التلوث البيئي

أ.م.د. نعيم شند حمادي **المحاضرة السابعة**

تلوث الماء

الماء سائل ضروري للحياة ولا غنى عنه لجميع الكائنات الحية. وتأتي أهمية الماء للإنسان بعد أوكسجين الهواء مباشرة فالإنسان يحتاج إلى بضعة لترات منه كل يوم ولذلك يجب أن يكون هذا الماء نقيا في حدود معقولة وإلا أصيب الإنسان عن طريقه بكثير من الأضرار وتعرض لكثير من الأمراض المعروفة مثل: الكوليرا والدوزنتاريا وغيرهما من الأمراض التي تقضي على حياة الانسان. والماء مذيب جيد لكثير من المواد فهو يذيب كل شيء على وجه التقريب، وإن كان ذلك يحدث بنسب متفاوتة. وحتى الأشياء التي لا تذوب فيه تكون معه في أغلب الأحيان معلقات غروية تشبه المحاليل إلى حد كبير. وتحتوي مياه البحار والمحيطات على كثير من الأملاح والمركبات الكيميائية الذائبة فيها، كما تحتوي هذه المياه على نسب متفاوتة من أغلب المعادن والفلزات التي نعرفها بما فيها الذهب والفضة وغيرهما. وعندما تتعرض مياه البحار والمحيطات لحرارة الشمس يتبخر جزء منها، ويتصاعد في الجو على هيئة بخار لا يرى، وعندما يبرد هذا البخار في طبقات الجو العليا يظهر لنا على هيئة سحاب. وتشبه هذه العملية عملية التقطير التي تجرى في المعامل، وعندما يتبخر الماء يتصاعد بخاره على هيئته النقية لأنه يترك وراءه كل ما كان ذائبا فيه من أملاح ومركبات. وعندما تصعد هذه السحب إلى الأجواء الباردة في طبقات الجو العليا يتكثف ما بها من بخار، تحت بعض الظروف الخاصة، ويتحول إلى قطرات من الماء، ويتساقط على هيئة أمطار فوق الهضاب وعلى سفوح الجبال، ثم تتجمع هذه المياه على هيئة بحيرات مقفلة تملأ المنخفضات أو الوديان، أو تجري في السهول المنبسطة وتكون الأنهار التي تعود بعد ذلك لتصب مياهها مرة أخرى في البحار والمحيطات. وتعتبر عادة مياه الأمطار من أنقى صور المياه الطبيعية، ومع ذلك لا يمكننا أن نقول إن هذه المياه نقية تمام النقاء، وذلك لأن مياه الأمطار قد تذيب في أثناء سقوطها بعض الغازات الموجودة في الهواء، وقد تحمل معها بعض الشوائب العالقة بالطبقات السفلى من الغلاف الجوي، وتحملها معها إلى سطح الأرض. وقد تتلوث مياه الأمطار بشكل واضح فوق بعض المناطق الصناعية ومناطق التجمع السكاني الكثيفة بسبب تلوث هواء هذه المناطق بدخان المصانع وبعادم السيارات، وتعرف مثل هذه الأمطار بالأمطار الحامضية كما ذكرنا من قبل. وعند سقوط مياه الأمطار على سطح الأرض تبدأ هذه المياه في إذابة كثير من المواد سهلة الذوبان الموجودة في التربة، مثل: الأملاح المعدنية، وما قد يكون بالتربة من مبيدات أو مخصبات زراعية، كما أنها تجرف معها في طريقها كثيرا من الفتات والشوائب، وتحمل معها كل ذلك لتلقي به في المجاري المائية مثل الأنهار والبحيرات. ويتضح من ذلك ضرورة الاهتمام بالمكان الذي تؤخذ منه مياه الشرب للإستعمال البشري، فيجب أن يكون ذلك من مكان يخلو من الشوائب والمواد العالقة، ولا يحتوي على مواد ذائبة، وبعيدا كل البعد عن مصادر التلوث. ومن الملاحظ أن أغلب المدن والتجمعات السكانية في أغلب دول العالم تقع على شواطئ الأنهار والبحيرات، وتؤخذ مياه الشرب للإستعمال البشري من هذه المجاري المائية، ولهذا تجب المحافظة على نظافة هذه المصادر المائية. ولم تكن فكرة تلوث الماء، أو تلوث البيئة بشكل عام تشغل الأذهان فيما مضى، وكان أغلب المدن في العصور الوسطى، في أوروبا خاصة، تلقي بمخلفاتها وفضلاتها، بما فيها الفضلات البشرية، في المجاري المائية المجاورة لها، والتي كانت تأخذ منها مياه الشرب والغسيل وتستخدمها في مختلف الأغراض. ولم يفكر أحد في ذلك الزمان أن جزءا من هذه المخلفات والفضلات قد يعود إليه مرة أخرى عن طريق مياه الشرب أو الغسيل، كمالم يدرك أحد في ذلك الحين مدى الأضرار

التي يمكن أن تحدث لصحة الإنسان من جراء هذا التصرف الذي قد يؤدي إلى انتشار الأمراض والأوبئة. وقد حدث هذا فعلا في بعض المدن الأوروبية، ومنها مدينة لندن التي تقع على شاطئ نهر التايمز بإنجلترا. وقد درجت هذه المدينة على إلقاء كل مخلفاتها، بما فيها مياه الصرف التي تحتوي على الفضلات البشرية في هذا النهر، وبمرور الوقت تحول نهر التايمز إلى كتلة من القذارة، وأصبحت مياهه، في منتصف القرن التاسع عشر، شديدة التلوث، تطفو على سطحه كل أنواع الفضلات والمخلفات. وقد أدى ذلك إلى انتشار وباء الكوليرا بين سكان مدينة لندن في الفترة بين عامي ١٨٤٩ و١٨٥٣ ونتج من ذلك وفاة عدد هائل من سكان المدينة وسكان المناطق المحيطة بها، بلغ في مجموعه نحو عشرين ألفا من الأفراد. ولم تكن مدينة لندن هي المدينة الوحيدة التي انتشرت فيها الأوبئة نتيجة تلوث المياه، فقد تكررت هذه المأساة في كثير من المدن الأوروبية، كما أن بعض المدن الأمريكية قد انتشر فيها وباء التيفود في الفترة نفسها تقريبا، ولهذه الأسباب نفسها. وبمرور الزمن زادت معرفة الإنسان، وتنبه الناس إلى وجود البكتيريا المسببة للأمراض، وفطن الناس إلى أهمية تنقية مياه الشرب من كل الشوائب والمواد العالقة، كما تنبه الإنسان إلى ضرورة إقامة نظام محكم للصرف الصحي لمخلفات المدن وفضلاتها، يكون بعيدا كل البعد عن هذه المدن وبعيدا كل البعد عن مأخذ مياه الشرب. ولم تحل مشكلة تلوث المياه حلا نهائيا في ذلك الحين فقد كان الفكر السائد في تلك الفترة فكرا ضيقا ومحدودا، ولا يهتم إلا بالمصلحة الذاتية فقط، ولذلك فقد تركزت جهود كل مدينة في إبعاد هذا التلوث عن نفسها فقط، دون أن تأخذ في الاعتبار ما قد يحدث من تلوث لبعض البيئات الأخرى البعيدة عنها. وقد استمر هذا الفكر سائدا حتى عهد قريب. وحتى نهاية الستينات لم يكن أحد يلقي اهتماما كبيرالموضوع التلوث، ولم يؤخذ هذا الموضوع بجدية فيما مضى، وكان أقصى ما يمكن عمله بهذا الخصوص لا يتجاوز الاهتمام قليلا بالبيئة المحلية فقط، دون أن يؤخذ في الاعتبار ما قد يصيب البيئة الشاملة من تلوث على مستوى أكبر من ذلك، أو على المستوى الدولي. وقد كان هناك نوع من الاعتقاد السائد لدى الجميع، وهو اعتقاد خطير، بأن الأنهار والبحيرات، والبحار والمحيطات، هي أنسب مكان لإلقاء مخلفات المدن والمخلفات الصناعية، وأي فضلات أخرى يراد التخلص منها. وأفضل مثال لذلك ذلك التلوث الشديد الذي أصاب مياه نهر الراين، خصوصا ذلك الجزء من النهر الذي يمر بأراضي هولندا، فقد وصلت حالة التلوث في مياه هذا النهر إلى حد كبير في النصف الثاني من هذا القرن الماضي، حتى أنه كان يطلق عليه مجازا اسم (مجاري أوروبا Sewers of Europe) وهو اسم غريب، ولكنه يعبر تماما عن حالة التلوث الشديدة التي وصلت إليها مياه هذا النهر. وتزداد نسبة تلوث مياه هذا النهر كلما اتجهنا نحو المصب، حتى أنه عندما يصل النهر إلى المحيط عند الشواطئ الهولندية تصبح نسبة ما به من قاذورات ومخلفات أعلى ما يمكن، وقد تصل في بعض الأحيان إلى ٢٠ % من ماء النهر على وجه التقريب. ولا يقتصر تلوث المياه على الأنهار والبحيرات فقط، بل امتد هذا التلوث اليوم إلى مياه البحار والمحيطات رغم اتساع رقعتها، خصوصا حول المناطق الصناعية المقامة على شواطئ البحار، وكذلك حول الموانئ الكبيرة التي تتكدس بها مختلف أنواع السفن والناقلات، وتدخل إليها وتخرج منها كل يوم. ولا يوجد هناك انفصال حقيقي بين كل من تلوث الهواء وتلوث الماء ذلك لأن الهواء الملوث يؤثر كثيرا في المساحات المكشوفة من الماء، ويلوثها بما يحمله من شوائب وأبخرة وغازات. وقد اتضح من البحوث التي قام بها فريق من الباحثين بمعهد كاليفورنيا التكنولوجي بالولايات المتحدة عام ١٩٦٦، أن مياه الجزء الشمالي من المحيط الأطلسي، وكذلك مياه الجزء الشمالي من المحيط الهادي، قد تلوثت بشكل ظاهر بما يتساقط عليها من الرذاذ الذي يحمله الهواء فوق هذه المناطق، وهو الرذاذ المحمل بالرصاص، وبكثير من الشوائب المتصاعدة في أجواء المدن وأجواء المناطق الصناعية الموجودة في نصف الكرة الأرضية الشمالي. وقد تسبب النشاط الصناعي للإنسان خلال القرن الماضي والقرن الحالي في إطلاق كثير من الشوائب وبخار

