مرحلة من الدرجة الثالثة، ينتج عنها أخيراً مياه ذات نوعية أفضل مما ينتج عن المرحلة الثانوية، ويبين الشكل (٩٢) مخططاً عاماً لمراحل معالجة مياه المجارير.



الشكل (٩٢) مراحل معالجة مياه الصرف الصحي (المجارير)

ويمكن أن يعبر عن تركيب مياه المجارير بكمية المادة العضوية الموجودة فيها، وكمية الأكسجين الحيوي المستهلك (BOD)، فمياه المجارير الخام التي تدخل محطات المعالجة، تحتوي على كمية من المادة العضوية تقارب من (١٠٠٠ مغ/لتر)، مع كمية من الجزيئات الصلبة (SS) بحدود (٤٠٠ مغ/لتر)، ومقدار من الأكسجين الحيوي المستهلك يبلغ نحو (٣٠٠ مغ/لتر). وفي البداية، عند دخول المياه محطات المعالجة. تبلغ نسبة SS/BOD = ٤٠٠/٣٠٠، وعند نهاية المرحلة الثانوية تكون النسبة قد

انخفضت إلى ٢٠/٣٠ وإذا ما استخدمت المرحلة الثالثة، فستصبح المياه أنقى، والنسبة السابقة تتدنى إلى ١٠/١٠.

إن المرحلة الأولى من مراحل المعاجلة (المرحلة التمهيدية) تتمثل في عملية التصفية، وذلك بحجز الماء وتنقيته من الجزيئات المعلقة الكبيرة، والجزيئات الصلبة. وفي المرحلة الأولية، يتم ترسيب المواد سواء أكانت عضوية أم غير عضوية، بحيث تنخفض كمية المواد المعلقة بنسبة تصل إلى (٥٥%) من تركيزها قبل معالجتها، كما تنخفض قيمة الأكسجين الحيوي المستهلك بنسبة تصل إلى (٣٥%)، وتبقى مياه المجارير بعد هذه المرحلة تحتوي على غرويات معلقة، وجزيئات صلبة دقيقة، ومحاليل مذابة. أما في المرحلة الثانوية، فيستعمل أسلوبان، يعتمد كل منهما الفعل الحيوي للمادة العضوية.

- فالأسلوب الأول: يعتمد على تشجيع نمو مجتمعات حيوية من البكتريا، والكائنات الحية الدقيقة، ضمن أحواض ترشيح رملية، لتقوم تلك البكتريات والكائنات الدقيقة بامتصاص الأكسجين، ولينجم عنها عملية أكسدة للمادة العضوية.

- أما الأسلوب الثاني: فهو عملية الحمأة النشطة (Activated Sludge) أو (أحواض التهوية)، وهو أسلوب أحدث من الأول، وتعتمد هذه العملية على تنشيط البكتريات، والفطريات، والبروتوزوا، ويرقات الحشرات، والديدان الصغيرة. وبتهوية المخلفات السائلة وتقليبها، تنشط تلك الكائنات، وتقوم بعملية أكسدة المواد العضوية، ويساعد التقليب المستمر على تخثر المواد العالقة وتجميعها في كتل كبيرة نسبياً يسهل ترسيبها، وفي كلا أسلوبي المعالجة الحيوية، تستخدم الكائنات الحية الدقيقة لتحطيم المادة العضوية إلى مركبات غير عضوية وغير ملوثة.

وتوجد فيما بعد عملية المعالجة الحيوية الثانوية، مرحلة ترسيب إضافية يتم فيها الترسيب النهائي للمواد الصلبة العالقة، التي تترسب في أحواض الترسيب النهائية، وتحتوي المواد العالقة التي تترسب على العديد من الكائنات الحية الدقيقة التي تقوم بعملية الأكسدة، لذا تستعمل هذه المواد المترسبة كحمأة منشطة، ويعاد قسم منها إلى أحواض التهوية، ويمكن للماء بعد هذه المرحلة أن يتصرف إلى المجاري المائية، كما أن المياه الناتجة من حوض الترسيب النهائي، يمكن تطهيرها، إما بالحرارة (بتسخينها)، أو بإضافة الكلور إليها الذي يعمل على إزالة الرائحة الكريهة، ويقتل ما تبقى من جراثيم ضارة.

٤ - ٢ - معالجة المخلفات الصناعية وتصريفها:

تتنوع المخلفات الصناعية تنوعاً كبيراً جداً، بقدر تنوع الصناعات القائمة، ولذا تتبع في معالجة المخلفات الصناعية وتصريفها العديد من الطرق، فالكثير من الشركات الصناعية الصغيرة لا تجري أية معالجة على مخلفاتها، بل تصرفها مباشرة إلى شبكة المجارير العامة، في حين تقوم الشركات الصناعية الكبيرة بمعالجة مخلفاتها قبل تصريفها، ثم تعمل على تصريفها إلى المجاري المائية. فبعض الصناعات تجري على مخلفاتها عملية تنقية وترسيب للجزيئات الصلبة المعلقة، في حين تتطلب بعض الصناعات التي تنتج مخلفات ذات سمية، أن تجري معالجة كيميائية على تلك المخلفات قبل تصريفها. وإذا كانت مياه مخلفات المصانع الكبيرة تمر أولاً في محطات معالجة، لتصرف بعدها إلى أماكن التصريف الملائمة (المجاري المائية، أو شبكة المجارير)، فإنه لمن الضروري أن تلجأ الشركات الصناعية كافة، الكبيرة منها والصغيرة، إلى إجراء معالجة تامة، أو جزئية، لمخلفاتها قبل أن تتصرف إلى أماكن التصريف.

إن أية مخلفات مصرفة، يجب أن تحرر من المواد الـ صلبة العالقـ ة فيها، والطافية على سطح مياهها، ومـ ن الزيـ وت، والمـ ادة العـ ضوية، والمعدنية المعلقة، كما أن من الواجب العمل على إزالة المواد السامة فيها التي تؤثر على نشاط الكائنات الحية الدقيقة المائية الطبيعية.

وبصورة عامة، فإن مياه المخلفات الصناعية تعالج لإزالة المواد الصلبة المعلقة بالتصفية، والتخثير، والترسيب، يتبع ذلك معالجة بيولوجية، وكيميائية، وهناك بعض المياه الملوثة الصناعية التي تحتوي على كمية مرتفعة من التفكك الحيوي، مما يجعل من الضروري إخضاعها لعملية مشابهة لتلك المستعملة في معالجة مياه المجارير، كما أن مياهاً أخرى تكـ ون ذات درجـ ة كبيـ رة مـ ن الحامضية أو القلوية، أو أنها تحتوي على مواد خاملة بيولوجياً، أو على مـ واد سامة، بحيث تتطلب في هذه الحالة معالجة كيميائية، أكثر منها بيولوجية.

ويمكن تلخيص العمليات الأساسية التي تتطلبها المعالجة الـ صناعية، في الآتي:

١ – تخثر للمحاليل المذابة، والمعلقات، والمستحلبات (Emulsions) وترسيبها.

