الفصل الثاني

التلوث بالمعادن الثقيلة

Pollution by Heavy Metals

توجد في البيئة عديد من المواد الكيميائية، منها ما، هو سام جدًّا، ومنها ما هو مسبب للأمراض والسرطانات، ومنها ما هو سبب رئيسي للعاهات الولادية (والتي لها آثار وراثية بعيدة المدى)، وقد نحتاج إلى عقود لإبطال مفعولها، ومن المعلوم أن عالمنا يزداد اعتماده أكثر فأكثر على المنتجات الكيميائية والتكنولوجية واسعة النطاق شديدة التعقيد.

ويمثل التلوث بالفلزات الثقيلة مشكلة خطيرة وحادة بسبب ميل مركبات هذه الفلزات للتجمع والتراكم داخل الأنظمة البيئية الحية المختلفة ، وتعد المعادن الثقيلة من أكثر وأخطر الملوثات الكيميائية للمياه، حيث تحتوي مياه الصرف الصناعية الناتجة عن بعض الصناعات الكيميائية على المعادن الثقيلة بتركيزات مختلفة. وتكمن المشكلة إذا تم خلط هذه المياه بمياه الري دون معالجة، وتزداد المشكلة خطورة إذا تلوثت مياه الشرب بهذه المعادن الثقيلة بنسبة تفوق الحد الأقصى المسموح به طبقًا لنشرات منظمة الصحة العالمية.

المعادن الثقيلة:

تعرف بأنها تلك العناصر التي تزيد كثافتها على خمسة أضعاف كثافة الماء ($5mg/cm^3$)، وجميع هذه المعادن تشترك كثيرًا في صفاتها الطبيعية وتختلف في تفاعلاتها الكيميائية. أما من حيث آثارها على البيئة فمختلف، فمثلًا بعض هذه المعادن- كالزئبق والرصاص والكادميوم- منشؤها خطر على الصحة العامة، بينما المعادن الأخرى- مثل: الكروم والحديد والنحاس- تقتصر آثارها على أماكن العمل التي يحدث فيها التعرض لفترات طويلة، ولهذا فهي أقل خطرًا من المعادن الأخرى كالزئبق والرصاص الذين زاد انتشارهما في الآونة الأخيرة وأصبحا موجودين بكثرة في الماء والهواء والغذاء. مع العلم بأن كثيرًا من المعادن الثقيلة ضرورية للحياة لو استخدمت بمقادير قليلة جدًّا، ولكنها تكون سامة إذا وصل تركيزها إلى مستوى عالٍ في الجسم؛ فتصبح بعدها قادرة على التدخل في نمو الخلايا والجهاز الهضمي والعصبي، وعلى هذا الأساس فإن وجود أي من هذه المعادن في البيئة قد لا يعني التلوث وإنما وجودها بتركيز عالٍ نسبيًّا وهو ما يعتبر جوهر المشكلة البيئية.. ويحدث التسمم

بالمعادن الثقيلة فى الحالات التالية:

1- عندما تدخل إلى جسم الإنسان كمركب بيوكيميائي.

2- عندما تدخل الجسم بكميات مرتفعة أعلى من الحدود المسموح بها على مدى زمني قصير (تسمم تراكمي).

3- عندما تدخل الجسم أيضًا بتركيزات منخفضة على مدى فترة زمنية طويلة تؤدي إلى الإصابة بالمرض المهني.

4- عندما تدخل الجسم عن طريق الخطأ وبتركيز عالٍ.

وقد ازداد تعرض الإنسان لأضرار هذه المعادن من جرَّاء الزيادة المفرطة في استخداماتها في الحياة اليومية، حيث زاد انتشارها خصوصًا في معظم دول العالم الصناعية. وحيث إن عمليات إذابة وتنقية المعادن أدخلت إلى البيئة تلوث الماء والهواء، وكان ذلك محصورًا في بادئ الأمر على أماكن محددة، ولكنه تخطى هذه الحدود منذ زمن بعيد.

والعناصر الثقيلة تلوث البيئة (الهواء – الماء – التربة – المنتجات الزراعية) ، ومن أهم مصادر التلوث بهذه العناصر: مخلفات ونفايات المصانع، وصهر المعادن، واحتراق الفحم، وعوادم السيارات، ومبيدات الآفات والصناعات النفطية التي تحتوي على بعض هذه العناصر مثل الزرنيخ – الزئبق- الرصاص.

والعناصر الثقيلة لها تأثيرات سلبية على البيئة عند الإفراط في استخدامها، كما تؤثر على الحيوان والنبات وصحة الإنسان، حيث تسبب هذه المعادن حدوث التسمم المعدني.

طرق التحليل المستخدمة لقياس تركيز المعادن الثقيلة:

يتم تحليل العينات الملوثة بعد إعدادها بالطرق التحليلية المناسبة حيث يتم تقدير العناصر الثقيلة والسامة بعدة تقنيات، ولكل تقنية مميزات تميزها عن الأخرى، إما من سهولة التطبيق أو الحساسية العالية للكشف عن العناصر وخاصة تلك التي توجد بتركيزات منخفضة جدًّا .

وتعد طرق التحليل الطيفي من أكثر الطرق استخدامًا في تحليل العناصر، وخاصةً عند وجودها بتركيزات منخفضة جدًّا وذلك لقدرتها على التغلب على مشكلات عدم تجانس

العينات، أو حدوث بعض التداخلات أثناء قياس تركيز العنصر في وجود عناصر أو مركبات أخرى.

ويوضح الجدول رقم (2) أهم طرق التحليل المستخدمة لقياس تركيز المعادن (بتركيز جزء من المليون-ppm) وأقل تركيز يمكن قياسه لكل طريقة. ويجدر بنا الإشارة هنا إلى أكثر أنواع هذه الطرق انتشارا واستخدامًا، وهي تقنية الامتصاص الذري بنوعيها (اللهب / الفرن الجرافيتي) ، وذلك لسهولة تحضير العينات والحصول على نتائج دقيقة لعدد كبير جدًا من العناصر.

جدول رقم (2): يوضح أهم طرق التحليل الطيفي المستخدمة للكشف عن العناصر وتوضيح مدى التركيز الذي يمكن قياسه.

طرق التحليل	حدود الكشف بتركيز ppm
1- مطياف الكتلة	0.001----0.0000001 ppm
الامتصاص الذري بالتسخين الكهربائي "الفرن الجرافيتكي "	0.001----0.00001 ppm
3- الامتصاص الذري باستخدام اللهب	0.01----0.001 ppm
4- مطياف الانبعاث باستخدام القوس الكهربائي	0.01 ppm
5- مطياف الأشعة المرئية وفوق البنفسجية	0.01 ppm
6- الأشعة السينية	1 ppm

أسباب ارتفاع مستويات المعادن الثقيلة:

بالرغم من أن المصادر الطبيعية (الصخور النارية والصخور الرسوبية) تحتوي على كميات مختلفة من العناصر الثقيلة قد يؤدي إلى ظهور المعادن بتركيزات مرتفعة نسبيًّا ، إلَّا أنَّ ما يؤثر على البيئة ويزيد من مشاكلها هي المصادر الصناعية وعلى وجه التحديد ما يدخله الإنسان من هذه المعادن إلى البيئة. ومن هذه المصادر ما يأتي:

1- المناجم:

من المعروف أن معظم المعادن المستخدمة في شتى الصناعات تأتي من المناجم، ولذا فإنها كثيرًا ما تدخل إلى البيئة بكميات متفاوتة خلال معالجة الصخور المحتوية عليها.

2- الكيميائيات الزراعية:

وهي تشكل مصدرًا مهمًّا من مصادر المعادن الثقيلة، وقد تتواجد هذه الكيميائيات بأحد الأُشكال الآتية:

أ - الأسمدة العضوية والفوسفاتية التي تحتوي على كميات لا بأس بها من المعادن الثقيلة، مثل: الرصاص، الكادميوم، الخارصين، والنحاس.