بعض الفلزات السامة مثل: الزئبق، والرصاص، والكادميوم في الهواء، وتنتشر هذه الشوائب في الهواء على هيئة أيروسول Aerosol، تحمله الرياح إلى كل مكان، ويذوب جزء منه في مياه البحار. ويرى بعض العلماء أن كمية الشوائب المتصاعدة في الهواء فوق القارات في نهاية الستينات، والمحتوية على كثير من الفلزات الثقيلة تساوي على التقريب كل ما في المياه الطبيعية من هذه الفلزات. وقد تبين من هذه البحوث أن تلوث مياه البحار والمحيطات لا يقتصر على طبقات المياه السطحية فقط، ولكن هذا التلوث قد يمتد إلى طبقات المياه العميقة، وقد يصل في بعض الحالات إلى قيعان هذه البحار، وبذلك يمتد الأثر الضار لهذا التلوث إلى كثير من أنواع الكائنات الحية التي تعيش في هذه البحار والمحيطات. كذلك لا يقتصر تلوث البحار على المناطق الساحلية فقط، مثل المناطق المجاورة للمدن أو الموانئ، أو التجمعات الصناعية، بل قد تظهر آثار هذا التلوث في مناطق بعيدة جدا عن شواطئ البحار، وقد تظهر في وسط مياه المحيطات. وقد ذكر الرحالة النرويجي ثور هايردال Thor Heyerdahl، الذي قام برحلته المشهورة من الساحل الأفريقي إلى الساحل الأمريكي على القارب الشراعي، أنه شاهد آثار التلوث بوضوح في منتصف مياه المحيط الأطلسي بعيدا جدا عن السواحل القارية. وقد ذكر أنه شاهد هو وبحارته كتلا تميل لونها إلى السواد تطفو على سطح الماء، وتشبه القار، في أجزاء كثيرة من المحيط، واوضح أن تلك الكتل، كانت متفاوتة الأحجام، وأن بعضا منها كان يتماسك معا على هيئة بقعة تتحرك مع الأمواج. وقد وصف هايردال مياه المحيط عند منتصف المسافة بين أفريقيا وأمريكا بأنها كانت محملة بمختلف القاذورات والنفايات التي تلقيها السفن، وإن لون الماء كان يميل إلى اللون الأخضر الرمادي، بدلاً من اللون الأزرق المعروف للمياه النقية الصافية. وقد علق على ذلك بقوله ساخراً: إن النظر إلى هذه المياه الخضراء الرمادية وغير الصافية في وسط المحيط أعطاه إحساساً بأنه في أحد الموانئ، أو أن قاربه يطفو وسط مياه الصرف الصحي. وتدل هذه الملاحظة على أن تلوث المياه الطبيعية، حتى وسط المحيطات، قد بلغ مبلغا خطيرا وينذر بكثير من الأخطار، ويجب أن يحسب له كل حساب. وقد تغيرت أفكار الإنسان كثيرا فيما يتعلق بالتلوث بعد أن أحس بمقدار الضرر الذي قد ينتج من تلوث الماء، خصوصا بعد ازدياد أعداد سكان العالم بهذا الشكل الهائل واحتياجنا الشديد للمياه النقية غير الملوثة لاستخدامها في الشرب، وفي ري الأراضي الزراعية، وفي عمليات الغسيل والتبريد في الصناعة. ومن المتوقع أن تزداد مشاكل التلوث خطورة مع الزمن بزيادة عدد سكان المدن، وزيادة الحاجة إلى التخلص من مياه الصرف الصحي والفضلات البشرية، بالإضافة إلى مخلفات الصرف الناتجة من التجمعات الصناعية التي يزداد حجمها وعددها على مر الأيام. ويجب ألا ننسى أن الغبار المتصاعد من التجارب النووية التي مازال بعض الدول يقوم بإجرائها، ينتشر في الهواء في كل مكان، ثم يتساقط بما فيه من مواد مشعة على سطح البحار والمحيطات، ويؤثر بذلك في كيمياء هذه المياه، وفي الأنشطة البيولوجية التي تدور فيها، سواء في المياه السطحية أو في المياه العميقة.