٢ – تعويم هوائي أو طبيعي لفصل الزيوت والشحوم.

٣ – إضافة القلويات لرفع الرقم الهيدروجيني (PH) في المخلفات الحامضية.

٤ – التقطير، لفصل المواد المذابة الأخرى.

٥ – النزع أو الفصل بالبخار أو الغاز الخامل، لعزل المخلفات ذات نقطة الغليان المنخفضة.

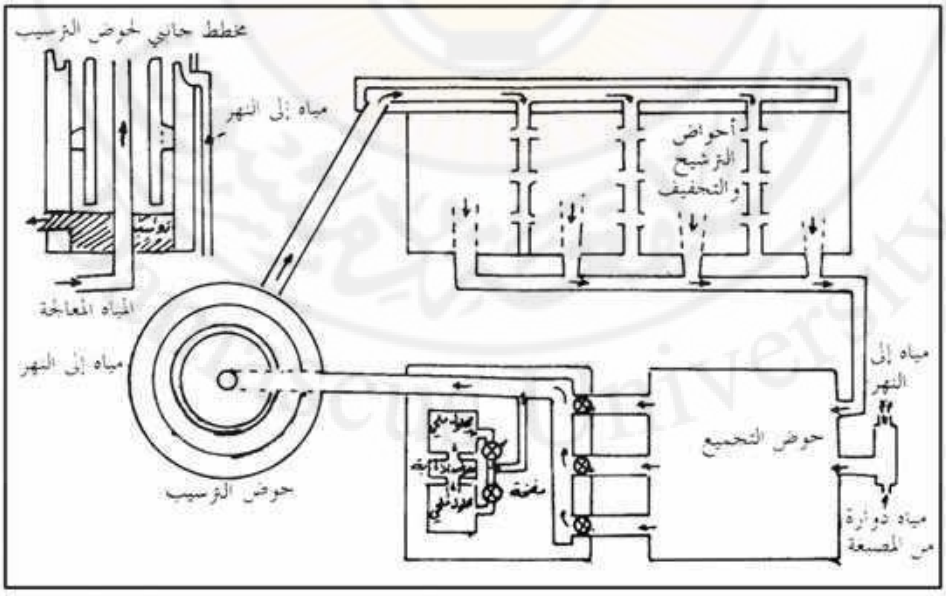
٦ – الأكسدة، لتحويل الكبريتيد إلى كبريتات (السولفيد – سولفات).

٧ – التحليل الكهربائي، أو التبادل الأيـ وني، أو الادمـ صاص الكربـ وني النشيط، لإزالة المواد السمية العالية.

وبصورة عامة فإن المواد المترسبة في أحواض الترسيب في محطات المعالجة المختلفة، يتم نقلها إلى أماكن خاصة لجمع النفايات، أما المياه الناتجة بعد المعالجة، فتصلح لأغراض الزراعة.

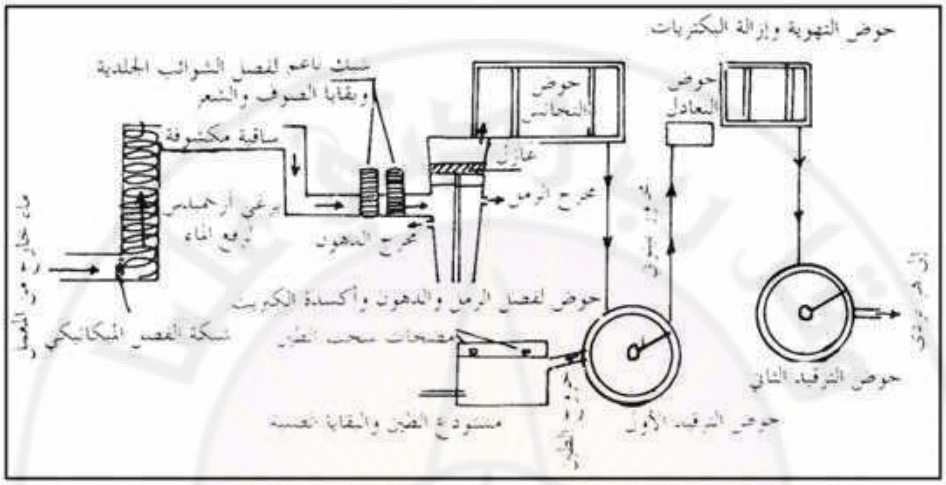
وفي سورية بعض من المراكز الصناعية، تحتوي على محطات معالجة لمخلفاتها، وهي لا تشغل سوى نسبة ضئيلة جداً، قياساً بالمراكز الصناعية العديدة التي لا تحتوي على محطات معالجة، ونذكر على سبيل المثال:

أ – الشركة العامة للصناعات النسيجية الحديثة بدمشق، التي تصنع الخيوط والأقمشة الصوفية والممزوجة، وتتم المعالجة لمخلفاتها بطرق فنية ضمن محطة معالجة، شكل (٩٣). وذلك بإضافة بعض الأملاح مثل كبريتات الألمنيوم إلى كميات المياه المطروحة من المصبغة والمراد معالجتها، مما يؤدي إلى فصل المواد العالقة وترسيبها حيث يتم بعدها طرح المياه في أحد أفرع نهر بردى (نهر تورا).



الشكل (٩٣) مخطط لمعالجة مياه صرف شركة الصناعات النسيجية الحديثة بدمشق

ب – معمل الدباغة الوطنية في دمشق التابع للشركة العربية للدباغة، الذي يحتوي على محطة معالجة حديثة، تتم معالجة المياه الملوثة الخارجة منه، وفق المراحل المبينة في الشكل (٩٤).



الشكل (٩٤) مخطط لمعالجة مياه صرف الشركة العامة للدباغة بدمشق

٤ – ٣ – معالجة مياه الشرب:

بما أن المياه المستخرجة من الطبيعة لاستخدامها كمياه للشرب – أو غير ذلك – تكون ملوثة بدرجات متفاوتة، لذا من الضروري إخضاعها للمعالجة لتنقيتها وتطهيرها من الشوائب المضرة بالصحة، وذلك قبل استعمالها.

وتهدف معالجة مياه الشرب، قبل استعمالها، إلى ما يلي:

١ – إنقاص كمية الأحياء الدقيقة، وإزالة البكتريات، والفيروسات المضرة بالصحة.

٢ – إزالة المواد الكيميائية المضرة بالصحة.

٣ – إزالة المواد العالقة (العوالق الصلبة... وسواها).

٤ – الإنقاص إلى المستوى الأدنى للكيميائيات التي يجب أن تدخل في المياه المستعملة في المنازل... أو غير ذلك.

٥ – إزالة أي صفات آكلة (ناخرة) في المياه، وحماية نظام التوزع الأنبوبي.