ب - المبيدات الحشرية غير العضوية، حيث تحتوي هذه المبيدات على بعض المعادن الثقيلة، كالزئبق، النحاس، الرصاص، والزرنيخ .

ج - حفظ الأخشاب باستخدام بعض هذه المعادن، مثل: النحاس والزرنيخ، التي تستخدم لحماية الأخشاب من بعض الآفات الحشرية والفطرية.

د - تستخدم بعض المعادن الثقيلة كمواد محفزة للوزن في كل من الدواجن والخنازير، مثل: الزرنيخ.

3- احتراق الوقود:

توجد العديد من المعادن بحالة مختلطة مع الوقود الحفري؛ ولذا فقد تنطلق هذه المعادن عند احتراق الفحم، وتتصاعد أدخنته إلى الجو حاملة معها جزيئات المعادن التي تتساقط فيما بعد على هيئة رماد فوق التربة والمسطحات المائية، وقد تنتقل هذه الجزيئات مع المياه المتحركة أو بفعل الرياح إلى مناطق أخرى محدثة تلوثًا لهذه المناطق البعيدة من المصدر.

وفي السنوات الأخيرة تشبعت أجواء المدن، وخاصة تلك التي بمحاذاة الطرق، بكميات لا بأس بها من الرصاص الذي يتواجد مع الوقود كمادة مضافة لزيادة كفاءة الاحتراق الداخلي لمحرك السيارات.

4- الصناعات المعدنية:

إن الصناعات المشتملة على المعادن الثقيلة متعددة، وفي الواقع قلما توجد صناعة لا

يدخل فيها معدن أو أكثر، ولذا فإن هذه الصناعات بدون شك تلعب دورًا أساسيًّا وحيويًّا في نشر المعادن بالبيئة، وعلى أية حال يبدو أن كلًّا من صناعة الفولاذ وتشكيل السبائك من الصناعات الأكثر مساهمة في إدخال المعادن إلى البيئة، ومعظم المعادن يأخذ طريقه إلى البيئة من خلال هذه الصناعات.

5- النفايات:

تعتبر النفايات من المصادر المهمة التي تشارك في تلوث البيئة بالمعادن الثقيلة، حيث تتواجد هذه المعادن في معظم المرادم الأرضية، والتي غالبًا ما تؤدي إلى تلوث بيئي موضعي في المكان الذي تم دفنها فيه. كما يلعب وحل المجاري الذي كثيرًا ما ينتشر استخدامه في الزراعة كسماد- خاصة عند زراعة الأعلاف الحيوانية- دورًا مماثلًا في تلوث البيئة، نظرًا لاحتوائه على كل من: الكادميوم، الخارصين، الرصاص، النحاس، والكروم.

ويعتبر الكادميوم على وجه الخصوص من أخطرها، فهو بالرغم من تركيزه المنخفض إلا أنه سريع الامتصاص من قبل النباتات، لا سيما الورقية منها، الأمر الذي يجعل وصوله إلى الإنسان عن طريق الغذاء أكثر سهولة، ولذا فقد حددت الجرعة المسموح بها من هذا المعدن بالتربة على ألا تزيد على (3.0 mg / kg).

* * *

التسمم بالمعادن الثقيلة

نتحدث هنا عن التسمم الناتج عن أشهر العناصر الثقيلة الملوثة للبيئة وأكثرها انتشارًا وهي: الرصاص والكادميوم والزئبق والكروم والحديد والأسبستوس والزنك والنحاس والزرنيخ والنيكل والكوبلت والباريوم. وطبقا لمنظمة اليونيسكو العالمية فإن الزئبق أعلاهم سمية.

1- الرصاص (Pb) :

الرصاص فلز رمادي اللون ثقيل قابل للطرق والسحب تبلغ كثافته (11.34 جرام / سم^3) وينصهر في درجة (328°C)، ويغلي مصهوره في درجة (1751°C) ، ويوجد في الطبيعة بنسبة ($1.6x10^{-3}$٪) من وزن القشرة الأرضية، وكتلته الذرية (207.2) وعدده الذري (82) .

والرصاص لا يتواجد كعنصر حر في الطبيعة، ولكن يتم الحصول عليه من معادن خامات الرصاص، وهو يعتبر من فئة المعادن الخطرة الملوثة للبيئة، أي لها آثار سلبية على الصحة والبيئة.

أ- استعماله في الصناعة:

- يدخل الرصاص في صناعة البطاريات وصناعة مجمعات الرصاص الكهربائية وتثبيت خامات الطلاء والتغليف بالرصاص واللحام وصناعة المطاط.

- وفي صناعة النفط، مثل: رابع إيثيل الرصاص، الذي يضاف إلى البنزين في عملية تحسين نوعية البنزين، أو وقود السيارات أثناء عملية تكرير النفط، حيث لوحظ أن كل لتر من بنزين السيارات من نوع 98٪ يحتوي على 0.8 جرام من رابع إثيلات الرصاص.

- وفي صناعة الأصباغ حيث يستخدم الرصاص على هيئة أكسيد الرصاص الأبيض وأكسيد الرصاص الأحمر وصناعة نضائد السيارات وآلات الكاتبة.

ب- التسمم بالرصاص:

الرصاص موجود بجسم الإنسان بدرجة ضئيلة جدًّا؛ لهذا يجب أن نميز بين امتصاص الجسم للرصاص والتسمم به. ومن المعلوم أن الرصاص عندما يدخل عن طريق الفم يطرد

غالبًا مع البراز، أما الجزء الممتص منه فيذهب للكبد الذي يعيده إلى الأمعاء عن طريق السائل المراري (الصفراء).. هذا بالنسبة للرصاص الذي يدخل عن طريق الجهاز الهضمي، أما الذي يدخل عن طريق الشعب الهوائية فيدخل إلى الدم وبالتالي لا يمر خلال الكبد، ولذا فإن المقادير الممتصة الضئيلة قد تسبب أعراض التسمم، وفي الصناعة نجد أن التسمم بالرصاص ينتج غالبًا عن طريق استنشاق الأتربة والأبخرة المحتوية على الرصاص.

الرصاص لا يوجد عادةً في المياه الطبيعية، ولكن قد يصل الرصاص إلى مياه الشرب من المواسير المصنعة من نفس المعدن أو من المصانع التي تنتج البطاريات، أو من عوادم السيارات حيث يضاف رصاص رباعي الإيثيل أو رصاص رباعي الميثيل إلى الجازولين بوصفها عوامل مانعة للخبط. ونتيجة لهذا الاستخدام ينطلق الرصاص في أبخرة العادم مما يؤدي إلى ارتفاع مستوى الرصاص في البيئة، ومما يدل على ذلك ارتفاع نسبة الرصاص في دم الإنسان في المدن المزدحمة بالسكان خاصة رجال المرور.

ويجب التنويه إلى أن الاتجاه الحديث للبحث العلمي هو استخدام بنزين السيارات الخالي من الرصاص واستخدام بدائل لرابع إيثيل الرصاص، ولكن للأسف ما زالت بعض الدول العربية تستخدم بنزين السيارات المحتوي على نسبة عالية من الرصاص.

وجدول رقم (3) يوضح أهم مركبات الرصاص المنطلقة في غازات عوادم السيارات، فبالإضافة إلى هذه المركبات تحتوي غازات العادم على نسبة ضيئلة من أبخرة رابع إيثيل الرصاص.