التلوث الكيميائي

يطلق اسم التلوث الكيميائي على التلوث ببعض المواد الكيميائية التي يتم تصنيعها لأغراض خاصة، أو التي قد تلقى في المجاري المائية مع مخلفات الصناعة، وهو نوع من أخطر أنواع التلوث المعروفة في عصرنا الحديث. وقد ظهرت آثار هذا النوع من التلوث بوضوح في النصف الثاني من القرن الماضي، نتيجة التقدم الصناعي الهائل الذي نشهده اليوم، خصوصا في مجال الصناعات الكيميائية، ونتيجة أخذ كثير من الدول بأساليب التكنولوجيا الحديثة في كل مجال. وكما تساهم المنشآت الصناعية في تلوث الهواء بما يخرج من مداخنها من أبخرة وشوائب وغازات، فهي تسبب كذلك تلوث المجاري المائية بما تلقيه فيها من مخلفاتها ونواتجها الثانوية، وذلك لأن أغلب هذه

المنشآت الصناعية ومحطات القوى تقام على شواطئ الأنهار أو البحيرات أو البحار. وتلوث المياه بمخلفات الصناعة متعدد الأشكال، وهناك حالات من التلوث شديدة الغرابة وشديدة الخطورة في الوقت نفسه، فقد حدث أن اشتعلت مياه أحد الأنهار في الاتحاد السوفيتي، ويعرف باسم نهر إيسيت Iset، عندما رمى فيه أحد الأشخاص سيجارة مشتعلة. وقد ظهر فيما بعد أن أحد المصانع المقامة على شاطئ هذا النهر كان يلقي ببعض مخلفاته من المواد المتطايرة والقابلة للاشتعال في مياه النهر فكونت طبقة رقيقة قابلة للالتهاب بمرور الوقت فوق سطح المياه. وقد وقع حادث مماثل في الولايات المتحدة. فقد اشتعل سطح الماء في أحد الأنهار في ولاية أوهايو لأسباب مماثلة، وأدى ذلك إلى احتراق بعض خطوط السكك الحديدية المجاورة لهذا النهر. وبصفة عامة، تشكل المخلفات الصناعية التي تلقى في المجاري المائية خطرا حقيقيا على كافة عناصر البيئة، وذلك لأن أغلب هذه المخلفات تحتوي على كثير من المواد الكيميائية ذات التأثير السام. وبما يزيد من خطورة هذه المواد أن كثير منها شديد الثبات، ولا ينحل أو يتفكك تحت الظروف الطبيعية المعتادة، ولذلك يبقى أثر هذه المواد طويلا في المجاري المائية التي تلقى فيها، ويستمر فعلها الضار أمدا طويلا. وفي كثير من الأحيان يحتوي بعض هذه المخلفات على مواد فعالة، وقد يتفاعل بعض هذه المواد مع مكونات البيئة التي تلقى فيها، وقد تساعد بذلك على استهلاك قدر كبير من غاز الأوكسجين الذائب في مياه المجاري المائية. وقد تبين من بعض البحوث التي أجريت على بعض المخلفات الصناعية، وعلى بعض مياه الصرف الصناعي أن بعض المواد التي توجد في هذه المخلفات تستهلك قدرا كبيرا من غاز الأوكسجين يزيد بمقدار أربعة أضعاف على ما تستهلكه مخلفات الصرف الصحي، وهي المخلفات المعروفة بإستهلاكها الكبير للأوكسجين ولذلك فإن المخلفات الصناعية، حتى ولو كانت غير سامة، قد تتسبب في قتل الكائنات الحية التي نعيش في المياه التي تلقى فيها بسبب استهلاكها للأوكسجين الذائب في هذه المياه. وتتباين المواد الكيميائية التي تحملها مياه الصرف الصناعي وتتعدد أنواعها، وهي تعتمد على نوع الصناعة التي تصدر منها هذه المخلفات، كما تعتمد على نوع المعالجات الكيميائية التي تجرى في كل مصنع. ومع ذلك فهناك دائما مواد مشتركة توجد في أغلب مياه الصرف الصناعي مثل: الأحماض، والقواعد وغيرها، وهي لا تمثل خطورة كبيرة لأنه يمكن التخلص منها بسهولة نسبيا، وذلك بمعالجتها ببعض المواد الكيميائية الأخرى لمعادلة أثرها الضار. وهناك مجموعات أخرى من المواد الكيميائية التي تتصف بسميتها الشديدة وثباتها النسبي، والتي لا يسهل التخلص منها أو من آثارها الضارة. ومن أمثلة هذه المواد بعض أنواع المنظفات الصناعية، وبعض مركبات الفوسفور، وبعض مركبات الهالوجين العضوية، وبعض الفلزات الثقيلة السامة مثل: الرصاص، والزئبق، وبعض المذيبات العضوية، وغيرها من المركبات. وتسبب مثل هذه المواد تلوثا شديدا للبيئة التي تلقى فيها، ويبقى أثرها الضار قائمالمدة طويلة.

المنظفات الصناعية:

تتسبب المنظفات الصناعية التي تتسرب أحيانا إلى مياه الأنهار أو البحيرات في إحداث تلوث شديد لهذه المياه. وبعض هذه المنظفات من النوع غير الثابت، وتسهل أكسدتها والتخلص منها بعد مدة قليلة من الزمن بواسطة الكائنات الحية الدقيقة التي تعيش في هذه المجاري المائية، وتتحول بذلك إلى مواد أخرى بسيطة لا ضرر منها. ويعرف هذا النوع من المنظفات الصناعية التي يسهل التخلص منها بأسم المنظفات اليسرة Soft Detergents، وهي لا تمثل خطرا كبيرا على البيئة، لأن أثرها الضار يختفي ويزول بعد قليل. أما إذا كانت المنظفات الصناعية من النوع الثابت الذي يعرف بأسم المنظفات العسرة Hard Detergents فهي تقاوم التحلل والتفكك تحت الظروف الطبيعية المعتادة. ولا تستطيع الكائنات الحية الدقيقة التخلص من هذه المنظفات العسرة، ولذلك

فإنه يصعب التخلص منها، وهي تسبب كثيرا من الأضرار للبيئة التي توجد فيها، لأن أثرها يبقى طويلا مهما كانت نسبة تخفيفها بمياه النهر أو بمياه البحيرة. وقد نتج من إلقاء بعض هذه المنظفات في مياه أحد الأنهار أن تغطى سطح المياه في هذا النهر، لمسافة عدة كيلومترات، بطبقة سميكة من الرغوة أدت إلى عزل مياه النهر عن أوكسجين الهواء، وتسببت في حدوث نقص شديد في كمية الأوكسجين الذائب في الماء، أدى إلى قتل ما بهذه المياه من كائنات حية دقيقة، ومن أسماك. وللمنظفات الصناعية أضرار أخرى خلاف ما سبق ذكره، فكثير من هذه المنظفات تحتوي في تركيبها على مادة الفوسفات لأن إضافة هذه المادة يزيد من قدرة المنظف الصناعي على التنظيف. وينتشر استعمال المنظفات الصناعية اليوم في كل مكان، ولذلك فإن مياه الغسيل، التي تحتوي على بقايا هذه المنظفات، تحتوي كذلك على قدر من مركبات الفوسفات. وتحمل مياه الصرف الصحي هذه المواد والمركبات إلى الأنهار والبحيرات، وبذلك تشترك المنظفات الصناعية في زيادة نسبة مركبات الفوسفور في هذه المياه، وتعجل في وصول هذه المجاري المائية إلى حالة التشبع الغذائي، وتحولها إلى مستنقعات كما سنرى فيما بعد. وتبلغ كمية مركبات الفوسفور التي تصل إلى المجاري المائية نتيجة الإسراف الشديد في استخدام المنظفات الصناعية حدا هائلا، ويتضح ذلك من بعض الإحصائيات التي أجريت في الولايات المتحدة، فقد تبين أن ما يقرب من ٧٠ % من مركبات الفوسفور الموجودة في مياه أغلب البحيرات والأنهار تأتي عن طريق مياه الغسيل المحملة بالمنظفات الصناعية. ويتضح من هذه الدراسات جسامة الأضرار التي تسببها هذه المنظفات للمياه الطبيعية. وتعاني معظم دول العالم من هذه المشكلة. ومن أمثلة ذلك: أن بحيرة كونستانس Constance التي تقع على حدود كل من المانيا، وسويسرا، والنمسا زادت فيها نسبة مركبات الفوسفور إلى حوالي ٢٥٠٠ %، أي أن نسبة هذه المركبات في هذه البحيرة اليوم قد زادت بمقدار خمسة وعشرين ضعفا على نسبة هذه المركبات التي كانت توجد فيها في البحيرة نفسها عام ١٩٢٠.