أما الشوائب الموجودة في المياه، والـ ضروري التحـ رر منهـ ا أو إنقاصها إلى حدود دنيا، فتتمثل في الآتي:

١ – جسيمات صلبة طافية ومعلقة بأحجام مرئية.

٢ – جسيمات صلبة دقيقة غروية ومعلقة تسبب تعكر المياه.

٣ – كائنات حية دقيقة.

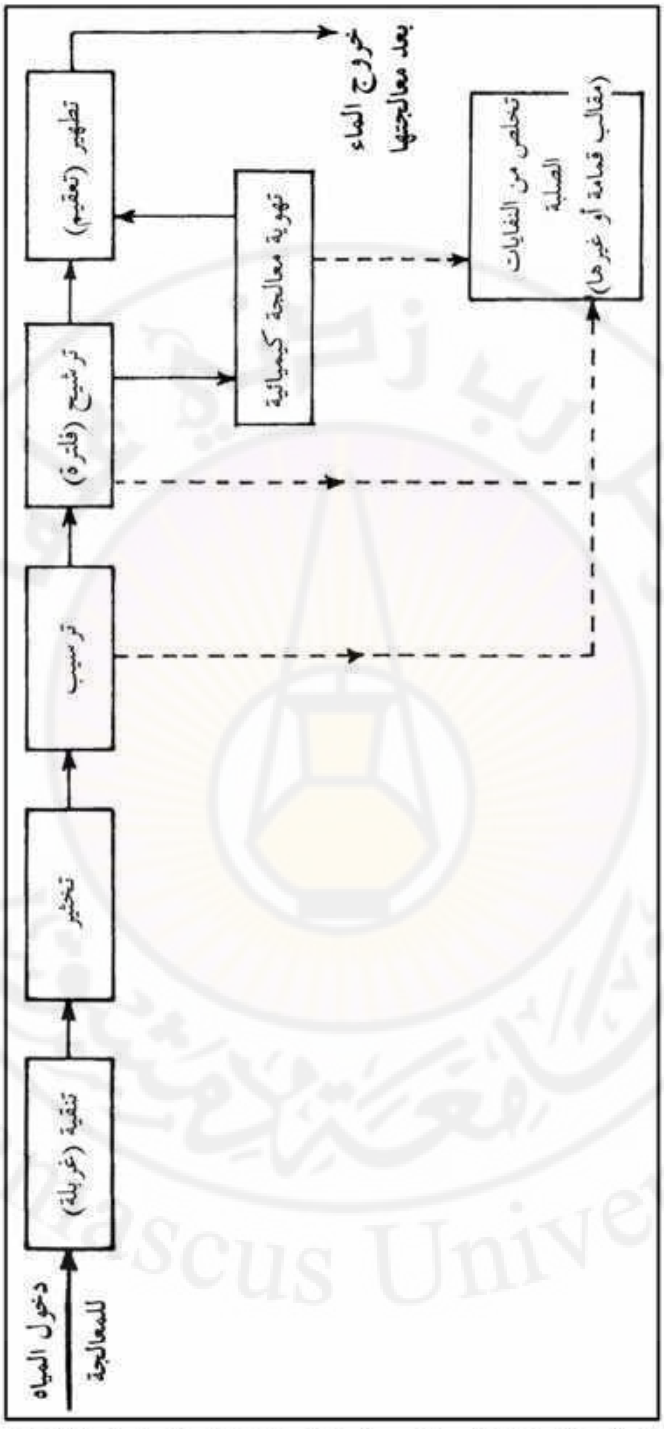
٤ – جسيمات صلبة منحلة تسبب قساوة المياه، وتؤثر على درجة حامضيتها.

٥ – غازات منحلة كالأكـ سجين، وثـ اني أكـ سيد الكربـ ون، وكبريتيـ د الهيدروجين... وغيرها.

وفي حال **المعالجة الكاملة للمياه**، فإنها تدخل في خمس مراحل معالجة قبل أن تصبح نقية مطهرة، شكل (٩٥)، تتدرج من **التنقية** (الغربلة) لإزالـ ة الجسيمات الصلبة العالقة، إلى **التخثير**، **فالترسيب**، ومن ثم **التصفية** (الفلترة)، ليعقب ذلك **معالجة كيميائية** تعمل على إزالـ ة الأمـ لاح الـ صلبة (حديـ د، منغنيز... إلخ) التي تؤثر على نوعية الماء وطعمه، ومن ثم تطهير الماء من البكتريا والفيروسات، بإضافة الكلور (الكلورة) أو غاز الأوزون.

وتكون المياه الجوفية ذات درجة تلوث محدودة، لذا فـ إن معالجتهـ ا تقتصر على تطهيرها من الجراثيم، وإزالة أملاح الصلابة والحديد، وتعديل الرقم الهيدروجيني.

ويمكننا القول أخيراً: إن معالجة الماء الخام أصبح أمـ راً ضـ رورياً لسلامة صحة الإنسان، وستصبح أكثر ضرورة وأهمية في المستقبل لتدني نوعية المياه السطحية، وحتى الجوفية، يوماً بعد يوم لما يدخل إليهـ ا مـ ن ملوثات مختلفة.



الشكل (٩٥) مخطط لمراحل معالجة المياه الخام قبل استعمالها للشرب

المصطلحات العلمية

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

A

Abiotic	غير حي
Abiotic Components	مكونات غير حية
Acidic	حامضي
Acidic Fog	ضباب حامضي
Acidic Rains	أمطار حامضية
Acclimatization	تأقلم
Activated Sludge	حمأة نشطة
Adaptation	تكيف
Aerosol	هباء جوي (عوالق صلبة)
Aerosol Spray Cans	صفائح الرش الترابية
Air Pollution	تلوث الهواء
Alpha Rays	أشعة ألفا
Atmosphere	الغلاف الجوي
Atmosphere Fixation	التثبيت الجوي
Atmosphere Pollution	التلوث الجوي (الهوائي)

B

Beta Rays	أشعة بيتا
Biodegradation	تفكك حيوي
Biological Control	مكافحة حيوية
Biological Fixation	التثبيت الحيوي
Biology	علم الأحياء
Bio mas	الكتلة الحيوية
Bio Oxygen Demand (BOD)	الأكسجين الحيوي المستهلك
Bio Sphere	الغلاف الحيوي
Black Rains	أمطار سوداء (أمطار دخانية)

Blood Rains	أمطار الدم (أمطار حمراء)
Bronchioles	شعب رئوية هوائية

C

Carbon Dioxide (CO_2)	ثاني أكسيد الكربون
Carbon Dioxide Cycle	دورة ثاني أكسيد الكربون
Carbon Monoxide (CO)	أول أكسيد الكربون
Carboxy Hemoglobin	كاربوكسي هيموغلوبين
Car Exhaust	عادم السيارة
Chemical Oxygen Demond (COD)	الأكسجين المستهلك كيميائياً
Chemical Pollutants	الملوثات الكيميائية
Chorophyll	اليخضور (كلوروفيل)
Chlorofloro Carbons (CFCs)	الكلورفلورو كربونات
Climatic Change	تغير مناخي
Coastal Pollution	تلوث ساحلي
Conservation	حماية، صيانة
Consumers	مستهلكون
Cultural System	نظام ثقافي (بشري)