جدول رقم (3) : يوضح أهم مركبات الرصاص المنطلقة في غازات عوادم السيارات

اسم المركب	صيغته الكيميائية
كلورو برومو الرصاص	Pb Cl Br
أكسي كلورو برومو الرصاص	Pb Cl Br. 2 PbO
كلوريد الرصاص	$Pb\ Cl_2$
هيدروكسي كلوريد الرصاص	Pb (OH)Cl

اسم المركب	صيغته الكيميائية
بروميد الرصاص	$Pb\ Br_2$
أكسي كلوريد الرصاص	$Pb\ Cl_2\ .2PbO$
هيدروكسي بروميد الرصاص	$Pb\ (OH)\ Br$
أكسيد الرصاص	PbO
كاربونات الرصاص	$Pb\ CO_3$
أكسي بروميد الرصاص	$Pb\ Br_2.\ 2PbO$
أكسي كاربونات الرصاص	$Pb\ CO_3.\ 2PbO$

والرصاص يستطيع أن يصل إلى الماء أو التربة عند تساقطه مع الأمطار، وعلى ذلك فإنه يجب التنويه إلى أن النباتات تتلوث بالرصاص عن طريق الأوراق أكثر مما تأخذه عن طريق الجذور، ولذلك فإن الخضراوات التي ليس لها قشرة مثل الفراولة والمشمش والخوخ أكثر الأنواع عرضة للتلوث، وإذا زادت النسبة عن 7 mg/ kg من وزنها الجاف فإن ذلك يؤدي إلى التسمم بالرصاص.

كما أنه ينتقل إلى الإنسان أيضًا عن طريق لحوم الحيوانات التي تتغذى على هذه النباتات الملوثة. ولذلك فقد أوصى برنامج الأمم المتحدة للبيئة (28 يناير – 2004) وكذلك منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة بمنع إضافة هذه المواد إلى الجازولين بغية حماية صحة الإنسان والحد من استخداماته في الأسمدة والأصباغ والمطاط والصناعات الأخرى المحتوية عليه، بالإضافة إلى مركبات الرصاص التي تلوث المياه من مصادر أخرى.

ويمكن القول بأن الطرق الثلاث التي يمكن بواسطتها دخول الرصاص إلى جسم الإنسان هي: (الماء – الهواء – الغذاء)، إلَّا، أن الجزء الأكبر من الرصاص يدخل عن طريق الهواء في الوقت الحاضر. ويجب أن يوضع في الاعتبار دائمًا أنه تختلف فعالية الرصاص في الجسم تبعًا لنوع مركب الرصاص الذي وجد طريقه إلى الجسم، فمثلًا مركبات الرصاص غير العضوي لا تمتص عن طريق الجلد، أما مركبات الرصاص العضوية مثل رابع إثيلات الرصاص يمتص سريعًا داخل الجسم كله. ويصل الرصاص إلى التربة بعدة طرق، فهو قد

يتساقط من الهواء على هيئة جسيمات دقيقة في الجو الجاف، أو يتساقط على التربة مع مياه الأمطار في الجو الممطر، وحيث إن أغلب مركبات الرصاص شحيحة الذوبان في الماء، ولذلك فهي تتجمع بشكل واضح في التربة، وقد تصل كمية الرصاص المتجمع في التربة في بعض الأحيان إلى نحو 40-532 جرام لكل هكتار.

ج- أعراض التسمم بالرصاص:

إذا ارتفعت نسبة الرصاص عن (0.1) ملليجرام / لتر (0.1 ppm) في مياه الشرب فإن ذلك يؤدي إلى التسمم، ويرجع خطورة هذا النوع من التسمم إلى أن أعراضه تظهر ببطء، حيث تذوب نسبة ضئيلة جدًّا من هذه المواسير في المياه، وخاصةً إذا كان الوسط حامضيًّا، ويكفي ليكون الوسط حامضيًّا أن يحتوي الماء على CO_2، أو قد يصل إلى المياه من مصادر أخرى.

ويتوقف ظهور أعراض التسمم والمرض على مقدار استجابة الشخص لهذا المعدن على المدة بين امتصاصه وإخراجه، فحينما يكون الامتصاص بطيئًا ومستمرًا لفترة طويلة فيترسب الرصاص في الأنسجة العظمية والكبد والكليتين على هيئة ثلاثي فوسفات الرصاص غير قابل للذوبان.

أهم أعراض التسمم بالرصاص :

1- الإمساك وتحبب كريات الدم الحمراء .

2- ظهور خط أزرق مائل للسواد داخل نسيج اللثة ووجوده في البول عندما تصل نسبة الرصاص في الدم إلى 60 – 100 µg / ml .

3- انخفاض نسبة الهيموجلوبين بالدم وحدوث أنيميا.

4- الإصابة بمغص معوي قد يسبقه قيء واضطرابات عصبية قد تؤدي إلى شلل بالأطراف.

5- إحساس ببرودة أو شحوب اللون وتصبب العرق مع قيء عند بدء المغص .

6- في الحالات الشديدة قد يصاب الفرد بالصرع مع تشنجات عصبية شاملة والدخول في غيبوبة، ويرجع ذلك إلى أن جسم الإنسان يميل إلى اختزال الرصاص بدلًا من التخلص منه مما يسبب التسمم به.

7- إحساس بألم حول أو تحت الصرة.

8- يسبب الصداع والضعف العام والقلق والاضطرابات النفسية.

9- الهزال وفقدان الشهية.

10- يترسب في أنسجة العظام ويحل محل الكالسيوم .

11- وقد أثبتت الدراسات البيولوجية المتقدمة أن الرصاص يؤدي إلى انخفاض مستوى الذكاء والقدرة على الإدراك بل قد يؤدي إلى التخلف العقلي وشلل المخ وخاصةً عند الأطفال.

12- كما يسهم في إيقاف كثير من العمليات الإنزيمية المهمة مؤديًا إلى اضطرابات فسيولوجية كبيرة.

13- كما يؤدي وجود الرصاص في الدم إلى إعاقة طرد حمض البوليك مما يسبب الإصابة بمرض النقرس .

14- كما أن للرصاص تأثيرًا ضارًّا على جهاز التكاثر، وتنتشر ظاهرة " نقص وزن الأجنة " لدى الأطفال حديثي الولادة، وقد يعود السبب في ذلك إلى زيادة نسبة الرصاص التي تتعرض لها السيدات قبل وأثناء الحمل؛ لما للرصاص من تأثير تراكمي في أنسجة الجسم.

15- الرصاص له تأثير مباشر على الجهاز العصبي للإنسان.

ومع أن جميع أعضاء الجسم تحتوي على نسب من الرصاص إلَّا أن (90٪) منها يتجمع في العظام، ويحتوي الدم على (1٪) فقط حيث يزيد ارتفاع نسبة الرصاص في الدم عند التعرض إليه، ولكن تعتبر العظام المكان المفضل لتجمع الرصاص بسبب التشابه بين أيوني الكالسيوم والرصاص. وأفضل الطرق للكشف عنه هي تحليل الدم، وذلك لسهولة أخذ عينات الدم من الجسم، وتستخدم أحيانًا عينات من الأظافر، ولكن على نطاق محدود، أو الشعر على وجه الخصوص؛ وذلك لأن لون الشعر وعمر الشخص يلعبان دورًا مهمًّا في تحديد نسبة الرصاص في الجسم أثناء عمليات التحليل.

2- الكـادميـوم:

فلز الكادميوم كان حتى مطلع القرن العشرين شيئًا جديدًا، ولكنه اليوم يستخدم بشكل كبير وعلي نطاق واسع في كثـير مـن الـصناعات، كتلتـه الذريـة (112.41) وعـدده الـذري (48). أما عن وجـوده فيوجـد قـسم كبـير منـه في التربـة والهـواء والمـاء، ويرجـع ذلـك إلى النشاطات البشرية المختلفة؛ حيث تنتج الصناعة على المستوى العـالمي نحـو 15 ألـف طـن سنويًّا من الكادميوم حسب إحصائيات منظمة الصحة العالمية.

أهم مصادره الرئيسية هي عمليات صهر المعـادن ومخلفـات المنـاجم التـي تحتـوي عـلى الكادميوم ، فضلًا عن الأسمدة الفوسفاتية والأوساخ المنزليـة، وتكـون فـضلاته أو مخلفاتـه الصناعية مصدرًا رئيسيًّا لتلوث البيئة، ويعادل ذلـك نحـو 10 أضـعاف مـصادره الطبيعيـة. وعندما يدخل الكادميوم التربة يمكـن أن يظـل فيهـا لعـدة سـنوات ويـترك فيهـا آثـار مـن الحموضة.