الفلزات الثقيلة:

يمثل التلوث بالفلزات الثقيلة مثل: الزئبق، والرصاص، وبعض الفلزات الأخرى كالكاديوم، والزنك مشكلة كبرى، وقد لقيت هذه المشكلة اهتماما شديدا من كثير من الدول لأن هذه الفلزات ذات تأثير سام، كما أن لها القدرة على التراكم في الأنسجة الحية. وقد لوحظ أن بعض المنشآت الصناعية التي تستخدم طرائق التحليل الكهربائي، وتوجد في خلاياها الكهربائية أقطاب من الزئبق، مثل: المصانع التي تنتج هيدروكسيد الصوديوم، وغاز الكلور، تحتوي مخلفاتها على قدر ضئيل من فلز الزئبق الذي يتسرب من خلايا التحليل الكهربائي إلى مياه الصرف. ويعتبر الزئبق ممثلا لهذه الفلزات الثقيلة، وهو من أكثرها انتشارا واشدها سمية، وعندما يتسرب بعض هذه الفلزات أو مركباتها مع مياه الصرف الصناعي إلى مياه الأنهار والبحيرات، فإنها تسبب كثيرا من الأضرار لمختلف أنواع الكائنات التي تستخدم هذه المياه. وقد لوحظت مشكلة التلوث بالزئبق في كل مكان في العالم تقريبا، فقد تبين عند تحليل بروتين الأسماك التي تم صيدها من بحيرة سانت كلير بكندا عام ١٩٦٩ أنه يحتوي على آثار ضئيلة من فلز الزئبق. وقد لوحظت مشكلة التلوث بالزئبق في سويسرا أيضا عام، ١٩٧٥ فقد اكتشف بعض العلماء السويسريين أن بحيرة ليمان Leman تحتوي مياهها على تركيزات غير عادية من فلز الزئبق.

وقد تبين من التحاليل الدقيقة التي أجريت على مياه هذه البحيرة أن فلز الزئبق يتركز بصفة خاصة في المواد العالقة، وبعض الجسيمات التي ترد إلى ماء البحيرة مع مياه نهر الرون. وقد اتضح فيما بعد أن السبب الرئيس في تلوث مياه هذه البحيرة بالزئبق يرجع إلى أن بعض المصانع الكيميائية المقامة على شاطئ نهر الرون تلقي بمخلفاتها المحتوية على هذا الفلز في مياه النهر الذي ينتهي به

المطاف إلى هذه البحيرة. وعند تحليل مخلفات هذه المصانع ومياه الصرف الخارجة منها وجد أنها تحمل معها ما يكافئ نحو عشرة كيلوجرامات من الزئبق في الأسبوع، وعلى الرغم من أن هذه الكمية الكبيرة من فلز الزئبق يتم تخفيفها كثيرا في مياه النهر، ثم يعاد تخفيفها مرة أخرى في مياه البحيرة إلا أنه وجد أن المواد العالقة بالماء، وبعض الشوائب الأخرى التي لا تذوب في الماء لا تتأثر كثيرا بهذا التخفيف، بل تبقى محتفظة في طياتها بتركيز أكبر من هذا الفلز. ونظرا لأن الأسماك تتغذى دائما على الجسيمات، والمواد العالقة بالماء فإن الأسماك التي تعيش في هذه البحيرة، تدخل في أجسامها مع الغذاء نسبة عالية من فلز الزئبق. وقد اتضح فعلا أن أجسام الأسماك التي تعيش في بحيرة ليمان تحتوي على نسبة عالية من الزئبق تفوق النسبة المسموح بها دوليا، وفي هذا خطر كبير على صحة الأفراد الذين يأكلون هذه الأسماك، وقد يصابون بالتسمم بالزئبق في نهاية الأمر. وقد كان من المعتقد أنه إذا كانت كمية الزئبق الموجودة في مياه الصرف الصناعي، ضئيلة، كما في حالة مخلفات مصانع التحليل الكهربائي، والتي لا تزيد نسبة الزئبق في مياهها على مليجرام واحد في كل متر مكعب من هذه المياه، فإن مثل هذه النسبة الضئيلة لن تمثل خطورة كبيرة على حياة الكائنات الحية، خصوصا أن هذه النسبة ستقل كثيرا عند تخفيفها بعد ذلك بمياه النهر، أو مياه البحيرة التي تلقى فيها هذه المخلفات. وقد اتضح فيما بعد أن هذا الافتراض غير صحيح، وأن هذا القدر الضئيل من فلز الزئبق يعد كافيا لتلوث البيئة، و تمثل خطرا كبيرا على حياة مختلف الكائنات الحية بما فيها الإنسان. ويرجع السبب في ذلك إلى أن بعض الكائنات الحية التي تعيش في هذه المجاري المائية، مثل الأسماك، لها القدرة على التقاط هذه الآثار الضئيلة من فلز الزئبق من المياه التي تعيش فيها، وتقوم بتركيز هذا الفلز في أجسامها. وتقوم الأسماك بتخزين الزئبق في أجسامها على هيئة مركب عضوي يعرف باسم ثنائي فنيل الزئبق الذي يرتبط ببروتينات هذه الأسماك بواسطة إحدى ذرات الكبريت. وقد قامت هيئة الصحة العالمية بتحديد الحد الأقصى لكمية الزئبق التي قد تدخل إلى جسم الإنسان، والتي يجب ألا تزيد عليها لأي سبب من الأسباب، بما لا يزيد على ٠,٣ مليجرام من هذا الفلز في الأسبوع. و يمكننا أن نتصور خطورة التسمم بالزئبق، إذا علمنا أن هذا الحد الذي لا يجب تجاوزه بأي حال من الأحوال، قد يصل إليه الفرد بسهولة إذا تناول كيلوجراما ونصف كيلو من أسماك بحيرة ليمان بسويسرا خلال أسبوع واحد. ويتبين لنا من ذلك أن جميع الأسماك التي تعيش في المجاري المائية الملوثة، بمثل هذه الفلزات الثقيلة، تصبح سامة لا تصلح للاستهلاك البشري مهما كانت ضالة كمية هذه الفلزات الموجودة في المياه، وذلك لأن عملية تركيز هذه الفلزات في أجسام الكائنات الحية عملية مستمرة، وتأخذ مجراها الطبيعي، أثناء دورة الغذاء الطبيعية، من النبات إلى القشريات، إلى الأسماك، إلى الطيور، وأخيرا إلى الإنسان. ويتسبب التسمم بالزئبق في حدوث أعراض شتى، فهو يؤدي إلى الإحساس بالصداع وبالدوار، ويسبب شعورا عاما بالتعب والإرهاق في حالات التسمم الخفيفة، بينما يؤدي إلى تلف الكلى، وإلى حدوث اضطرابات شديدة في الجهاز الهضمي في حالات التسمم الشديدة، ثم ينتهي الأمر بحدوث الوفاة. وقد أثار اكتشاف الزئبق في أجسام الأسماك في بحيرة سانت كلير عام ١٩٦٩ اهتمام علماء كل من كندا، والولايات المتحدة، ولفت أنظارهم إلى الخطر الناشئ عن تلوث المياه بهذه الفلزات الثقيلة، ودفعهم ذلك إلى القيام بحملة قومية لتحليل مياه البحيرات الكثيرة المنتشرة في كل من البلدين. وقد تبين من هذه الحملة أن بعض هذه البحيرات توجد في مياهها نسب مختلفة من فلز الزئبق، ولذلك قامت حكومتا كل من كندا، والولايات المتحدة بمنع صيد الأسماك من هذه البحيرات، كما منعت مزاولة الرياضات المائية بها حرصا على حياة الإنسان. وقد أحدثت النتائج التي توصلت إليها هذه الحملة ضجة شديدة في الولايات المتحدة، وأثارت الشك في كثير من أنواع الأسماك المعلبة الناتجة من هذه البحيرات، ولذلك قامت السلطات الصحية هناك بتحليل كثير من هذه المعلبات، وتم اكتشاف آثار من الزئبق في بعض أسماك التونة المعلبة، وفي غيرها من