D

Decibel (db)	ديسيبل (وحدة قياس الضوضاء)
Decomposers	المحللون (كائنات مفككة)
Deflection	تحريف
Degradation	تدهور
Deforestation	إزالة الغابات
Desertification	تصحر
Detergents	منظفات

Diversification	تنويع
Domestication	تدجين
Dust Storm	عاصفة ترابية
Dust Veil Index	قرينة الستار الغبارية

E

Ecology	علم البيئة
Ecological Pyramid	الهرم البيئي
Ecosphere	الغلاف البيئي
Ecosystem	النظام البيئي
Environment	البيئة
Environmental Pollution	التلوث البيئي
Eutrophisation	مياه الصرف الصحي (المجارير)
Exhaust	العادم
Extinction	انقراض

F

Feed Levels	مستويات غذائية
Feed Web	شبكة غذائية
Fertilizers	مخصبات
Fiery Clouds	سحب نارية
Fluorocarbon	فلوروكربون
Food Chain	سلسلة غذائية
Food Web	شبكة غذائية
Fossil Fuels	وقود متحجر
Fresh Water	مياه عذبة
Frequency	تردد

Fungicides	مبيدات فطرية

G

Gamma Ray	أشعة غاما
Garbages	نفايات
Germicide	مبيد جراثيم
Global Cooling	التبريد العالمي
Global Warming	الاحترار العالمي
Green House Effect	تأثير البيت الزجاجي
Greenhouse Gases	غازات البيت الزجاجي (الاحتباس الحراري)

H

Haemoglobin	خضاب الدم الأحمر
Half-Life	نصف العمر
Hearing	السمع
Herbicides	مبيدات عشبية
Herbivores	آكلات الأعشاب
Humus	دبال
Hydrocarbons	هيدروكربونات
Hydrological Cycle	الدورة المائية

I

Incineration	ترميد
Industrial Pollutions	ملوثات صناعية
Industrial Wastes	نفايات صناعية
Industrial Noise	ضوضاء صناعية
Infrared Radiation	أشعة تحت حمراء
Infrasonic	تحت صوتي

Insecticides	مبيدات حشرية
Instability	عدم استقرار
Ionization	تأين، تشرد، تكهرب
Ionosphere	الطبقة المتأينة

L

Lake	بحيرة
Life Forms	أشكال الحياة
Lead Tetra Alkyls	الكيلات الرصاص الرجاعية
Lithosphere	ليزوسفير (غلاف الأرض الصخري)

M

Mammalians	الثدييات
Marine Pollution	تلوث بحري
Marshes	مستنقفات
Mesosphere	ميزوسفير (طبقة جوية)
Methane	ميتان (غاز)
Metabolism	التمثيل الغذائي (الاستقلاب)
Micro Organisms	كائنات حية دقيقة
Mount Pinatubo	جبل بيناتوبو
Multi Levels Consumer	مستهلك متعدد المستويات

N

Natural Pollutants	ملوثات طبيعية
Natural Systems	أنظمة طبيعية
Neutron	نيوترون
Nitrate	نترات
Nitric Oxide	أكسيد النتريك

Nitrogen	نتروجين، آزوت
Nitrous Oxide	أكسيد النتروز
Nitrification	النترجة
Nitrogen Cycle	دورة الآزوت
Nitrogen Fixer	مثبتات آزوتية
Noise	ضوضاء
Nueo Ardnete	غيوم متوهجة
Nutrients	مغذيات
Nuclear Waste	نفايات نووية

O

Obliteration	إزالة
Offal	فضلات الذبائح
Oil Pollution	تلوث نفطي
Omnivors	آكلة الأعشاب
Organic Aerosol	إيروسول عضوي
Organic Community	مجمع حيوي
Over Grazing	رعي جائر
Oxidation	أكسدة
Oxygen Cycle	دورة الأكسجين
Ozonosphere	طبقة الأوزون الجوية
Ozone Depletion	تآكل الأوزون
Ozone Hole	ثقب الأوزون

P

Particulates	جسيمات، جزيئات، عوالق
Particulate Pollutants	ملوثات جسيمية

Pesticides	مبيدات حشرية
Phosphate Cycle	دورة الفوسفات
PH	الرقم الهيدروجيني (عامل الحموضة)
Photochemical Reaction	تفاعل كيماضوئي
Photosynthesize	تركيب (تمثيل) ضوئي
Phytoplankton	طافيات نباتية
Pollution	تلوث
Preservation	حفظ
Preliminary Treatment	معالجة تمهيدية
Primary Consumers	مستهلكون أوليون
Primary Pollutants	ملوثات أولية
Producers	منتجون
Protection	حماية
Paralysis	تحلل حراري

R

Radioactivity	نشاط إشعاعي
Radioactive Isotopes	نظائر إشعاعية
Radioactive Pollution	تلوث إشعاعي
Reference Sound Intensity	شدة الصوت المرجعية
Rem	ريم (وحدة قياس الجرعة الإشعاعية الممتصة)
Reptilians	زواحف
Resdul. H	مبيدات راكدة
Respiration	تنفس

S

Sand Storm	عاصفة رملية

Secondary Pollutants	ملوثات ثانوية
Secondary Consumer	مستهلك ثانوية
Semi-Natural System	نظام شبه طبيعي
Simplification	تبسيط
Sludge	حمأة
Smog	ضبخان
Soil Pollution	تلوث التربة
Solid Wastes	نفايات (مخلفات) صلبة
Soot	سخام، هباب
Sound	صوت
Stable Air Mass	كتلة هواء مستقرة
Sub-Natural System	نظام شبه طبيعي
Sulphur Cycle	دورة الكبريت
Surface Fungicides	مبيدات سطحية
Suspended Particles	جسيمات معلقة
System	نظام
Systematic Fungicides	مبيدات أساسية (داخلة)

T

Temperature Inversion	انقلاب حراري
Terrestrial Radiation	إشعاع أرضي
Thermal Pollution	تلوث حراري
Tertiary Consume	مستهلك ثلاثي
Thermosphere	الترموسفير (الطبقة الحرارية الجوية)
Top Carnivores	كائنات مستهلكة عليا
Toxicity	سمية
Toxic Wastes	نفايات سمية

Transformation	تحويل
Translocalted. h	مبيدات متحركة
Troposphere	تربوسفير (الطبقة الأولى الجوية)
Tropopouse	تروبوبوز (سقف التروبوسفير)
Turbidity	عكارة

U

Ultraviolet Rays	أشعة فوق بنفسجية
Ultra Sonic	فوق صوتي
Unstable	غير مستقر
Unwanted Sounds	أصوات غير مرغوبة

V

Vertilation	تهوية
Vibration	اهتزاز، ارتجاج
Volcano	بركان
Volcanic Ash	رماد بركاني

W

Waste	نفايات
Waste Disposal	تصريف (التخلص) النفايات
Waste Tip Seepago	ملوثات مقالب القمامة
Water Deficit	عجز (نقص) مائي
Water Desalination	تحلية المياه
Water Pollution	تلوث المياه

X

Xenon	زينون (كسينون) عنصر غازي خامل
Xerophyte	جفافيات (نباتات متأقلمة مع الجفاف)

X. Rays	أشعة سينية

Y

Yellow Fever	حمى صفراء
Yelp	نباح، عواء

Z

Zoogeography	جغرافية الحيوان
Zoology	علم الحيوان
Zoophagous	اللواحم، آكلة اللحوم
Zooplankton	العوالق الحيوانية الطافية في الماء

جامعة دمشق Damascus University

الفهارس

أولاً: فهرس الأشكال.