أ- استعماله في الصناعة :

يدخل عنصر الكادميوم في عدة صناعات مثل صناعة البلاستيك والبطاريات والأسمدة الفوسـفاتية والطـلاءات المـضيئة والـسبائك المعدنيـة وصـناعة مختلـف الألـوان والأصـباغ المـستخدمة في مختلـف نـواحي الحيـاة ، كـما يختـلط بالمعـادن الخـام مثـل الزنـك والنحـاس والرصاص، ولذلك فإن الكادميوم يتواجد في المياه القريبة من المصانع التي يصهر فيهـا هـذه المعادن، أو قد يتسرب إلى المياه إثر استعمال المواسير والتوصيلات المصنوعة من البلاسـتيك ، كما قد يتسرب الكادميوم مع الفضلات الصناعية إلى المياه في المسطحات المائية المختلفة.

ب- التسمم بالكادميوم:

الكادميوم من المعادن الثقيلة شديدة السمية والتي تظهر أعراض التـسمم بـه بعـد عـدة سنوات وبعد تراكم كميات كبيرة في الجسم، ويجدر بنا الإشارة هنا إلى أنه بسبب قوة الرابطـة بين الكادميوم والبروتين فإنه لا يوجد أيَّ اتزان بين كمية الكادميوم الموجود بالـدم والكميـة التي تخرج منه مع البول، ولهذا السبب فإن تحليل البـول لتحديـد نـسبة الكـادميوم لا تعطـي مؤشرًا جيدًا لمعرفة الكمية الحقيقة الموجودة بالجسم. ونتيجة لهذا التراكم فإنه يـسبب مـرض (إيتاي – إيتاي) نسبة إلى وجود المرض في مقاطعة إيتـاي – إيتـاي اليابانيـة؛ نتيجـة لـصرف

مخلفات المصانع والمناجم، بما يؤدي إلى ارتفاع تركيز الكادميوم في الماء من 5 أجزاء في البليون إلى 180 جزء في البليون. وتحدد منظمة الصحة العالمية أن الحد الأعلى المسموح بـه هـو 450 ميكروجرام للفرد، ويجب ألَّا تتعدى نسبة الكادميوم في الأسماك ومنتجاتها عن 100 جزء في البليون، والحد المسموح به من هذا المعدن بالتربة يجب ألَّا تزيد على (3.0 mg / kg).

ج- أعراض التسمم:

تتراوح نسبة الحد المسموح بالكادميوم في الماء من 1-10 mg / L .

1- يحدث تورمًا بالرئتين وصعوبة بالغة في التنفس مما يـؤدي إلى الاختنـاق أو تـصلب الرئة أو حتى إلى الموت.

2- يسبب تلف الكليتين والكبد ويؤدي إلى فشل في وظيفتهما نتيجة لتراكمه فيهما.

- ونظرًا لسهولة اتحاد الكادميوم بالبروتينات فإنه يدخل في الكبد والكلى ويتجمع فيهما، ولا يهاجم الجهاز العصبي؛ لأنه لا يكون مركبات عضوية تذوب في الـدهون، وبـذلك فهـو يختلف عن الرصاص في هذه الحالة.

3- يسبب مرضًا خطيرًا يسمى إيتاي – إيتـاي – (Eti – Eti) الـذي يـؤدي إلى تلـف العظام وتكسيرها .

4- التسبب بنشوء بعض الأمراض السرطانية.

5- يسبب لين العظام؛ لأن الكادميوم قادر خلال بضع ساعات عـلى فـصل الكالـسيوم عن العظام ويزيد بالتالي من مخاطر التعرض لتنخرها، أو أن يزيد من سوء الحالة نفـسها عنـد المرضى.

وبسبب تشابه الكادميوم مع الكالسيوم فهو يترسب معـه في العظـام عـلى هيئـة ثلاثـي فوسفات الكادميوم، شأنه في ذلك شأن الرصاص، مما يؤدي إلى اضطرابات دورة الكالـسيوم في الجسم.

6- كذلك يمكن للكادميوم أن يحل محل الزنك في بعض الإنزيمات، وعندئذ تفقد هـذه الإنزيمات وظيفتها الأصلية.

ولقد حددت المنظمة العالمية أن الحد الأدنـى مـا بـين 0.12 ـ 0.49 ميكروجـرام لكـل

كيلوجرام من وزن الجسم للإنسان البالغ وأقل من ذلك بالطبع بالنسبة للأطفال، وكما هو معروف علميًّا أن خطر الكادميوم على الإنسان يكون أعلاه بين مدخني السجائر وخصوصًا من يدخن أكثر من 20 سيجارة في اليوم.

3- الزئبق :

يوجد فلز الزئبق على هيئة سائل في درجة الحرارة والضغط القياسيين، وله كثافة عالية نسبيًّا: 13.6 جرام / سم^3 عند 20°C ، وثقيل نسبيًّا وذو توتر سطحي عال. وهو سائل يشبه الفضة في لونه، ولذلك فإنه يسمى باسم الفضة المتحركة كما يسمى في اللغة اللاتينية (liquid silver) ، لونه فضي لامع، سائل في درجة حرارة الغرفة، وبخاره وأملاحه سامة لا تشم أو تبلع، وهو عنصر قليل النشاط لا يتفاعل إلا في ظروف خاصة، فمثلًا يتفاعل مع الأكسجين في الحرارة الشديدة مكونًا أكسيد الزئبق .

العدد الذري لفلز الزئبق (80) والكتلة الذرية (200.59) ودرجة الانصهار(234°C) أما درجة الغليان (357°C) . يتجمد الزئبق بلون فضى مائل للزرقة، يشبه الرصاص فى مظهره وذلك عند (-38.9 درجه مئوية) ، ويوجد في أعداد التأكسد (+1/ +2).

أ- استعماله في الصناعة:

يستخدم في حشوات الأسنان على هيئة مملغم، موازين الحرارة، معاجين تبييض البشرة، الصناعة والزراعة. كما يستخدم الزئبق في صناعة الترمومترات والبارومترات والمضخات والعديد من الآلات، كما أن له دورًا كبيرًا في خلية تحضير هيدروكسيد الصوديوم (mercury cells) ، كما يستخدم في صناعة الطلاء والبطاريات وصناعة الورق وصناعة المبيدات الحشرية وبعض المعدات المعملية، وغاز الزئبق يستخدم في صناعة مصابيح بخار الزئبق. كما يدخل في عمل مساحيق كشف البصمات وفي صناعة بعض دهانات الوجه والجلد، وصناعة البويات وفي دباغة الجلود والحرير الصناعي، كما يستخدم في المعامل كمادة حَفَّازة (catalyst) في كثير من التفاعلات الكيميائية، فضلًا على أنه يستعمل على نطاق واسع في الصناعات الكيميائية والتعدينية، فهو يستخدم في استخلاص الذهب من خاماته عن طريق الاتحاد معه وتكوين ما يعرف باسم "المملغم" (Amalgam).

ب- التسمم بالزئبق :

ومع التقدم التكنولوجي الهائل الذي شهدته البشرية في مجال الصناعة، بدأت تظهر آثار الزئبق الضارة والخطيرة وأصبح محط دراسات وأبحاث واسعة.

يعتبر الزئبق ممثلًا للغازات الثقيلة وهو أكثرها انتشارًا وأعلاهم سمَّية وأشدَّهم خطرًا طبقًا لمنظمة اليونيسكو العالمية. وعندما تتسرب بعض مركبات الرئبق مع مياه الصرف الصناعي إلى مياه الأنهار والبحيرات فإنها تسبب كثيرًا من الأضرار لمختلف أنواع الكائنات التي تستخدم هذه المياه، حيث اتضح أن أجسام الأسماك التي تعيش في البحيرات الملوثة تحتوي على نسبة عالية من الزئبق تفوق النسبة المسموح بها دوليًّا " مثل بحيرة ليمان – سويسرا " وفي هذا خطر كبير على صحة الأفراد الذين يأكلون هذه الأسماك حيث يصابون بالتسمم الزئبقي في نهاية الأمر. والنسبة المسموح بها دوليًّا طبقًا لهيئة الصحة العالمية يجب ألا تزيد لأي سبب من الأسباب عن 0.3 ملليجرام من هذا الفلز في الأسبوع، أي أن الجرعة التي تدخل جسم الإنسان عن طريق غير مباشر مثل تناول الأسماك الملوثة يجب ألا تزيد عن هذا الحد.