الأسماك. وقامت هذه السلطات بسحب هذه المعلبات الملوثة من السوق. وقد اكتشف تلوث المياه بالزئبق في أماكن أخرى كثيرة. ففي عام ١٩٦٠ تبين بالتحليل الدقيق أن أجسام بعض الأسماك التي تم صيدها من أحد خلجان اليابان تحتوي على قدر من فلز الزئبق يزيد على الحد المسموح به صحيا، وكانت هذه الأسماك قد تسببت من قبل في ظهور بعض أعراض التسمم على كثير ممن تناولوها، كما أدت إلى وفاة ما يقرب من مائة شخص. وقد تبين فيما بعد أن السبب في وجود الزئبق في مياه هذا الخليج يرجع إلى أن أحد مصانع البلاستيك المقام على الشاطئ يلقي بمخلفاته المحملة بالزئبق في مياه هذا الخليج دون معالجتها. وحتى المناطق المنعزلة والبعيدة عن العمران، مثل المناطق القطبية، تعاني اليوم من هذا التلوث الكيميائي رغم بعدها الشاسع عن مصادر التلوث، وعن المناطق الصناعية. ومن أمثلة ذلك أن كلا من الدب القطبي وطائر البنجوين قد وجد بأجسامها نسبة ملحوظة من فلز الزئبق، على الرغم من أنها حيوانات تعيش فقط في المنطقة القطبية ولا تغادرها على الإطلاق، وتعتبر بعيدة كل البعد عن مصادر التلوث المعروفة. وقد أثارت هذه الظاهرة شيئا من الدهشة في أول الأمر، وذلك لأن المنطقة القطبية تخلو تماما من كل الأنشطة الصناعية، ولم تستعمل بها أبدا المبيدات الحشرية المحتوية على الزئبق. وقد فسرت هذه الظاهرة بعد ذلك على أساس سلسلة الغذاء. فقد يقوم طحلب بامتصاص فلز الزئبق من الماء، ثم تتغذى إحدى القشريات بعشرات من هذا الطحلب، ثم تتغذى الأسماك بمئات من هذه القشريات، وفي نهاية هذه السلسلة يتغذى الدب القطبي، أو طائر البنجوين بعشرات من هذه الأسماك الملوثة، ويصحب كل ذلك زيادة في تركيز الزئبق في كل حلقة من حلقات هذه السلسلة، ويبدو هذا التركيز بوضوح في أجسام الحيوانات التي تقع في نهاية سلسلة الغذاء. ويدل ذلك بوضوح على أن الأسماك هي المسؤولة عن ظهور فلز الزئبق السام في أجسام هذه الحيوانات القطبية، وهي المسؤولة عن نقل مثل هذا التلوث من المناطق الملوثة إلى مناطق نظيفة تماما وخالية من كل عناصر التلوث، ولذلك يجب أن نعتني عناية شديدة بالقضاء على هذا النوع من التلوث الكيميائي. ومما يثبت صحة هذا الفرض أن سباع البحر في كاليفورنيا بالولايات المتحدة، والتي يقتصر غذاؤها على السمك، أصيبت أيضا بهذا النوع من التلوث، وظهرت بأجسامها نسبة ملحوظة من الزئبق. وينطبق ذلك أيضا على كثير من الفلزات الثقيلة الأخرى مثل: الرصاص، والزرنيخ، والكادميوم، وعند زيادة نسبة هذه الفلزات في المياه على حد معين تصبح هذه المياه غير صالحة للشرب، وتؤدي إلى ظهور أعراض التسمم على من يتناولونها. ويؤدي الكادميوم إلى تلف الكبد، وإلى ارتفاع ضغط الدم، بينما يؤدي الزرنيخ إلى حالة من التسمم العام. كذلك تسبب المياه المحتوية على مثل هذه الفلزات الثقيلة ضررا شديدا للأسماك ولكل الكائنات الحية التي تعيش في هذه المياه. المركبات العضوية الهالوجينية: تتعدد أنواع المواد الكيميائية ذات التأثير السام التي تتسرب مع مياه الصرف الصناعي، ومع بعض المخلفات الصناعية الأخرى، وتسبب تلوث الماء والتربة والبيئة بصفة عامة. ور بما كان أخطر هذه المواد بعض المركبات العضوية التي تحتوي جزيئاتها على بعض ذرات الهالوجين مثل: ذرات الكلور، أو البروم، أو الفلور، ومن أمثلتها بعض المواد التي لها استعمالات متعددة في كل مناحي النشاط الصناعي والزراعي والمنزلي، مثل مركبات الفريون، سبق ذكرها، وبعض المبيدات الحشرية مثل.D.D.T، واللندين، وغيرها وسيأتي ذكرها فيما بعد، ومثل مركبات ثنائي الفنيل عديدة الكلور المعروفة باسم .B.C.P والديوكسين Dioxine وتتركب مركبات .B.C.P من حلقتين من حلقات البنزين متصلتين معا برباط أحادي، وتتصل بكل منهما عدة ذرات من الكلور. ولا تكون هذه المركبات نقية عادة، فهي تتكون في أغلب الأحيان من خليط من عدة مركبات متشابهة، ولكن تتغير فيها أعداد ذرات الكلور المتصلة بحلقات البنزين. ويباع مثل هذه المركبات تحت عدة أسماء مثل: أروكلور Arochlor، أو فينوكلور Phenochlor، أو كلوروفين Chlorophen، وتتنوع نسبة الكلور في كل هذه المنتجات، وهي تتراوح عادة ما بين ٣٢ % و