ثانياً: فهرس الجداول.

جامعة دمشق
Damascus University

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

أولاً: فهرس الأشكال

الصفحة

الشكل (١) الغلاف الحيوي وموقعه ضمن الأغلفة الأرضية ٢٠
الشكل (٢) الغلاف البيئي..... ٢٠
الشكل (٣) نظام بيئي بحيري (بركة مائية) ٢٣
الشكل (٤) نظام بيئي حقلي..... ٢٤
الشكل (٥) حركة المغذيات في نظام بيئي..... ٢٥
الشكل (٦) مخطط مبسط لعملية تمثيل ضوئي ٢٧
الشكل (٧) أنواع المستهلكين ورتبهم..... ٣٠
الشكل (٨) دورة النظام البيئي ٣٠
شكل (٩) أنواع الهرم الإحيائي ٣١
شكل (١٠) ديناميكية الهرم البيئي..... ٣٢
الشكل (١١) مخطط مبسط لعملية التنفس والهضم الأنزيمي في المستهلكين.. ٣٤
الشكل (١٢) شبكة غذائية في بيئة قارية ٣٦
الشكل (١٣) شبكة غذائية في بيئة مائية عذبة ٣٧
الشكل (١٤) جريان الطاقة ضمن نظام بيئي. ٣٩
الشكل (١٥) البيئات المناخية في العالم ٤٣
الشكل (١٦) البيئات النباتية في العالم..... ٤٥
الشكل (١٧) دورة المياه في الطبيعة..... ٥٢
الشكل (١٨) دورة الآزوت في الطبيعة ٥٥
الشكل (١٩) دورة ثاني أكسيد الكربون في الطبيعة ٥٨
الشكل (٢٠) دورة الأوكسجين في الطبيعة ٥٩
الشكل (٢١) دورة الفوسفات على اليابسة ٦٠

الصفحة

الشكل (٢٢) دورة الفوسفات في الماء ٦١
الشكل (٢٣) دورة الكبريت في الطبيعة ٦٣
الشكل (٢٤) النفايات والتلوث ضمن المستهلك الصناعي ٧٢
الشكل (٢٥) مخلفات الإنسان أحد عوامل تلوث البيئة – مصادر وطرق التخلص من النفايات في البيئة ٧٤
الشكل (٢٦) منحنى التزايد في كمية الـ (CO_2) في الجو خلال الفترة (١٨٦٠ – ٢٠١٠م)..... ٨٦
الشكل (٢٧) طبقات الجو الرئيسة ٨٨
الشكل (٢٨) تشكل الغازين الرئيسيين في الجو الحالي ٩٢
الشكل (٢٩) ثورة بركان جبل سانت هيلانة في (٢٢) تموز (١٩٨٠م).... ١٠١
الشكل (٣٠) سحب بركانية متوهجة ١٠٩
الشكل (٣١) ثورة بركان بريكوتين في المكسيك (أ)، وثورة بركان بيناتوبو في الفلبين (ب) ١١٠
الشكل (٣٢) عاصفة ترابية في سورية تاريخ (نيسان عام ١٩٥١م) ١١٢
الشكل (٣٣) مخطط لمراحل تطور الحريق الـ شجري، وتـ شكل الـ سحب الدخانية ١١٤
الشكل (٣٤) منحنى انبعاث الدخان في المملكة المتحدة خلال الفتـ رة (١٩٥٢ – ١٩٧٠م) ١٢٠
الشكل (٣٥) معدل تركز الدخان و(SO_2) عند مستوى سـ طح الأرض خـ لال الفترة (١٩٥٨ – ١٩٧٠م) في المملكة المتحدة ١٢١
الشكل (٣٦) السيارات ملوثة للبيئة..... ١٢٧
الشكل (٣٧) تلوث الهواء الشديد الناتج عن إحدى محطـ ات تكريـ ر البتـ رول الواقعة قرب بيللينج (مونتانا بكندا) ١٣١

الصفحة

الشكل (٣٨) المناطق الملائمة طبوغرافياً (المناطق المنخفضة) ومناخياً لتـ شكل الضباب والضبخان ١٣٨
الشكل (٣٩) مخطط عام لآلية التفاعلات التي ينجم عنه ا تـ شكل الـ ضبخان، وبروكسي أسيل النترات ١٣٩
الشكل (٤٠) تصنيف الإيروسول ١٤٧
الشكل (٤١) مصادر ونماذج الإيروسول الجوي ١٤٨
الشكل (٤٢) مقارنة أحجام الإيرسول مع أطوال الموجات الإشعاعية ١٤٩
الشكل (٤٣) متوسط مدة بقاء الجسيمات (الجزيئات) في الأجزاء المختلفة مـ ن الجو ١٥٣
الشكل (٤٤) تأثير وجود الانقلاب الحراري وعدمه، على تمركز الملوثات ١٦٦
الشكل (٤٥) مدى إمكانية حدوث التلوث الشديد في المناطق المعرضة أكثر مـ ا يكون لحوادث الانقلاب الحراري (أ، ب)..... ١٦٧
الشكل (٤٦) النماذج الرئيسية لطريقة انتشار الملوثات الجوية، حـ سب درجـ ة استقرار الجو ١٦٩
الشكل (٤٧) تأثير سرعة الرياح على تمركز الملوثات الهوائية..... ١٧٠
الشكل (٤٨) درجة تمركز الملوثات الصلبة والغازية حسب سرعة الرياح. ١٧١
الشكل (٤٩) منحنى تلوث الهواء والوفيات في لندن عام (١٩٥٢م)..... ١٧٨
الشكل (٥٠) الدورة الجوية لمركبات الكلوروفلوروميتان المـ ؤثرة علـ ى غـ از الأوزون الجوي..... ١٨٥
الشكل (٥١) العلاقة بين درجة شفافية الجو والاندفاعات البركانية الضخمة مـ ن جهة، والمتوسط السنوي لكمية الأشعة الواصلة إلى سـ طح الأرض مـ ن جهة أخرى ١٨٧