ويجب التنويه هنا إلى أن الأسماك التي تعيش في المياه الملوثة بالزئبق بصفة خاصة والفلزات الثقيلة بصفة عامة تصبح سامة لا تصلح للاستهلاك مهما كانت ضآلة كمية هذه الفلزات الموجودة في المياه ؛ وذلك لأن عملية تركيز هذه الفلزات في أجسام الأسماك عملية مستمرة وتأخذ مجراها الطبيعي أثناء دورة الغذاء الطبيعية، ومن النباتات إلى القشريات إلى الأسماك ومنها إلى الطيور وأخيرًا إلى الإنسان.

ولذلك يجب عدم تناول الأسماك المعلبة مثل التونة إلا بعد معرفة البلد أو المنطقة التي صيدت منها الأسماك داخل هذه البلد وهل هي منطقة ملوثة أم لا ؟!.

وقد وصلت نسبة الزئبق في الأسماك في اليابان من 500 إلى 20000 جزء في البليون (ppb 500-20000)، ومن أهم الأسماك المصابة هي الماكريل والتونة، ولذلك ينصح بعدم أو منع استيراد الأسماك من اليابان وخاصة أسماك الماكريل والتونة. توصي منظمة الصحة العالمية أن يكون الحد الأعلى المسموح بتواجده من الزئبق في الأسماك هو 500 جزء في البليون (500 ppb). والقوانين الغذائية في معظم الدول حددت نفس النسبة في الأسماك مثل (الولايات المتحدة الأمريكية وسويسرا)، ويعني ذلك حسابيًّا عدم تناول أكثر من 500

جرام سمك في الأسبوع لو احتوى هذا السمك على الحد الأعلى المسموح به من الزئبق.

من المعلوم أن الزئبق يتبخر عند درجة حرارة الجو العادية كما يتبخر الماء، ويحمل هواء الشهيق هذه الأبخرة إلى داخل جسم الإنسان والحيوان، فضلًا عن أنه يتراكم على أوراق النباتات مما يُعَدُّ خطرًا جسيمًا على الإنسان والحيوان والنبات، وأقصى نسبة تسمح بها الهيئات الصحية لتركيز الزئبق في الهواء هي 0.05 مليجرام في كل متر مكعب في الهواء، ومن ثَمَّ حينما ترتفع نسبة تركيز أبخرته إلى نحو (2 – 8) مليجرام في المتر المكعب الواحد فإنها تشكل إنذارًا خطيرًا على صحة الإنسان. أما التركيز في الماء فيكون مناسبًا إذا لم يتعد 0.001 ملجم/ لتر وقد تصل إلى 0.03 ملجم/ لتر، وقد أثبتت بعض الدراسات أن أقصى ما يتحمله الإنسان يوميًّا من الزئبق هو 1 ميكرو جرام.

ج – مصادر التلوث:

يُعَدُّ الزئبق مصدرًا شديد الخطورة لتلوث البيئة، ومن مصادر ملوثاته ما يلي:

1– المخلفات الصناعية الناتجة من الصناعات الكيميائية والبترولية والتعدينية . وتُعَدُّ صناعة الكلور من أكثر الصناعات التي تنتج عنها مخلفات الزئبق، حيث تخلف نحو 100 – 200 جرام لكل طن ينتج من الصودا الكاوية، والمصب الطبيعي لهذه المخلفات هي المياه؛ لأن معظم هذه الصناعات مقامة على شواطئ البحار.

2– النفايات التي تصرف في المسطحات المائية بما في ذلك مخلفات المجاري، حيث أجريت أبحاث في الولايات المتحدة على مياه المجاري، وتم تقدير الزئبق فيها بمقدار 3.4 – 18 جزءًا في المليون (3.4-18 ppm).

3– المبيدات الحشرية ومبيدات الفطريات والأعشاب.

4– استخراج المعادن من المناجم.

5– التخلص من بقايا الزئبق عن طريق رميها بأكياس القمامة والتي ينتهي بها المطاف بالحرق في المكبات العامة مما ينتج عنها أبخرة سامة تنطلق للهواء، أو قد تصل بعض تلك الملوثات للمياه الجوفية في حالة اللجوء لعملية ردم القمامة.

6– الأبخرة السامة الناتجة من حرق القمامة تصل في نهاية الأمر للأرض ولمصادر المياه

من أنهار وبحيرات، وبفعل الميكروبات يتحول الزئبق إلى أحد مشتقاته العالية السمية وهو ميثيل الزئبق (Methyl Mercury)، فيتراكم هذا المركب بالأحياء البحرية كالأسماك، ولا يمكن لعملية الطبخ أن تزيل هذا المركب مقارنة ببعض الملوثات الأخرى، وهذا المركب الخطير يصيب أكثر الأشخاص الذين يستهلكون كميات كبيرة جدًّا من الأسماك من تلك البحيرات الملوثة .

7- يصل الزئبق للإنسان عن طريق الطعام الملوث سواء أكان أسماكًا أو خضراوات وفواكه رُشَّت بالمبيدات الحشرية ، كما يؤثر تأثيرًا سلبيًّا على الحيوانات والطيور، حيث اكتشف أنه يمنع تتابع الأجيال في الطيور الآكلة لحبوب ملوثة بالزئبق، فيجعل البيض أكثر هشاشة (سهل كسره).

8- ولقد وجدت بعض الدراسات عام 1998 م ، وكذلك منظمة الصحة العالمية أن المملغم الذي يوضع كحشوة للأسنان هو زئبق ممزوج بمعادن أخرى، تحتوي على ما يقرب من 50٪ زئبق وربما أكثر، و35٪ فضة، و9٪ قصدير، و6٪ نحاس ، وأنه يتحرر يوميًّا من 3 إلى 18 ميكروجرام في اليوم. والزئبق الموجود في الحشو ليس مادة خاملة أو مستقرة كما يظن البعض أو كما يدّعي البعض الآخر، ولكن في كل مرة يأكل الإنسان فيها شيئًا حامضًا أو ساخنًا تنطلق الغازات إلى الجسم وتستوطن في أعضاء معينة ، مثل: الجهاز العصبي والكبد والكلى والغدة الدرقية والغدة النخامية والبروستات والخصى والمبايض والبنكرياس، وعلى ذلك فإن حشو الأسنان قد يسبب للأنسان بعض الأمراض الخطيرة وهو لا يدري.

ولقد وجد أن وجود فلز الزئبق فى الطبيعة يتركز بصفة خاصة في المواد العالقة في المياه .

د - أعراض التسمم:

الزئبق هو أكثر المعادن الثقيلة سمية، وهو من السموم المؤثرة على المخ والعصب الشوكي، حيث يشكل بخار الزئبق عند درجة حرارة الغرفة وعلي وجه الخصوص في الأماكن المغلقة خطرًا صحيًّا على الأفراد في المختبرات وعيادات الأسنان وأماكن العمل المتداول فيها الزئبق في صورته العنصرية، فاستنشاقه يسبب تسممًا بهذا السم المعدني، وتبدو أعراضه بعد امتصاصه بقدر كبير عن هذا الطريق. وأملاح الزئبق تمتص بسرعة من الأمعاء بالإضافة إلى أثرها المهيج على الأغشية المخاطية لكل من المعدة والأمعاء . وللأسماك

والكائنات البحرية قدرة خاصة على تركيز أملاح الزئبق في أجسامها من المياه الملوثة بهذه الأملاح، ويعد استهلاك هذه الأسماك كغذاء مصدرًا من مصادر التسمم المزمن بالزئبق كما حدث في خليج مينماتا باليابان الذي تلوث إلى حد كبير بمخلفات صناعة البلاستيك وسمي التسمم الناتج بداء مينماتا.

