المحاضرة الثالثة

المواد السامة في الموارد المائية

إضافة الى المصادر الصناعية للمواد السامة فإن الموارد المائية تتعرض لمصادر عديدة من المواد السامة منها المبيدات بأنواعها المختلفة وكذلك المواد المشعة التي تدخل الموارد المائية ، وبعض المواد السامة ينتج بشكل طبيعي وبصورة غير مباشرة فعلى سبيل المثال عند زيادة تراكيز الطحالب الخضراء المزرقة في المورد المائي (الراكدة منها خاصة) فإنها تفرز سموم Toxins يصل تركيزها أحيانا الى جعل الماء ساما عند إستخدام الماء للشرب ، وفي الواقع فإن أول من يتأثر بهذه السموم هي الأسماك لذلك تستخدم الأسماك للإستدلال على وجود السموم في المياه مختبريا ، وحالات تسمم الموارد المائية والقتل الجماعي للأسماك أكثر من تحصى . تزداد حساسية الأسماك للمواد السامة بنقصان تركيز الأوكسجين وإجهاد المادة السامة نفسها ، فعلى سبيل المثال إذا كان التركيز القاتل لمادة معينة في جو مشبع بالأوكسجين هو (5) ملغم / لتر فإن التركيز القاتل لنفس المادة سيكون بحدود (3.5) ملغم / لتر في ماء نصف مشبع بالأوكسجين ، كذلك تؤثر درجات الحرارة على مدى تأثر الأسماك بالمادة السامة ويؤدي رفع درجة حرارة الماء عشرة درجات مئوية الى خفض التركيز السمومي الحرج الى نصف قيمته الأصلية ، وهذا يعني أن الأسماك التي تتأثر بسمومية قدرها (4) ملغم / لتر في درجة حرارة معينة سوف يحصل لها نفس التأثير بسمومية تركيزها (2) ملغم / لتر فيما لو رفعنا درجة حرارة الماء عشرة درجات مئوية ، هذا إضافة الى عوامل بيئية أخرى تؤثر على مدى تأثر الأسماك بالمادة السامة منها الرقم الهيدروجيني وتركيز الأملاح وحامضية الماء وغير ذلك ، والجدول (1- 6) يبين بعض المواد السامة المألوفة ومصادر الفضلات التي تحويها :

جدول (1 – 6) بعض المواد السامة والفضلات الحاوية لها وتركيزها الحرج في المورد المائي .

المادة السامة	الفضلات الحاوية لها	تركيزها الحرج (ملغم / لتر)
أمونيا	الفضلات المدنية	3 - 2
نترات الفضة	صناعة الأفلام	0.004
الزنك	صناعة الفلونة والرايون	2 -1
كبريتات النحاس	مياه التبريد	1 - 0.04
الكلور	الفضلات المعقمة	2 - 0.05
د.د.ت	صناعة المبيدات	أقل من 0.1
كبريتيد الهيدروجين	طمى ورسوبيات القعر	1 - 0.5
مركبتان مثيلي	مصافي النفط ، صناعة الورق	1
مساحيق التنظيف	الفضلات المدنية	80 - 15

تلوث المياه بالمواد اللاعضوية ومركبات المعادن الثقيلة :

قبل الدخول في تفاصيل هذا الموضوع لابد من عرض بعض المفاهيم العامة المتفق عليها بشأن العناصر المعدنية وكما يأتي :

أ- المعادن الثقيلة Heavy metals هي المعادن التي تزيد كثافتها عن 5 غم / سم^3.

ب- المعادن الخفيفة Light metals هي المعادن التي تقل كثافتها عن 5 غم / سم^3.

ج- المعادن النادرة Trace metals هي المعادن التي يكون تركيزها في القشرة الأرضية مساويا أو يقل عن (0.1 %) أي يساوي أو يقل عن 1000 جزء بالمليون .

لقد نشأت الحياة وإنبثقت بتفاعل وتكامل مع العناصر ذات الوجود العالي ، ويدخل بعض هذه العناصر في تكوين معظم أشكال الحياة ، ويلعب قسم منها دورا مهما في الفعاليات البايولوجية ، ويقال الشيء نفسه ولكن بمستوى أقل مع العناصر النادرة . إن نشاطات الإنسان غير المحسوبة والتي أتسمت عموما باللامبالاة فيما يخص البيئة والتي أدت الى طرح تراكيز عالية من مختلف الملوثات والسموم وبضمنها المعادن ومركباتها ، وقد باتت تهدد كل أشكال الحياة القائمة في الوقت الحاضر . يكون مصير المعادن

ومركباتها المتولدة من الفعاليات المختلفة الى المياه وإن زيادة تراكيز هذه المواد يدعو الى الحيطة والحذر والإهتمام الجدي بالموضوع للإسباب الآتية :

1- لا يمكن تفسخ المعادن والتخلص منها بواسطة البكتيريا والعمليات الطبيعية الأخرى، قد يمكن تغيير نوع المركب ولكن المعدن يبقى ويزداد تركيزه تدريجيا .