الصفحة

الشكل (٥٢) درجة امتصاصية بعض المركبات الجوية الهامة في الدفيئة للأطوال الموجية الإشعاعية المختلفة ١٩١
الشكل (٥٣) الاتجاه العام للحرارة في نصفي الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي وعلى مستوى الكرة الأرضية بشكل عام منذ عام (١٨٦٠م) وحتى عام (١٩٩٠م) ١٩٣
الشكل (٥٤) آلية تشكل الأمطار الحامضية ١٩٥
الشكل (٥٥) مقياس الحامضية (PH) ١٩٦
الشكل (٥٦) توزع حامضية التهطال في منتصف الثمانينات من القرن العشرين..... ١٩٧
الشكل (٥٧) الجزيرة الحرارية في مدينة لندن ٢٠١
الشكل (٥٨) الجزيرة الحرارية لمدينة عمان الأردنية ٢٠١
الشكل (٥٩) الحركة الهوائية المحلية فوق المدينة ٢٠٢
الشكل (٦٠) آثار نقص الأوزون على المناخ والأحياء ٢٠٨
الشكل (٦١) مسارات الرصاص إلى الجسم..... ٢١١
الشكل (٦٢) السحابة الإشعاعية الناتجة عن انفجار المفاعل النووي تشرنوبل في (٢٦) نيسان (١٩٨٦م)، ومسارها ٢٢٣
الشكل (٦٣) انتقال العناصر المشعة إلى الإنسان عبر السلسلة الغذائية..... ٢٢٦
الشكل (٦٤) السحابة الإشعاعية الناجمة عن ضرب ناغازاكي بالقنبلة النووية (أ)، وصورة لمعاناة هيروشيما من القنبلة النووية (ب)..... ٢٢٧
الشكل (٦٥) السلم التدريجي للضوضاء..... ٢٤٢
الشكل (٦٦) الموجات الصوتية بالابتعاد عن مصدرها ٢٤٤
الشكل (٦٧) تردد الصوت وشدته ٢٤٥
الشكل (٦٨) تأثير التعرض إلى ضوضاء العمل على نقص السمع ٢٧١

الصفحة

الشكل (٦٩) تأثير الضوضاء على الجسم وانتقال ذلك عبر أعضاء الجسم. ٢٧٥
الشكل (٧٠) صورة لتركز السيارات في ساحة المحافظة بمدينة دمشق (أ) ٢٨٢
شارع النصر (ب)..... ٢٨٣
الشكل (٧١) نسب توزع النفايات الصلبة على قطاعاتها المختلفة في المملكة المتحدة ٣٠٤
الشكل (٧٢) عملية تلوث التربة من مقلب قمامة ٣٠٨
الشكل (٧٣) التلوث بالمبيدات الكيماوية..... ٣٢٠
الشكل (٧٤) توزع الماء على سطح الكرة الأرضية..... ٣٣٩
الشكل (٧٥) جمع مياه الأمطار من سطوح المنازل ٣٤٤
شكل رقم (٧٦) ضخ المياه من الآبار الجوفية..... ٣٤٥
الشكل رقم (٧٧) مناطق التهطال المطري والعجز المائي والأنهار في كل من إنكلترا وويلز ٣٤٧
الشكل رقم (٧٨) الاختلافات في كمية الجريان الوسطية لمياه نهر العاصي في سورية..... ٣٤٩
الشكل (٧٩) طبقات المياه الجوفية ونظامها الارتوازي..... ٣٥٠
الشكل (٨٠) مخطط لتصريف النفايات الصلبة والسائلة ٣٦٣
الشكل (٨١) شدة فاعلية بعض الملوثات السائلة..... ٣٦٥
الشكل (٨٢) نظام تبريد مفاعل نووي والتلوث الحراري المائي الناجم عنه ٣٧٥
الشكل (٨٣) منحنيات تقوس الأكسجين في نهر التايمز..... ٣٨٥
الشكل رقم (٨٤) العلاقة بين نسبة التشبع بالأكسجين، والأكسجين الحيوي المستهلك في مجرى مائي..... ٣٨٧
الشكل (٨٥) تأثيرات التلوث العضوي على الحياة البيولوجية في مياه نهر. ٣٩١
الشكل (٨٦) تأثيرات التلوث العضوي على المغذيات في مياه نهر ٣٩٢

الصفحة

الشكل (٨٧) نماذج من الطحالب المائية..... ٤٠١
الشكل (٨٨) مخطط لحركة الزئبق في الغلاف الحيوي..... ٤٠٨
الشكل (٨٩) العلاقة بين استعمال المنظفات وتركيز الفوسفات في مياه نهر التايمز ٤١٢
الشكل (٩٠) مخطط يبين أساليب ومراحل عمليات تصريف النفايات ٤٣٤
الشكل (٩١) مقلب قمامة نموذجي ٤٣٦
الشكل (٩٢) مراحل معالجة مياه الصرف الصحي (المجارير) ٤٤٥
الشكل (٩٣) مخطط لمعالجة مياه صرف شركة الصناعات الكهربائية الحديثة بدمشق..... ٤٤٩
الشكل (٩٤) مخطط لمعالجة مياه صرف الشركة العامة للدباغة بدمشق .. ٤٥٠
الشكل (٩٥) مخطط لمراحل معالجة المياه الخام قبل استعمالها للشرب ٤٥٢

ثانياً: فهرس الجداول

الصفحة

جدول (١) سلسلة غذائية خطية مبسطة في بيئة قارية ٣٣

جدول (٢) سلسلة غذائية خطية مبسطة في بيئة مائية ٣٤

جدول (٣) الحجم الإجمالي لماء الدورة المائية ٥٣

جدول (٤) أهم الغازات التي يتكون منها الهواء الجاف النقي ٨٥

جدول (٥) الكمية التقريبية من الملوثات البشرية المنطلقة إلى الجو سنوياً في آخر الستينات من القرن العشرين..... ٩٩

جدول (٦) يبين الاندفاعات البركانية الرئيسية خلال الفترة (١٦٠٠ – ١٩٨٠م) ١٠٥

جدول (٧) التوزيع العام للمادة الغازية البركانية ١٠٧

جدول (٨) كمية الملوثات من دخان ثاني أكسيد الكبريت الناتجة من احتراق الفحم وغيره من أنواع الوقود في المملكة المتحدة خلال عام (١٩٧٥م) ١١٧

جدول (٩) التغير في نوعية استهلاك الطاقة في المملكة المتحدة في الاستعمالات كافة خلال الفترة من عام (١٩٦٠ إلى عام ١٩٧٦) .. ١١٩

جدول (١٠) مصادر المواد الملوثة للهواء في الولايات المتحدة لعام (١٩٦٥م) ١٢٣

جدول (١١) الملوثات التي أطلقتها السيارات ونوعيتها في المملكة المتحدة عام (١٩٧٣م) ١٢٤

جدول (١٢) أهم مكونات الاحتراق السامة الموجودة في غازات العادم عند استهلاك (١٠٠) لتر من البنزين ١٢٦