وتظهر أعراض التسمم بالزئبق بعد تراكم كميات كبيرة منه في الجسم والمخ، وهذه الأعراض هي:

1- أعراض عصبية : التهيج العصبي، صداع مزمن أو متكرر، خدران أو وخز في أي مكان في جسمك، دوار وطنين الأذن، رجفان اليدين والقدمين والشفاه واللسان، أما في حالات التسمم الخفيفة فالشعور بالتعب والإرهاق.

2- أعراض نفسية : الخجل والجبن، ضعف الذاكرة، عدم القدرة على التركيز، ارتباك وحيرة ذهنية، تغير المزاج، فقدان الرغبة في الحياة والهوايات، قلة الانتباه، انحراف الذكاء، فقدان الثقة بالنفس، الغضب وعدم السيطرة على النفس، اكتئاب، نوبات البكاء.

3- أعراض التجويف الفمي: نزيف اللثة، هشاشة العظام، فقدان الأسنان، النَّفَس ذو الرائحة الكريهة، غزارة اللعاب، طعم معدني في الفم، بقع بيضاء على اللثة والخدين، التهاب اللثة المزمن، التقرحات، حرقة الفم والحنجرة، تلون نسيجي أسود.

4- أعراض الجهاز الهضمي: انتفاخ وزيادة الغازات، قراقر وتشنجات بطنية، إمساك أو إسهال، قولون عصبي متهيج، غثيان فقدان الشهية، زيادة الوزن، عطش شديد.

5- أعراض قلبية : عدم انتظام ضربات القلب، نبض واهن وغير منتظم، تغيرات في الضغط الدموي، تجلطات شريانية.

6- مشاكل التهابية ومناعية: إنهاك مزمن، ضعف عضلي وآلام التهاب مفاصل روماتيزمي ، حساسية جيوب ، أزمة إنهاك عضلي وألم مفاصل.

7- تلف الكلى وحدوث اضطرابات شديدة في الجهاز الهضمي، ثم ينتهي الأمر إلى الوفاة وذلك في حالات التسمم الشديدة.

8 - قد يؤدي إلى حالات من العمى وشلل في الأطراف والجسم، واختلال في المخ.

9- تصل خطورة الزئبق إلى اختراق الأنسجة الواقية للجنين في بطن الأم والوصول إلى الجنين وإحداث تلف في المخ.

10- وقد اكتشفت أحياء دقيقة (بكتيريا) تعيش في الماء يمكنها تحويل مركبات الزئبق غير العضوية إلى مادة ميثيل الزئبق العضوية والتي تمتص في أمعاء الإنسان والحيوان وفي الأنسجة الحية بمقدار 98٪، ينقل المركب بواسطة كرات الدم الحمراء مخترقًا الخلايا ويتجمع ما يقرب من 10٪ من أي جرعة في الجهاز العصبي المركزي (CNS) حيث إن الهدف الأول له هو الدماغ.

11- مشاكل أخرى: عرق كثير بدون حرارة، انخفاض حرارة الجسم مع رطوبة، طفح جلدي حول العينين والرأس والعنق، عتامة وازدواج البصر، نقص الأكسجين، هشاشة العظام.

- المعالجة الأولية للتسمم بالزئبق:

تكون المعالجة الأولية للتسمم بالزئبق باستعمال كمية كبيرة من الحليب أو بياض البيض، أما في حالات التسمم الحاد بأملاح الزئبق فإنه يستخدم عقار البال (BAL) حيث تُعْطَى جرعة 2.5-5 مجم/ كجم من وزن الجسم بالحقن في العضلات كل 4 ساعات لمدة يومين، ثم 2.5 مجم/ كجم مرتين في اليوم الثالث، ثم مرة واحدة يوميًّا لمدة أسبوع، بالإضافة إلى مركبات أخرى مثل ثيوكبريتات الصوديوم ($Na_2S_2O_3$) وغيرهما الكثير طبقًا لنوع ومدى حالة التسمم.

4- الكروم :

هو أحد العناصر الانتقالية كتلته الذرية (51.996) وعدده الذري (24) وذات كثافة (7.29 جرام / سم^3) ودرجة غليان (1860°C). هو فلز أبيض فضي صلب يمتاز بمقاومة عالية للتآكل، ويستخدم حوالي (45٪) من إنتاجه العالمي في صناعة السبائك، وحوالي (40٪) منه في العمليات الإنشائية، و(15٪) في الأغراض الكيميائية الأخرى.

يعد الكروم من أكثر العناصر انتشارًا وأخطرها على البيئة، خاصةً إذا وجد في الصورة السداسية Cr (VI) . وتتدرج حالة التأكسد للكروم من Cr (0) إلى Cr (VI) ، ولكن أثبت حالات التكافؤ له هي الثلاثي Cr (III). ويلاحظ أن الكروم الثلاثي أكثر وفرة في التربة

العضوية جيدة التهوية ويرجع ذلك إلى أن المواد العضوية تساهم بشكل أو بآخر في اختزال الكروم السداسي وتحويله إلى كروم ثلاثي. والأسماك أكثر حساسية للكروم الثلاثي حيث تتراوح الجرعات السامة بالنسبة للأسماك من (0.2 - 5) ميكروجرام / لتر.

أ- استعماله في الصناعة:

يستعمل الكروم في عديد من الصناعات الكيميائية مثل الصناعات النفطية وصناعة الأصباغ والمطاط والبلاستيك والطلاء الصناعي، وكذلك الصناعات الدوائية أو صناعة الخشب والأحجار ومنتجات الزجاج ودباغة الجلود وصناعة الأسمنت وأجهزة التبريد والتكييف، أو كمادة مضافة إلى مواد تبييض الملابس.

ويتواجد الكروم في القشرة الأرضية بنسبة 100 mg / kg، وفي مياه البحر بنسبة 0.2 mg /L ، وفي مياه الأنهار بنسبة 1 mg / L، وقد تتزايد هذه النسبة بجوار المناطق الصناعية التي يستخدم فيها الكروم، حيث لوحظ زيادة نسبة الكروم في مياه البحار والأنهار القريبة من مناطق الصناعات الكيميائية والبتروكيميائية ، ويتم تلوث النبات عن طريق امتصاص الأشجار أو النبات للكروم من التربة الملوثة أو مياه الري أو حتى من الهواء الجوي الملوث ، وتتلوث مياه الشرب من خلال تسرب الكروم إلى المياه الجوفية عبر الآبار السوداء.

ب- التسمم بالكروم:

أشد مركبات الكروم سمية بالنسبة للنبات والحيوان هو الكروم السداسي Cr (VI) ، ومركبات الكروم السداسي لا توجد في الطبيعة ولكنها منتشرة في أشياء كثيرة مثل المعادن والتربة وقد تنبعث إلى الغلاف الجوي أو تنتقل إلى المياه أثناء العمليات الصناعية المختلفة وخاصةً الصناعات الكيميائية مثل الصناعات المذكورة آنفًا، والتي تؤدي إلى تلوث البيئة عند إلقاء مخلفاتها في البيئة.

يجب التنويه هنا إلى أن ثنائي كرومات البوتاسيوم يضاف كمادة ملونة (غش تجاري) إلى صناعة هيبوكلوريد الصوديوم المستخدم في تبييض الملابس، ولا يخفى على عاقل من التأثير المباشر للكروم السداسي على الجلد حيث يسبب سرطان الجلد، وخاصةً مع كثرة استخدام هذه المادة فى غسيل الملابس بغرض التبييض، وعند صرف هذه المواد إلى الصرف الصحي فإن ذلك يؤدي إلى تلوث المياه الجوفية، أما إذا تم سكبها في الشارع فإنه تحت أشعة الشمس

يكون لها تأثير مباشر على البيئة.