٦٢ % بالوزن. وقد استعملت مركبات .B.C.P لأول مرة عام ١٩٢٩ في صناعة المحولات والمكثفات الكهربائية بسبب قدرتها العالية على عزل الكهرباء، وتحملها للحرارة العالية، ثم استعملت بعد ذلك في كثير من الأغراض، فاستخدمت كمواد ملونة في صناعة اللدائن، وكمواد مضادة للفطريات في صناعة الطلاء، وفي صناعة ورق التغليف، كذلك استعملت كمواد مخففة في صناعة بعض المبيدات الحشرية، وبعض المنظفات الصناعية. وتتصف هذه المواد بسميتها الشديدة، وهي تؤثر تأثيرا سيئا في البيئة التي تظهر فيها وتلوثها تماما، خصوصا وأن هذه المواد شديدة الثبات، ولا تنحل بسهولة، وتعيش في الماء لعشرات السنين. ويضع الخبراء مركبات هذه المجموعة على رأس قائمة المواد السامة التي توجد بالمخلفات الصناعية في الدول المتقدمة. وعلى الرغم من عدم وجود إحصائيات دقيقة تتعلق بإنتاج هذه المواد إلا انه يقدر أن الولايات المتحدة وحدها كانت تنتج منها عشرات الألوف من الأطنان كل عام. وقد استخدمت هذه المواد بإسراف شديد فيما مضى، ويقدر ما يوجد منها في الولايات المتحدة وحدها مختلطا بمختلف المنتجات بملايين الأرطال، وما زال جزء كبير من هذه المواد حبيس المخازن. وتدعي السلطات الصحية في الولايات المتحدة أن كل فرد من أفراد الشعب الأمريكي، البالغ تعداده نحو ٢٥٠ مليون نسمة، يحتوي جسمه على قدر ما من هذه المواد، مهما بلغت ضآلة هذا القدر. وقد تبين من بعض البحوث التي أجريت على حيوانات التجارب أن هذه المواد تختزن في الجسم وفي الأنسجة الدهنية بوجه خاص، وأن زيادة تركيز هذه المواد في جسم الكائن الحي يؤدي إلى الإصابة بالسرطان. ومن الملاحظ أن التلوث الناتج من هذه المواد لا يكون ناتجا من استعمالها المباشر فقط، ولكنه قد يحدث كذلك أثناء إنتاجها، خصوصا عندما تلقي الشركات المنتجة لها بمخلفاتها في البحار. ومثال ذلك أن إحدى الشركات الأمريكية المنتجة لبعض هذه المواد، ومن بينها مركب .D.D.T ، كانت تلقي بمخلفات تصنيعها في المحيط الهادئ، مما تسبب في قتل الأسماك، وكثير من الكائنات الحية الأخرى في مساحة هائلة من هذه المياه. ونظرا لخطورة هذه المركبات على الصحة العامة، وعلى مختلف عناصر البيئة فقد قام كثير من الدول الصناعية بحظر إنتاج هذه المواد، أو استخدامها تحت أي ظرف من الظروف. وعلى الرغم من هذا الخطر فما زالت الآثار الضارة لهذه المركبات تظهر مع الأسف الشديد من حين لآخر في البيئة المحيطة بنا، وذلك لأن المواد شديدة الثبات، وتعيش أمدا طويلا. وهناك بعض المركبات العضوية الأخرى المحتوية على الهالوجين التي ينتشر استعمالها في كل الأغراض دون أن نأخذ في الاعتبار أثرها الضار. ومن أمثلة هذه المواد البوليمر المعروف باسم بولي فاينيل كلوريد Poly vinyl Chloide، ويطلق عليه عادة اسم .P.V.C ويتم تحضير هذه المادة ببلمرة مركب بسيط يعرف باسم كلوريد الفاينيل Vinyl Chloide، ويتم تصنيعها بكميات كبيرة تصل إلى نحو عشرة ملايين طن في العام، وتستخدم في صناعة كثير من الأدوات المنزلية وبعض العبوات وما إليها. وتبدو خطورة هذه المادة عند استعمالها في بعض أجزاء صناعة الأغذية، وكذلك عند استخدامها في تعبئة بعض المواد الغذائية، وذلك لأن مادة .P.V.C تحتوي دائما على نسبة ضئيلة من كلوريد الفاينيل الحر الذي لم يتحول إلى المادة المتبلمرة. وكلوريد الفاينيل مادة سامة وتسبب الإصابة بالسرطان وتزداد خطورة مادة .P.V.C كثيرا عند تعبئة بعض السوائل الهامة فيها مثل: اللبن أو الزيت، أو بعض العصارات لأن كلوريد الفاينيل المتبقي في الزجاجات التي تعبأ فيها هذه السوائل سريعا ما يذوب فيها، وينتقل إلى الإنسان. وهناك أيضا بعض المواد الأخرى المحتوية على الهالوجين التي تفوقسميتها سمية مركبات .P.V.C مثل مركبات الدايوكسين وهي مواد تتكون أثناء تصنيع بعض مبيدات الأعشاب، وقد تتكون كنواتج ثانوية في عمليات تصنيع بعض المواد المطهرة. والدايوكسين هو رباعي كلورو ثنائي بنزوبارا-ديواكسين Tetra chloro di benzo-p-dioxin ويرمز له TCDD، وهو يعتبر من أشد المواد التي حضرها الإنسان سميه، وتبلغ سميته وسرعة مفعوله حدا مشابها لغازات الأعصاب. وقد تكون هذا

المركب في أثناء تحضير بعض مبيدات الأعشاب. وقد استخدم الجيش الأمريكي مبيدات الأعشاب لإزالة جزء كبير من الغابات والأحراش في فيتنام أثناء الحرب الفيتنامية، وكان من بينها ثلاثة أنواع: منها ما سمي أيجنت أورانج Orange Agent، و(أيجنت موايت و ايجنت بلو وكانت »أيجنت أورانج « هي أهم هذه المواد، وقد ألقى الجيش الأمريكي في الفترة (١٩٦١ - ١٩٧٥) هذه المادة بالطائرات على جنوب فيتنام، وبلغت كميتها نحو ٢٤١٨٠ طنا، وتم بواسطتها اقتلاع الغابات في مساحات هائلة تبلغ نحو ٦٨٠٠٠٠ هكتار. وطبقا لطريقة تصنيع هذه المبيدات كان لا بد من أن يتكون معها قدر من مركب الدايوكسين وهذا القدر الصغير من هذا المركب سبب أضرارا بالغة للبيئة في فيتنام. وتبلغ سمية الدايوكسين حدا يفوق كل وصف، فالجرعة الصغيرة منه، والتي لا تزيد على ٠,٨ ميكروجرام ،تستطيع أن تقتل أرنبا بالغا، كما أن هذا المركب يقتل يرقة البعوض عندما يكون تركيزه في الماء متناهيا في الصغر، ولا يزيد على ثلاثة أجزاء منه في كل ألف مليون جزء من الماء. ولهذه الأسباب يعتبر مركب الدايوكسين والمركبات المماثلة له من أخطر المواد الملوثة للبيئة ومن أشدها ضررا، ولذلك يجب التخلص تماما من كل ما قد يتكون منها في العمليات الصناعية الخاصة بتحضير المواد المطهرة أو مبيدات الأعشاب، كما يجب منع ما قد يتسرب منها إلى مياه الصرف قبل إلقاء المخلفات الصناعية في المجاري المائية، ويجب الكشف بدقة عن أثر هذه المواد في جميع المنتجات المعدة للاستعمال في التطهر، أو في إبادة الأعشاب قبل طرحها في الأسواق. وقد اكتشف الأثر السام للدايوكسين عام، ١٩٧٧ ووجد أنه قد يؤدي في بعض حالات التلوث الخفيف إلى بعض الالتهابات الجلدية، وقد يؤدي إلى إصابة بعض الأنسجة الرخوة بأورام خبيثة، وقد يحدث الوفاة. ويعتقد كثير من الفيتناميين أن نسبة كبيرة من الاضطرابات الصحية التي يعاني منها بعض مواطنيهم مثل. التقرحات الجلدية الشديدة، أو الإصابة بمرض السرطان، أو مولد بعض الأطفال المشوهين بعد الحرب، يرجع السبب فيها إلى التعرض إلى الدايوكسين أثناء الحرب الفيتنامية. وقد قامت مجموعة مشتركة من علماء الولايات المتحدة وعلماء فيتنام بالتعاون مع بعض الهيئات العالمية، ببحث الآثار الناتجة من التلوث أو التعرض للدايوكسين وذلك بعد عشرين عاما من استعماله في فيتنام، ووجدت هذه المجموعة أنه يوجد نحو ٢٢,٤ بيكوغرام(البيكو غرام يساوي $10 X1^{-12}$ غرام) في كل غرام من الأنسجة الدهنية في أجسام من سبق لهم أن تعرضوا لهذه المادة منذ عشرين عاما، وقد يصل هذا التركيز إلى نحو ١٠٣ بيكوغرامات في بعض الحالات. وقد بين بعض البحوث الأخرى أن هناك نسبة من هذه المادة في دماء وفي أنسجة بعض الجنود الأمريكيين الذين خدموا في فيتنام، ولم يتعرضوا للدايوكسين تعرضا مباشرا. وقد بين بعض التحاليل الدقيقة أن نسبة الدايوكسين في خليط أيجنت أورانج الذي ألقي على فيتنام كانت في حدود ٢ جزء في المليون، ووصلت في بعض الحالات إلى ٤٧ جزء في المليون، وهو تركيز مرتفع بالنسبة للسمية الشديدة لهذا المركب. والتخلص من التلوث الناشئ عن هذه المركبات تمثل إحدى المهمات العسيرة التي تقابل المهتمين بإزالة عوامل التلوث من البيئة. ومن أمثلة ذلك حالة التلوث التي ظهرت في ولاية ميسوري بالولايات المتحدة، إذ تبين أن أحد الزيوت التي استخدمت في رش الطرق في هذه الولاية به آثار من مركب الدايوكسين. ولم ينحصر التلوث في المنطقة التي استخدم فيها هذا الزيت، بل امتد ليشمل مناطق أخرى مجاورة، وانتشر في بعض المجاري المائية الموجودة بهذه المنطقة. وقد وجدت السلطات الصحية صعوبة بالغة في إزالة التلوث بمركب الدايوكسين وقد اقتضى الأمر في بعض الحالات المماثلة إلى كشط السطح العلوي من التربة، والتخلص منه في أماكن بعيدة عن العمران. ويشبه الدايوكسين والمركبات المماثلة له مركبات .P.V.C في ثباتها، فهي لا تنحل بسهولة تحت الظروف الطبيعية السائدة. وهذا الثبات الكيميائي يزيد كثيرا من سمية هذه المركبات. وقد أجرى بعض التجارب لتقدير الثبات الكيميائي لهذه المركبات، وتبين من هذه التجارب أن عمر النصف لمركب الدايوكسين لا يقل عن عشر سنوات تحت الظروف المعتادة، ويعني هذا أنه إذا