2 - بسبب الثبوتية العالية المذكورة في أعلاه فيمكن للمعادن أن تنتقل الى مسافات بعيدة جدا عن مناطق نشؤها .

3 – يمكن مضاعفة وتكبير Amplification تراكيز المعادن من خلال السلسلة الغذائية بسبب ثبوتيتها وفترات بقاءها غير المحدودة Highly persistant ولذا فقد تصبح بعض الحيوانات أو النباتات (وبسبب إختزانها لتراكيز عالية من بعض المعادن الخطرة) مصدرا للتسمم وخطرا كبيرا على الصحة ، ويظهر أن بعض العناصر تبقى حوالي السنتين أو أكثر كي ينخفض تركيزها الى النصف مثل الكروم والنيكل والزنك أما الرصاص فيبقى فترة تقرب من أربع سنوات قبل أن ينخفض تركيزه الى النصف (أي فترة نصف العمر له) .

والآن سوف نأخذ ثلاث أمثلة لتلوث المياه بالمعادن ومركباتها وهي :

أ - الزئبق

يعد الزئبق من المواد التي تعامل معها الإنسان منذ فجر التاريخ . يستعمل الزئبق صناعيا كمعدن (أي في حالته المعدنية) بالدرجة الرئيسية وهنالك إستعمالات أقل لمشتقاته العضوية واللاعضوية ، وأهم إستعمالته الصناعية مايأتي :

1- إنتاج مختلف العدد الكهربائية .

2- تحضير غاز الكلور من التحلل الكهربائي لملح الطعام على قطب الكاثود الزئبقي

$$NaCI \rightarrow CI_2 + NaOH$$

3- يستعمل كمادة معفرة لقتل الأحياء المجهرية غير المرغوبة Fungicide ومن أهم هذه الإستعمالات القضاء على التعفنات التي تعيش على الأصباغ ، حيث يستعمل أحد مركبات الزئبق العضوية المسمى PMA أو خلات فنيل الزئبق Phenyl mercuric acetate .

كذلك يستعمل الزئبق في المجالات الزراعية ، أما إستعماله في تعفير الحبوب فقد توقف في معظم الدول بسبب حوادث التسمم العديدة ومنها حادثة التسمم به في العراق في سبعينيات القرن الماضي .

من أهم الطرق التي يتسرب بها الزئبق الى البيئة مايأتي :-

1- يتسرب ما يقدر ب 2- 3 % من المادة الخام الحاوية على الزئبق (HgS) في أثناء العمليات المنجمية وإستحصال الخام .

2- قد تتسرب كميات أخرى من مركبات الزئبق بطريقة غير مباشرة عند إستحصال معادن أخرى غير الزئبق من خاماتها التي تحوي خامات الزئبق أيضا .

3- أثبتت الدراسات الحديثة إحتواء الفحم الحجري على مركبات الزئبق ولو أنها لا تزيد عن 0.1 جزء بالمليون إلا أن إستهلاك كميات كبيرة من الفحم (حوالي 600 مليون طن) في السنة في الولايات المتحدة الأمريكية فقط يؤدي الى طرح كميات كبيرة من الزئبق تقدر ب 60 طنا في هذا البلد وحده في السنة من هذا المصدر فقط.

4 – تؤدي عمليات تعرية الصخور (عملية طبيعية) في جميع أنحاء العالم الى تسرب ما يقرب من 200 ألف كيلوغرام (200 طن) من الزئبق في السنة وتكون معظم هذه الكمية في الأجسام المائية الطبيعية .

لم تعرف لحد الآن كافة تفاصيل التسمم بالزئبق بالنسبة للإنسان ولكن الدراسات العلمية العديدة الحديثة والدقيقة بينت ما يأتي حول هذا الموضوع :-

1- أن جميع مركبات الزئبق سامة عند وجودها بتراكيز كافية في الجسم .

2 – أن درجة السمية والإنتشار في أعضاء معينة في الجسم أو تراكمها وفترة بقائها تعتمد على طبيعة المركب الزئبقي .

3- تتحول بعض مركبات الزئبق بايولوجيا (في الجسم أو في البيئة) الى مركبات زئبقية أخرى قد تكون أكثر سمية .