ونتيجة للآثار السيئة المترتبة على خطورة الكروم السداسي على الإنسان خاصةً والبيئة عمومًا، فقد اعتبرت منظمة الصحة العالمية (WHO) أن الحد الأعلى المسموح به في مياه الشرب 0.05 ppm ، وإن كانت منظمة البيئة البريطانية أكدت أن النسبة يجب ألا تتجاوز عن 15 µg / L لتأثير الكروم السداسي على DNA و RNA حيث يؤدي إلى عدم ثباتهما، وبالتالي فإنه يؤثر تأثيرًا مباشرًا على فقدان الذرية.

ج - أعراض التسمم به :

إذا زادت نسبة الكروم السداسي عن الحد المسموح به فإنه يسبب الأعراض التالية:

1- يمتص الكروم السداسي بسرعة داخل الجسم ويتحد مع الهيموجلوبين في الدم فيتلف الأنسجة.

2- يتحد مع الميتاجلوبين داخل البلازما وينتقل بعد ذلك إلى معظم أنسجة الجسم ليتم تدميرها .

3- إذا تواجد في الغلاف الجوي فإنه يؤثر على الطيور ويسبب موت بعض الحيوانات.

4- سام ويتداخل في السلسلة الغذائية.

5- وجود نسبة عالية منه في الأسماك التي تعيش في المياه الملوثة والذي بدوره ينتقل إلى الإنسان.

6 - التهاب الجلد في اليدين والأذرع والوجه والصدر وتبدأ هذه الالتهابات فجأة، وبعد مضي 6 أشهر، وفي الحالات الشديدة، يصبح الوجه شديد الاحتقان متورمًا، ويشعر المصاب بأكلان شديد وألم في المناطق المصابة.

7- والكروم السداسي بالإضافة إلى التأثير السمي فإن له تأثيرًا سرطانيًّا.

8- أما تقرحات الكروم تبدأ عادة عند الخدوش والجروح ومنابت الأظافر والرسغ وظهر القدم، وتكون التقرحات دائرية الشكل وذات حافة محددة قطرها (1سم) أو أقل وتسمى (بثقوب الكروم)، وهذه التقرحات ذات قابلية للالتئام وقد لا تلتئم فتمتد لعدد كبير من أعضاء الجسم فقد يصل إلى العظام وهي غير مؤلمة فيشعر المريض بأكلان غير محتمل ليلًا، وقد تؤدي إلى التهاب المفاصل.

5- الحديد:

الحديد هو أحد العناصر الانتقالية، كتلته الذرية 55.847 وعدده الذري 26 ودرجة انصهاره $1536\ ^{o}C$. وعنصر الحديد من العناصر المهمة في بناء جسم الإنسان فهو يدخل في تركيب المادة الصباغية الحمراء المكونة للدم (الهيموجلوبين - Hemoglobin) التي تنقل الأكسجين من الرئة إلى أنسجة الجسم المختلفة. والأكسجين يتم بواسطته إحراق المواد الغذائية لتوليد الحرارة اللازمة للجسم. كما أن الحديد يدخل في تركيب كافة خلايا الجسم ويلعب دورًا مهمًّا في النمو والإفرازات، ونقصه في الجسم يسبب: فقر الدم.

أ- استعماله في الصناعة:

والحديد عبارة عن فلز يوجد بكثرة في الطبيعة ويدخل في العديد من الصناعات الثقيلة مثل صناعة السيارات وفي المباني والمصانع وفي بعض الصناعات الكهربائية وغيرها . ويوجد الحديد في الطبيعة بشكلين هما: الحديديك (Fe III) والحديدوز (Fe II) .

ب- أعراض التسمم:

1- إذا زاد تركيزه في الجسم فإنه يحدث اضطرابات في الدورة الدموية وفي الكبد والقلب والبنكرياس والغدد الصماء ويؤدي إلى مضاعفات خطيرة، مثل: هبوط القلب وتليف الكبد وفشل وظائف البنكرياس وفشل في وظائف الغدة النخامية وقد ينتهي بالوفاة.

2- يؤدي عنصر الحديد الزائد في المياه إلى عسر الهضم والإصابة بالإمساك، حيث يتميز أيون الحديديك بعدم الاستفادة منه في الجسم إلَّا أن فيتامين سي قادر على تحويل الحديديك إلى سلفات حديدوز السهلة الامتصاص في الأمعاء، إلَّا أن الأخيرة تتميز أيضًا بقدرتها على إثارة الأمعاء والتسبب بحالة الإمساك.

3- قد يسبب تسمم إذا وصل إلى الدم بتركيزات عالية كما يساعد على امتصاص بعض المواد السامة والضارة للجسم.

4- والنقص منه في الجسم يسبب أنيميا نقص الحديد.

6- الأسبستوس (الحرير الصخري):

الأسبستوس اسم شامل يطلق على الأشكال الليفية من معادن السيليكات العديدة التي توجد في الطبيعة، وهو عبارة عن خليط السيليكات الليفية يقلب عليها سليكات الماغنسيوم مع مصهور خام الحديد، وأكثر أنواع الأسبستوس شيوعًا ثلاثة أنواع، هي: الأسبستوس الأبيض والأزرق والبني، علما بأنه لا يمكن تمييز لون الأسبستوس بالعين المجردة؛ وذلك لاندماجه مع مواد أخرى تخفي لونه في الغالب.

أ- استعماله في الصناعة:

يستعمل الأسبستوس الأبيض عمومًا في الأدوات المنزلية وفي بنايات السكن، ويستعمل الأسبستوس البني في العزل الحراري وفي استعمالات الرش المختلفة وفي عزل الألواح الخشبية كما أنه يستعمل في أغراض البحث العلمي، أما الأسبستوس الأزرق فيستعمل عازل لمواد التغليف وعمل أغطية منه بالرش وعوازل الفرامل.

ب- أعراض التسمم:

يكمن في الأسبستوس مخاطر كبيرة تنتج من الطبيعة الفيزيائية له وليس من الطبيعة الكيميائية، أي من شكل وحجم الليفة، فكلما كان حجم الليفة صغير جدًّا (كما هو الحال في الأسبستوس البني والأزرق) فإنه من السهل استنشاقه، ومن ثم يبقى عالقًا في الرئتين، ويسبب الأسبستوس الحالات المرضية التالية:

1- داء الأسبستوس: وهو عبارة عن تقرح أو تليف أنسجة الرئة الرقيقة (Fibrosis) وهو غالبًا يصيب العمال الذين يشتغلون في الأسبستوس لطول فترة الدوام المعتادة .

2- سرطان الرئة: إن الناس المصابة بداء الأسبستوس أكثر عرضة للإصابة بسرطان الرئة علمًا بأن التدخين يزيد الخطر بشكل جوهري .

3- ورم الأنسجة الطلائية: يؤثر هذا النوع من السرطان على الأغشية التي تبطن الصدر والمعدة، وعادة يظهر من التعرض للأسبستوس الأزرق.

4- وجود الأسبستوس في المياه بأي نسبة يسبب السرطان للإنسان.

7- الزنك - الخارصين (Zn):

الخارصين هو الاسم العربي للزنك، وقد تأخر الحصول على فلز الخارصين زمنًا طويلًا

مقارنة مع النحاس والرصاص والحديد، التي تم إنتاجها قبل الميلاد بآلاف السنين ، وذلك بسبب الارتفاع درجة غليان الخارصين (907 °C)، وهو ذات عدد تأكسد ثنائي (Zn II) .

يوجد الخارصين في القشرة الأرضية بتركيز يبلغ حوالي 65 جم / طن، ويعد العنصر رقم (24) من حيث إنتشاره فيها، والعدد الذري للزنك (30) والكتلة الذرية (65.39) ودرجة الانصهار (419.58 °C) والكثافة (7.133 جم/ سم^3).