وجد غرام واحد من الدايوكسين في بحيرة ما فإن نصف هذه الكمية، أي نصف غرام فقط، ينحل ويتفكك في خلال عشر سنوات، ثم ينحل نصف الكمية المتبقية، أي ربع غرام فقط، خلال السنوات العشر التالية، وهكذا، مما يدل دلالة قاطعة على الثبات الكبير لمثل هذه المركبات.

استخدام الكائنات الدقيقة للقضاء على التلوث الكيميائي:

يجري الآن بعض البحوث التي تتعلق باستخدام أنواع خاصة من الكائنات الدقيقة للقضاء على بعض أنواع التلوث الكيميائي، خصوصا التلوث الناتج من استخدام بعض مبيدات الأعشاب ومبيدات الحشرات التي تحتوي جزيئاتها على الهالوجين وتتصف بثباتها الكبير. وتتجه البحوث الحالية إلى اتجاهين رئيسين :يتلخص الأول منهما في إيجاد نوع من الكائنات الدقيقة التي تستطيع أن تحلل هذه المركبات وتتغذى بها، أو استنباط أنواع أخرى تستطيع أن تفكك هذه المركبات، وتحولها إلى مركبات أخرى غير ضارة. وقد توصل العلماء إلى كائنات دقيقة من النوع الأول، من جنس *Pseudomonas*، وهي تمتلك نظاما من الأنزيمات تستطيع بواسطته أن تقوم بعمليات الأكسدة والاختزال، وتؤدي إلى إدخال مجموعات هيدروكسيل في المركبات وتقوم بهذا الأسلوب بتمثيل عدد كبير من الهيدروكربونات. وهناك أنواع أخرى من الكائنات تقوم بتحويل المواد العضوية إلى مواد غير عضوية مثل: النشادر، وثاني أوكسيد الكربون. وقد بين بعض الباحثين بجامعة كاليفورنيا بالولايات المتحدة، أنه باستخدام نوعين من الكائنات الدقيقة من جنس *P. slutzeri* و*P. aeruginosa* يمكن تحليل جزيئات مبيد حشري يعرف باسم باراثيون Parathion وهو مبيد قوي، ويعتبر ملوثا شديدا للبيئة. كذلك استطاع باحثون آخرون بجامعة أليني بالولايات المتحدة، عام ١٩٨٠ من تحضير مزرعة من البكتيريا استطاعت أن تحلل مبيد الأعشاب وهو 2 ،4، 5 - ثلاثي كلورو حامض فينوكسي اسيتيك تحليلا كاملا في عدة أيام. وبينت أن بعض الجزيئات العضوية الأخرى التي تشبه في تركيبها للمبيد اعلاه مثل مركب ٣ ، ٥- ثنائي كلورور- حامض بنزويك تتحول عن طريق الأكسدة، وإدخال مجموعات الهيدروكسيل إلى مركبات أخرى أبسط منها، وتتأكسد في نهاية الأمر إلى غاز ثاني أوكسيد الكربون والماء، ويتصاعد منها غاز الكلور أو غاز كلوريد الهيدروجين. وهناك أمل كبير في نجاح مثل هذه الطرائق البيولوجية في القضاء على التلوث بمركبات الهالوجين العضوية، وإن كان الأمر يتطلب ضرورة استعمال أكثر من نوع من الكائنات الحية الدقيقة، وتقع الصعوبة في مثل هذه العمليات في ضرورة السيطرة التامة على مثل هذه المزارع البكتيرية الضخمة عند استعمالها صناعيا. التلوث الكيميائي الناتج من الحوادث الصناعية: هناك ثلاثة أحداث درامية تعتبر علامة على عصرنا الحاضر الذي تقدمت فيه كثيرا تكنولوجيا الصناعات الكيميائية، ومع ذلك لم تستطع هذه التكنولوجيا المتقدمة أن تتلافى الأخطار الناجمة عن المواد الكيميائية الصناعية التي تمثل خطرا داهما على البيئة، وعلى صحة الإنسان.

حادث فيزين:

الحادث الأول يعرف بأسم حادث فيزين Feyzin، وقع في ٤ كانون الثاني ١٩٦٦ في معمل تكرير للبترول يقع بجوار مدينة ليون بفرنسا. وقد جرت العادة في هذا المعمل على تخزين غاز البيوتان في خزان كروي سعته ٢٠٠٠ متر مكعب، وكذلك تخزين غاز البروبان في خزان كروي آخر سعته ١٢٠٠ متر مكعب، وكان يتم إخراج الماء المتجمع في الجزء الأسفل من هذه الخزانات عن طريق بوابتين متجاورتين. ونتيجة تبخر الغاز أثناء هذه العملية تجمع بعض الجليد على هاتين البوابتين مما جعل هناك بعض الصعوبة في أقفالهما، وزاد من احتمالات تسرب الغازات. وفي يوم الحادث تسرب غاز البروبان من الخزان، ونظرا لأن الغاز أثقل من الهواء، ولم تكن هناك رياح

ملحوظة، فقد انتشر الغاز مكونا غلالة فوق سطح الأرض. وعندما وصلت غلالة الغاز إلى طريق السيارات المجاور للمصنع اشتعل الغاز، وانفجرت الخزانات الكروية. ونظرا لأنه كان بالموقع ١٧٠ فردا، في ذلك الوقت، فقد أدى هذا الانفجار إلى موت سبعة عشر فردا، وإصابة نحو ٨٤ فردا بجراح. ولم يمض بعض الوقت على الانفجار الأول حتى انفجرت كرة أخرى من خزانات الغاز، ولم يؤد هذا الانفجار الثاني إلى حدوث وفيات، ولكنه أحدث تدميرا شديدا بالإضافة إلى التدمير الناشئ عن الانفجار الأول، ونتج من هذه الانفجارات ظهور حفرة بالموقع عمقها أكثر من مترين وطولها نحو ٣٥ مترا، وعرضها نحو ١٦ مترا.