4- إن أهم التأثيرات في جسم الإنسان تتمثل بإيقاف بعض الإنزيمات Inhibition

من أداء وظائفها ، كذلك تؤدي الى تدمير الخلايا الحية Cellular damage

وأظهرت الدراسات أن ميكانيكية هذه التأثيرات تعتمد على التجاذب القوي بين الزئبق والكبريت الذي يدخل في تراكيب الإنزيمات وجدران الخلايا حيث يتكون معقد قوي الترابط وبذلك يفق الإنزيم (وكذلك جدران الخلية صفاتهما الأساسية).

5- التأثير الذي يحصل في الجسم بسبب الزئبق يكون غير رجعي (تأثير دائمي) بالإضافة الى عدم وجود معالجة فعالة لحالات التسمم لحد الآن .

ولغرض إلقاء ضوء أكثر على تأثيرات مركبات الزئبق في الجسم يكون من المفيد النظر الى هذا الموضوع من زاوية نوعية هذه المركبات ، فقد أظهرت الدراسات أن المركبات اللاعضوية تتجمع بصورة رئيسية في الكبد والكلية ، وتسبب تلفا هناك ولكن بسبب وجودها في هذه الأعضاء فلا تبقى طويلا في الجسم ، من ناحية أخرى فإن أبخرة الزئبق المعدني لها القابلية للانتقال الى الدم من خلال جدران الرئة وتتراكم بالتدريج في أنسجة الدماغ وتبعا لذلك تحدث تخريبات في الجهاز العصبي والدماغ وبذلك تكون ذات خطورة بالغة على صحة المصاب وتصرفاته الشخصية قبل أن ينتهي الى الموت ، نعود الآن الى النوع الآخر من مركبات الزئبق ذات الخطورة الأكبر وهي مركبات الزئبق العضوية ومن أهمها أريلات الزئبق Aryl mercurial ومنها مركب PMA الذي ذكرناه سابقا الذي يتفكك في الجسم ويتحول الى مركب زئبقي لاعضوي يكون مصيره في الكلية أو الكبد ويصرف من هناك بالتدريج الى خارج الجسم .

إن أهم وأخطر المركبات الزئبقية هي ألكيلات الزئبق Aryl mercurial ومن أهمها ملح (CH_3Hg^+) وثنائي مثيل الزئبق $(CH_3)_2Hg$ وهذا المركب الأخير ذو قابلية تطاير عالية ، وقد بينت الدراسات الدقيقة عنها ما يأتي :-

1- لها قابلية كبيرة على الوصول الى الأنسجة في الدماغ وتتجمع هناك .

2- تتميز بطول فترة بقائها في الجسم (نصف العمر لها يقدر بسبعين يوما) وبذلك تتسنى لها ظروف التراكم وزيادة التركيز .

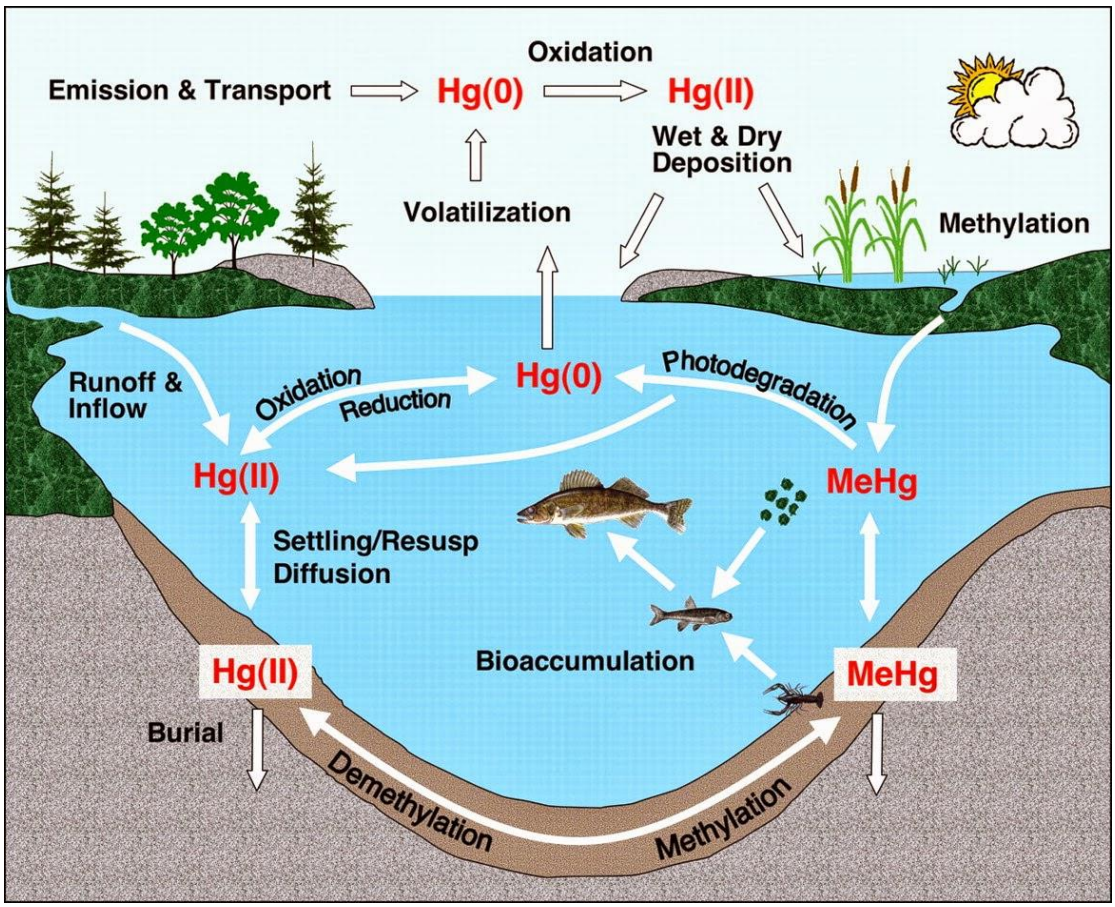
3- تم الكشف عن أن مركبات الزئبق اللاعضوية تتحول الى ألكيل الزئبق خاصة في الأوحال في قيعان الأنهار والبحيرات وغيرها من الأجسام المائية الراكدة وبفعل بكتيريا لاهوائية :-