جدول (١٣) عدد السيارات بمختلف أنواعها والدراجات النارية واستهلاكها من البنزين في سورية عام (١٩٩٦م) ١٣٠

الصفحة

جدول (١٤) أهم الملوثات الغازية التي تطلقها الصناعات المختلفة..... ١٣٢
جدول (١٥) التغير الواضح في نسب الغبار الصناعي في المملكة المتحدة، خلال الفترة (١٩٥٨ - ١٩٧٢م)..... ١٣٣
جدول (١٦) درجة تراكيز الغازات المتشكلة من مقالب النفايات المنزلية .. ١٣٥
جدول (١٧) أهم التفاعلات الكيمضوئية الملوثات الناتجة عنها..... ١٣٧
جدول (١٨) حوادث التلوث الهوائي الضبخاني وما رافقها من وفيات ١٤٠
جدول (١٩) أهم خصائص عناصر الدفيئة الجوية..... ١٨٩
جدول (٢٠) الفوارق بين مناخ المدينة والريف..... ١٩٩
جدول (٢١) العتبة الحدية التي تبدأ عندها الملوثات بإحداث تأثيرات ضارة واضحة..... ٢٠٤
جدول (٢٢) الأنواع النووية العنصرية الإشعاعية..... ٢١٧
جدول (٢٣) معدل الإشعاع الطبيعي في المملكة المتحدة (١٩٧٦م)..... ٢٢٠
جدول (٢٤) العلاقة بين وحدات القياس الثلاثة للصوت في الهواء عند مستوى سطح البحر ٢٣٩
جدول (٢٥) السلم التدريجي للضوضاء الناتجة من مصادر مختلفة، ودرجة إزعاجها ٢٤٣
جدول (٢٦) العلاقة بين السرعة ونوعية الطريق، والضوضاء..... ٢٥١
جدول (٢٧) تطور عدد وسائط النقل في سورية خلال قرابة (١٥) عاماً .. ٢٥٤
جدول (٢٨) مستويات الضجيج لعدد من أنواع الطائرات في بعض المطارات البريطانية..... ٢٥٦
جدول (٢٩) مستويات الضوضاء الناتجة عن بعض الصناعات ٢٥٩
جدول (٣٠) مستويات الضوضاء التي تسببها بعض الأجهزة المنزلية ٢٦١
جدول (٣١) مستويات الضوضاء المنبعثة من الجوار ٢٦٣

الصفحة

جدول (٣٢) درجة فقد السمع وتأثيره عند مستويات ضوضاء معينة..... ٢٦٩
جدول (٣٣) فقد السمع لعمال من أعمار مختلفة ومدة تعرض للضوضاء متباينة ٢٧٠
جدول (٣٤) مستويات الضوضاء القصوى المسموح بها ٢٧٢
جدول (٣٥) متوسط مستويات الضوضاء الخارجي في مواقع مختلفة من مدينة دمشق ٢٨٤
جدول (٣٦) متوسط مستويات الضوضاء (ديسيبل) المقاسة في بعض المناطق التجارية والصناعية في مدينة دمشق ٢٨٦
جدول (٣٧) متوسطات مستويات الضوضاء في بعض مشافي مدينة دمشق ... ٢٨٧
جدول (٣٨) توزيع الأراضي في سورية وفق استعمالاتها لعامي (١٩٨١م و١٩٩٦م) ٢٩٤
جدول (٣٩) كمية النفايات الصلبة السنوية التي تقدر بنحو (١٦٥) مليون طن، موزعة على قطاعات إنتاجها المختلفة في المملكة المتحدة ٣٠٣
جدول (٤٠) أنواع النفايات السمية ٣٠٥
جدول (٤١) أنواع المبيدات شائعة الاستعمال ٣١٧
جدول (٤٢) انتقال مبيد ال (د. د. ت) عبر السلسلة الغذائية..... ٣٢٢
جدول (٤٣) تطور استخدام الأسمدة ومواد المكافحة والأدوية البيطرية في سورية خلال الفترة (١٩٩٢ - ١٩٩٦م) ٣٢٩
يوضح جدول (٤٤) العلاقة بين درجة الحرارة وكمية الأكسجين المنحل في الماء..... ٣٥٧
جدول (٤٥) الخصائص الفيزيائية والكيميائية القياسية لمياه الشرف في سورية ٣٥٩

الصفحة

جدول (٤٦) كمية البترول المتصرفة إلى المياه في كل من المملكة المتحدة، والولايات المتحدة الأمريكية..... ٣٦٩
جدول (٤٧) أنماط تلوث الأنهار والبحيرات، ومصادرها وآثارها ٣٧١
جدول (٤٨) تشبع المياه بالأكسجين المنحل (مغ/ل) في درجات حرارة مختلفة ٣٨٢
جدول (٤٩) القيم المعيارية العالمية للمياه الصالح للاستخدامات المنزلية، وللشرب وفق تحديد منظمة الصحة العالمية عام (١٩٧١م) ٤٠٤
جدول (٥٠) بعض طرق التخلص من النفايات الصناعية في المملكة المتحدة .. ٤٣٦

المراجع والمصادر

أولاً: باللغة العربية.

ثانياً: باللغة الإنكليزية.

وقل رب زدني علما
جامعة دمشق
Damascus University

١ - المراجع باللغة العربية:

- أحمد الشعار (معالجة المياه الناتجة عن الدباغات)، الندوة العلمية لتلوث بردى وغوطة دمشق، نقابة مهندسي محافظة دمشق، ١٩٨٦م.
- أحمد ديب دشاش (الصحة العامة)، جامعة دمشق، ١٩٨٢م.
- أحمد رشيد (علم البيئة)، معهد الإنماء العربي، بيروت، ١٩٧٦م.
- الجمعية الأمريكية (مكافحة تلوث البيئة)، ترجمة أنور محمود عبد الواحد، مكتبة النهضة المصرية، ١٩٧٢م.
- المجلة العربية للعلوم، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، العدد الثالث، كانون الأول ١٩٧٣م، تونس، عدد خاص عن التلوث البيئي.
- أوين، د. ف (ما هو علم البيئة)، ترجمة باسل الطباع، وزارة الثقافة والإرشاد القومي، دمشق، ١٩٧٥م.
- إيان، ج. مسيمونز (البيئة والإنسان عبر العصور)، ترجمة السيد محمد عثمان، عالم المعرفة، ٢٢٢، الكويت، ١٩٩٧م.
- إيغور أداباشيف (الإنسان والبيئة)، ترجمة عبد الله حبة، دار مير للطباعة والنشر، موسكو، ١٩٨٥م.
- توماس أميل (البيئة وأثرها على الحياة السكانية)، ترجمة زكريا أحمد البرادعي، مكتبة الوعي العربي، القاهرة، ١٩٧٧م.
- تيودور بيرلاند (مكافحة الضوضاء)، ترجمة نظمي لوقا، دار المعارف، مصر، ١٩٧٤م.
- جيلدا زخيا (مشكلة التلوث في البحر الأبيض المتوسط)، معهد الإنماء العربي، بيروت، ١٩٧٨م.