حادث فلكسبورو:

أما الحادث الثاني فيعرف باسم حادث فلكسبورو Flixborough، وهي مدينة صغيرة تقع على بعد نحو ٢٦٠ كيلومترا شمال مدينة لندن، وبها مصنع صغير يقوم بتحضير بعض المواد الوسيطة المستعملة في صناعة النايلون. ويوجد بهذا المصنع وحدة خاصة لأكسدة مركب الهكسان الحلقي بواسطة الهواء، وتتكون هذه الوحدة من ستة أجهزة تفاعل متتالية، تبلغ سعتها مجتمعة ٤٥ مترا مكعبا، وتعمل تحت الضغط، وعند درجة حرارة ١٥٥ مئوية. وفي ٢٧ آذار ١٩٧٤ لاحظ أحد المراقبين حدوث تسرب من أحد هذه الأجهزة، وهو الجهاز رقم٥ وتقرر سحب هذا الجهاز من خط التصنيع، وتوصيل الجهاز رقم ٤ بالجهاز رقم ٦ مباشرة، حتى يتم إصلاح الجهاز الخامس. وفي ٢٩ آيار من العام نفسه حدث تسرب آخر، وقد استدعى ذلك إيقاف كل الأجهزة عن العمل لإصلاح العطب. وقد تكررت عمليات التشغيل والإيقاف لمنع التسرب عدة مرات، ولم يتحمل بعض الوصلات الضغط المرتفع فانفجرت، واندفع منها نحو ٥٠ طنا من سائل الهكسان الحلقي الساخن. وقد اشتعلت الأبخرة الناتجة وأدت إلى انفجار هائل سمع صوته على بعد ٥٠ كيلومترا من المصنع، وأدى هذا الانفجار إلى تدمير جميع الأجهزة والمباني في دائرة نصف قطرها نحو ٦٠٠ متر، كانت قوة الانفجار مماثل قوة الانفجار الناتج من عشرين طنا من .T.N.T وقد كان بالموقع ٧٢ فردا مات منهم ٢٨ فردا، وأصيب ٣٦ فردا بجروح، كما أصيب نحو ٥٣ فردا من خارج المصنع.

حادث بوبال:

ويعرف الحادث الثالث باسم حادث بوبال Bhopal وبوبال عاصمة ولاية في وسط الهند، وتقع على بعد ٥٨٠ كيلومترا من دلهي وأقيم بها مصنع تابع لشركة يونيون كارباید Union Carbide الأمريكية يقوم بتصنيع مبيد حشري تحت اسم كاربارايل Carbaryl ويدخل في تصنيع هذا المبيد مادة ايسوسيانات المثيل Methyl Isocyanate، وهي غاز سام في درجات الحرارة العادية، ولذلك يتم تخزينه في صهاريج خاصة عند درجة الصفر المئوي، وتحت ضغط ٢,٤ جو من غاز النتروجين. وتوجد بجوار هذه الصهاريج وحدة خاصة تستعمل في معالجة الغاز عند حدوث أي تسرب، وهي تتكون من أبراج غسيل Scrubbers يمتص فيها الغاز بمحلول الصودا الكاوية، كما يتم إحراق الغاز الذي لم يتم امتصاصه في هذه الأبراج قبل دفعه إلى الهواء. وفي ٢ كانون الاول ١٩٨٤ كانت إحدى مجموعات الصيانة تعمل لإصلاح وصلة بين أجهزة التصنيع وأجهزة التخزين بعد أن اكتشفت أن هناك تسربا من الغاز، وقد لاحظت هذه المجموعة أن الضغط في داخل خزان التخزين قد بدا بالارتفاع، ووصل إلى ٣,٨ جو، ولم يكن أمامهم إلا فتح الوصلة الموصلة إلى أبراج الغسيل لتخفيف هذا الضغط. ونظرا لأن وحدة الغسيل كانت معطلة وأهملت صيانتها، فلم يتحمل برج الغسيل الوحيد الصالح للعمل هذا الضغط، ولذلك فقد اندفع هذا الغاز السام إلى الهواء وغطى مساحة كبيرة من الأرض بلغت نحو أربعين كيلومترا مربعا. وفي الحال شعر سكان بوبال،

وعددهم ٨٠٠٠٠٠ فرد بالتهابات شديدة في العين وفي الحنجرة، وتوفي بعض منهم وهو نائم، كما توفي البعض الآخر وهو يهرب في طريقه إلى محطة السكة الحديدية، وترتب على هذا الحادث وفاة أكثر من ألفين من الأشخاص، وقد ذكرت جريدة هندوستان تايمز الصادرة في شباط ١٩٨٥ أن ٢٥ % من السيدات الحوامل اللاتي تعرضن لهذا الغاز، ولد أطفالهن أمواتا، وأن نحو ٣٠ % من المواليد الآخرين كان وزنهم أقل من الوزن الطبيعي المعتاد. ويبدو أن عام ١٩٨٤ كان عاما سيئا بالنسبة للصناعات الكيميائية بوجه عام، فقد حدث فيه بعض الحوادث المماثلة في كثير من البلدان، من بينها انفجار أنبوبة في خط أنابيب لزيت البترول في كوباتاو Cubatoa بالبرازيل أدى إلى وفاة نحو ٥٠٠ شخص. كذلك انفجر في المكسيك نحو ثمانين ألف برميل من الغاز الطبيعي المسال، واشتعلت فيها النيران، مما أدى إلى وفاة نحو ٤٥٢ فردا، وإصابة نحو ٤٢٤٨ آخرين بجراح، كما فقد في هذا الحادث مائة شخص على الأقل. وقد لفتت الحوادث الصناعية وآخرها حادثة بوبال أنظار العالم إلى خطورة التلوث الحادث منها، ودفعت كثيرا من الهيئات والحكومات إلى الاهتمام بضرورة وضع برنامج دولي يتضمن وضع أنظمة آمنة ومحكمة تتعلق بتصنيع المواد الكيميائية، وطرائق نقلها وتخزينها، وفرض رقابة دائمة عليها حفاظا على حياة العاملين بها، وحفاظا على البيئة المحيطة بهذه الصناعات. وقد قدمت بحوث كثيرة في هذا المجال، منها بحوث خاصة بطرق تقدير هذه الأخطار تحت اسم Hazard and Operability Study ويرمز لها بالأحرف HAZOP ، كما عقدت لذلك مؤ تمرات خاصة، مثل المؤ تمر العالمي لحوادث الكيميائيات الذي عقد في روما عام ١٩٨٧ World Conference on Chemical Accident .

ومن الملاحظ أن المخلفات الصناعية تتعدد أنواعها بشكل كبير. فقد يكون التلوث ناشئا عن احتواء مثل هذه المخلفات على محاليل السيانيدات المستعملة في عمليات التحليل الكهربائي، أو من بعض المذيبات والأصباغ والألوان وغيرها من المواد الكيميائية، ولذلك لا Pكن وضع نظام عام لمنع التلوث بهذه المخلفات، ويفضل أن يتم ذلك في كل صناعة على حدة في أدرى بالشوائب الموجودة بمخلفاتها، على أن يتم ذلك تحت رقابة دقيقة من السلطات الصحية المعنية بالأمر. وقد لوحظ في السنوات الأخيرة أن بعض الدول الأوروبية تجد صعوبة كبيرة في التخلص من بعض النفايات الصناعية، وقد قام بعض هذه الدول بوضع هذه النفايات السامة والخطيرة على سفن خاصة، وأرسلت هذه السفن لتطوف في البحار لكي تلقي هذه المخلفات في أماكن بعيدة عنها أمام السواحل الأفريقية، أو في البحر الأحمر، أو أمام سواحل أمريكا الجنوبية. وقد تكرر هذا الوضع أكثر من مرة، ولذلك فقد فرض بعض الدول الأفريقية، ومنها جمهورية مصر العربية، رقابة شديدة على مثل هذه السفن لمنعها من إلقاء مثل هذه المخلفات الصناعية السامة في مياهها الإقليمية، أو أمام سواحلها البحرية. ويبحث العلماء الآن عن طرق ذات كفاءة عالية للتخلص من هذه النفايات، ومن المقترح أن يتم ذلك إما بطرق التحليل الكهربائي لفصل بعض الفلزات منها مثل: الزئبق، والفضة، أو البلوتونيوم وإما بإحراق هذه النفايات عند درجة حرارة عالية للتخلص منها نهائيا وتحويلها إلى ثاني أكسيد الكربون والماء، ومن المعتقد أنه ستقام مصانع خاصة لهذا الغرض، وقد يلحق بعض هذه الأفران بالمصانع التي تحتاج إليها طرق نفاياتها.