مركبات زئبق لاعضوية $\leftarrow$ $CH_3Hg^+ + (CH_2)Hg$

وقد تم التثبت من وجود أنواع من البكتيريا اللاهوائية القادرة على إجراء هذه التحولات الكيميائية في أمعاء بعض الحيوانات ولذا فإن هذه التغيرات الكيميائية لمركبات الزئبق قد تحدث في أجسام هذه الحيوانات (قد تحث في الإنسان أيضا) مؤدية الى تراكم (ألكيل الزئبق) في أنسجة الدماغ وإحداث التأثيرات ذات الخطورة الشديدة .

يكون ثنائي مثيل الزئبق $(CH_3)_2 Hg$ ذا ثبوتية جيدة في الوسط القاعدي، أما في الوسط الحامضي فيتحول الى أيون ($CH_3 Hg^+$) ويكون هذا الأيون مذابا في الماء فيتراكم في شحوم الإنسان والحيوانات نتيجة لتكبير ومضاعفة تركيزه من خلال السلسلة الغذائية .

يكون الزئبق بحالته غير العضوية موجودا في مياه الفضلات في أكثر من ثمانين صناعة منها صناعات البلاستيك والألكترونيات وغيرها . والحالات المسجلة للتسمم المهني بالزئبق غير العضوي هو في عام 1953 في اليابان وفي خليج ميناماتا بالذات ،حيث تسبب تلوث هذا الخليج بالزئبق من المطروحات الصناعية في زيادة تركيز الزئبق (الزئبق العضوي) في أسماك ذلك الخليج نظرا لإعتماد السكان في تلك المنطقة عليها كمصدر للغذاء ، فقد ظهرت حالات تسمم بالزئبق على المستهلكين ، وظهرت عليهم أعراض الشلل والعجز الجسماني الكامل ، وحيثما ظهر تلوث بالزئبق العضوي فإن الحالة تعرف بمرض ميناماتا نسبة الى أول موقع سجلت فيه الحالة ، كما وجدت آثار الزئبق في أسماك من مختلف البحار والمحيطات ولكن تركيز الزئبق في أسماك الخلجان التي تتمركز فيها الصناعات يكون أعلى من البحار المفتوحة ، كذلك فإن بعض أنواع السمك كالتونا Tuna تتميز بإستعدادها لتخزين الزئبق في أجسامها أكثر من غيرها من الأسماك ، وقد حدا ذلك الى وضع مقاييس شديدة على إستيراد هذا النوع من السمك وعدم إستيراد المصطاد منه من الخلجان الضيقة والتأكد من فحص المستورد من هذه الأسماك ، ومن أهم مصادر التلوث بالزئبق هو المبيدات الفطرية Fungicides بأنواعه العديدة مثل الزئبق المثيلي وغيره ، وتستخدم هذه المبيدات لتعفير الحبوب وكذلك لرش مخازن الحبوب وكل المواقع التي يراد فيها السيطرة على الفطريات ، كل ذلك أدى الى إنتشار مادة الزئبق في العديد من الموارد المائية وفي التربة وحتى المياه الجوفية شكل (1- 6).



شكل (1- 6) مصير الزئبق في البيئة المائية