- رشيد الحمد، محمد سعيد صباريني (البيئة ومشكلاتها)، عالم المعرفة، الكويت، ١٩٧٩م.
- روبرت لافون (التلوث)، ترجمة ناديا القباني، قضايا الساعة، ١٩٧٧م.
- رياض دركزنلي (دراسة في تلوث البيئة بالغازات المتخلفة عن احتراق الوقود)، دمشق، شركة المحروقات، بحث غير مؤرخ.
- ريتشارددوز، ج. أ، وآخرون (الفيزياء الحديثة للجامعات - الميكانيك الفيزيائي والصوت)، ترجمة عبد الرزاق قدورة، وآخرون، جامعة دمشق، ١٩٨٢م.
- سامح غرايبة، يحيى الفرحان (مدخل العلوم البيئية)، عمان، الأردن، ١٩٨٧م.
- سامر مخيبر، خالد حجازي (أزمة المياه في المنطقة العربية)، عالم المعرفة، عدد ٢٠٩، الكويت، ١٩٩٦م.
- سعد الله الشواف (التلوث بمياه الصرف الصحي بحوض بردى والأعوج)، الندوة العلمية لتلوث بردى وغوطة دمشق، نقابة مهندسي محافظة دمشق، ١٩٨٦م.
- سليمان محمد العقيلي، بشير محمود الجزار (تلوث الهواء)، الرياض، ١٩٩٠م.
- صالح المعتاز (الغازات الصادرة من محركات السيارات)، المجلة العربية للعلوم، العدد الثامن، ١٩٨٦م، ص٦٩ - ٧٧.
- عادل عبد السلام (جغرافية سورية)، دمشق، ١٩٧٣م.
- عادل عوض (أبحاث مختارة من علوم البيئة)، دار طلاس، دمشق، ١٩٨٩م.

- عبد الرزاق الخطيب (التلوث في حوض بردى)، الندوة العلمية لتلوث بردى وغوطة دمشق، نقابة مهندسين محافظة دمشق، ١٩٨٦م.
- عبد العزيز موصلي (تلوث بردى من المنبع إلى المصب)، نقابة مهندسي محافظة دمشق، ١٩٨٦م.
- علي حسن موسى (البيئة والتلوث)، جامعة دمشق، ١٩٨٧م.
- علي حسن موسى (التلوث الجوي)، دار الفكر، دمشق، ١٩٩٠م.
- علي حسن موسى (الزلازل والبراكين)، دار الفكر، دمشق،١٩٩٠م.
- علي حسن موسى (الوجيز في المناخ التطبيقي)، دمشق، دار الفكر، ١٩٨٢م.
- علي حسن موسى (مشكلات الطبيعة الراهنة)، جامعة دمشق، ٢٠١٥م.
- فؤاد الصالح، أحمد الشلاح (التلوث البيئي والأمن الصناعي)، جامعة دمشق، ١٩٩٤م.
- فريز الأجرد (حماية البيئة والتخلص من النفايات)، وزارة الإدارة المحلية، محافظة دمشق، ١٩٩٠م.
- فواز اللحام (المياه الصناعية الناتجة عن الصناعات النسيجية وطرق معالجتها)، دمشق، بحث غير مؤرخ.
- لطف الله قاري (الأمطار الحامضية)، الرياض، ١٩٨٩م.
- محمد العودات (التلوث وحماية البيئة)، دار الأهالي، دمشق، ١٩٨٨م.
- محمد بشير النجار (حرائق الغابات)، دمشق، ١٩٨٢م.
- محمد عبد الرحمن الشرنوبي (مشكلات البيئة المعاصرة)، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة، ١٩٩٣م.
- محمود الرفاعي، وآخرون (تلوث ماء العاصي وأثره على الري) بحث غير مؤرخ.

- مديرية الإرشاد الزراعي (دليل المبيدات الزراعية المستخدمة في القطر العربي السوري)، وزارة الزراعة والإصلاح الزراعي، دمشق، ١٩٩١م.
- مصطفى الدقاق (السموم المهنية وتلوث البيئة)، جامعة دمشق، ١٩٨٢م.
- منظمة الصحة العالمية (دلائل جودة مياه الـ شرب - الجـ زء الأول - التوصيات)، جنيف، ١٩٨٤م.
- نصر الحايك (تلوث الهواء)، دار الحصار، دمشق، ١٩٩١م.
- هشام البرهاني (الماء والصحة)، دمشق، ١٩٨٥م.

ثانياً: المراجع باللغة الإنكليزية:

- Ayoade, I. O; «Introduction to Climatology for the Tropics». John Wiley & Sons, New York, 1983.
- Bradley, R. S & Jones, P. D; «Data Basis for islating the effects of the increasing Carbon Dioxide Concentration». Ynited states Department of Energy, CO^2, DOE/ER- 0235, p. 29 - 53.
- Butler, J. D; «pollution chemistry». Academic Press, London, 1979.
- Dix, H. M; «Environmental Pollution». John Willey & Sons' New York, 1981.
- Kemp, D. D; «Global Environmental Issues: Aclimatological Approach». Routledg, London and New York, 1990.
- Kovach, R. & McGuire, B; «Guide to Global Hazards». Philip's, London, 2003.
- Kupchella, C. E. Hylond, M. C; «Environmental Science: living the system of Natuere». Prentice - Hall International, inc. 1993.
- Lovelock, J. E; «Air Pollution and Climatic Change». Atmospheric Environment, Vol. 5, 1971.
- Matthems, J. A; «Quantitative and Statistical Approaches Geography». Oxford, 1981.
- Neiburger, M and Other; «Understanding our Atmospheric Environment». San Francisco, 1973.
- Smith, K; «Principles of Applied Climatology». John Wiley and Sons, New York, 1975.
- Tarbuk, E. J & Lutgens, F. K; «Earth Science». Columbus' Ohio' 1976.
- Turk, J; «Introduction to Environmental Studies». W. B. Saundens, London, 1980.
- Turk, A, Turk, H. and Wittes, J. I; «Ecology Pollution, Environment». W. B. Sounmrs Coomp, 1972.
- Cxang' Xei - Chyung, and Others; «Potential Climatic Effects of Perturbations Other than Carbon Dioxide». United States Department of Energy, CO2, DOE/ER-0238, pp. 191 - 236.
- Warg, K, and Warner, C. F; «Air Pollution its Origin and Control». Marper and Row Publishers, New York, 1976.
- White, I, D, Mottershead & Harrison, S. J; «Environmental Systems». Chapman F Hall, London, 1992.

اللجنة العلمية:

أ. د. أمين طربوش.

أ. د. فاتنة ياسين الشعال.

أ. د. أسامة قدور.

المدقق اللغوي

د. محمد قاسم

حقوق الطبع والترجمة والنشر

محفوظة لمديرية الكتب والمطبوعات الجامعية