يحدث عند استخلاص الرصاص المختلط عادة مع أكسيد الخارصين في فرن الصهر (1000 درجة مئوية) أن يغلي الخارصين ويتبخر من الفرن مسببًا التلوث بالخارصين، واعتمادًا على مصدر الماء واختلاف التربة فيمكن أن يحتوي الماء على الحديد والزنك والنحاس أيضًا، ويمكن للزنك أن يقلص امتصاص الحديد والنحاس والفسفور.

أ- استعمالاته في الصناعة:

- جلفنة الحديد والصلب.
- صناعة سبائك اللحام والطلاء.
- تعدين المساحيق.
- صناعة بعض مركباته بنقاوة عالية مثل أكسيد الزنك.
- إنتاج البطاريات المختلفة.

ب- الأعراض السمية للزنك:

توجد أعراض جانبية للزنك إذا زادت الجرعة بشكل كبير عن الجرعات القياسية اليومية، فيحدث تهيج في الجهاز الهضمي، وقيء في حالة تناول 2000 مجم أو أكثر، وهذا بالطبع نادر الحدوث. كما أن تناول أكثر من 50 مجم من الزنك يوميًّا ولمدة طويلة يسبب انخفاض مستوى النحاس وظهور نقص فيه، وربما كان هذا التأثير نافعًا وليس عرضًا جانبيًّا لدى بعض من يتعرضون لمستويات مرتفعة جدًا من النحاس أعلى من المطلوب . ولقد وجد أن تعاطي 150 مجم زنك مرتين يوميًّا يزيد مستوى الكوليسترول مسببًا نسبة غير مرغوب فيها ، والكمية القياسية التي يحتاجها الجسم يوميًّا من الزنك هي حوالي 15 مجم لكل من الجنسين، حيث يعتبر معدن الزنك من الضروريات المهمة بالنسبة للجسم.

8- النحاس:

هو فلز وزنه الذري (63.55) وعدده الذري (29) ويوجد في حالتي تأكسد نحاسيك (Cu II) ونحاسوز (Cu I) ، وأغلب مركبات النحاس الموجودة في التربة سهلة الذوبان في الماء، ولهذا فإن أيونات النحاس تكون في متناول النباتات عندما تمتص المحاليل التي تحتاج إليها من التربة، ولذلك فإن زيادة تركيزه يكون له أثر كبير في تلوث التربة.

أ- استعماله في الصناعة:

يدخل في العديد من الصناعات الكهربائية والسبائك المعدنية، كما أنه عامل مساعد مهم في التفاعلات الكيميائية، وتختلف درجات احتماله باختلاف الأحياء التي تتعرض له، فهو مثلًا يضعف مناعة الأسماك ويسهل القضاء عليها.

ب- التسمم بالنحاس:

بالرغم من أن النحاس هو أحد المعادن الثقيلة التي لها تأثير سام إلَّا أن وجود تركيزات معينة منه في التربة يعد أمرًا ضروريًّا، ونقصه قد يؤدي إلى خسائر فادحة في بعض المحاصيل ولاسيما الحبوب، ويصبح وجوده سامًّا إذا وصلت نسبته إلى (20mg/kg) من النبات الجاف. وتعتبر أغنام الضأن من أكثر الحيوانات حساسية لزيادة هذا المعدن بالإضافة إلى الأبقار أيضًا. وتظهر حالات التسمم بالنحاس إذا زاد التركيز عن (10 mg/kg).

9- الزرنيخ :

الزرنيخ هو أحد العناصر شديدة السمية، كتلته الذرية (74.92) وعدده الذري (33) ، وأهم مصادره عمليات تنقية المعادن وحرق الفحم والمبيدات الزرنيخية.

مركبات الزرنيخ شديدة السمية وتؤدى إلى تدهور صحة الإنسان، ولذلك فعند وصول بعض مركبات الزرنيخ إلى الدم فإنها تؤدي إلى تكسير الكرات الدموية الحمراء مسببة أنيميا " فقر الدم " واصفرار في الجسم وقد تؤدي إلى الموت. وغالبًا تصل هذه المركبات إلى مياه الشرب عن طريق الخطأ خاصة تلك الداخلة في تركيب كثير من المبيدات الحشرية، أو عن طريق احتراق الفحم، أو صهر المعادن، وأقصى حد مسموح به في مياه الشرب لهذا العنصر الخطير هو 0.05 mg/L .

10- النيـكل:

هو عبـارة عـن فلـز وزنـه الـذري (58.70) وعـدده الـذري (28) ودرجـة انـصهاره (1453°C) ، وهو أحد العناصر الانتقالية، وهو فلز أبيض اللون فـضي يقـاوم التآكـل ولـه درجـة لمعـان عاليـة. وهـو يوجـد بكميـات كبـيرة عـلى سـطح القـشرة الأرضـية والبحـار والمحيطات، كما أنه يدخل في تركيب الأنسجة البـشرية والنباتيـة، ويوجـد بنـسب ضـئيلة في تركيب النفط الخام، وهو أحد العوامل المساعده المهمة المستخدمة في التفـاعلات الكيميائيـة، ويدخل في عملية هدرجة الزيـوت، ولقـد دلـت الدراسـات الحديثـة عـلى أنـه مـن أسـباب الإصابة بالأمراض السرطانية، وعلى ذلك فإن استعمال الزيوت المهدرجة (السمن النبـاتي) في الأغذية وصناعة الحلوى قد يكون من أحد أسباب الأمراض السرطانية.

11- الكوبلت:

هو فلز سام جدًّا، وقد يسبب السرطان للعاملين في صناعته ، والتعرض لكميات كبـيرة من أملاحه تسبب اضطراب في الدورة الدموية، كما أن أكاسيده تسبب سرطان الرئة.

12- الباريوم:

- يسبب التسمم إذا كان في الصورة الذائبة.
- له تأثير سلبي على القلب والأوعية الدموية والأعصاب.

* * *

الأهمية الحيوية للمعادن الثقيلة

يجب التفرقة بين التلوث بالمعادن الثقيلة والأهمية الحيوية لها، حيث خلقها الله – عز وجل – ينسب ومقادير تتلاءم مع جسم الإنسان.

فالمعادن مكون أساسي لكل مادة، فهي موجودة في النسيج الحي، والمعادن مثل: الفيتامينات لا تحتوى على سعرات حرارية أو طاقة، لكنها تعين الجسم في عملية إنتاج الطاقة. وتشكل المعادن نسبة 4.5٪ من وزن جسم الإنسان ويتركز وجودها بالطبع في الهيكل العظمي.

بالرغم من سمية المعادن الثقيلة وأثرها السلبي على البيئة إلا أن بعض المعادن تعتبر مهمة وضرورية للكائنات الحية، فنجد أن الزنك والنحاس والمنجنيز ضرورية للإنسان والحيوان والنبات، والكوبلت والكروم بالنسبة للحيوان، والألمونيوم بالنسبة للنبات، أما ضرورة هذه العناصر لحياة الكائنات فيرجع إلى كونها تدخل في تركيب الخمائل وبعض البروتينات الأخرى التي تلعب دورًا نسبيًّا في بعض العمليات الانقلابية، فنقصها قد يؤدي إلى خلل في الوظائف الفسيولوجية وبالتالي تنتج أمراض عديدة.

والمعادن متوفرة في بروتين الأنسجة، وفي الإنزيمات، وفي الدم، وفي بعض الفيتامينات... إلخ. والمعادن الضرورية عناصر أساسية مهمة لنشاطنا الجسدي والعقلي، وتشكل حجر الأساس في بناء الخلايا وخصوصًا كريات الدم والخلايا العصبية والعضلية إضافة إلى العظام والأسنان والأنسجة. فهي توفر دعمًا للنشاط الوظيفي والبنائي لجسم الإنسان، وتنظم ميزان السوائل الحامضي – القاعدي في جسم الإنسان من خلال نسب الصوديوم والبوتاسيوم والكلوريد. وتشكل بعض المعادن جزءًا من إنزيمات مهمة تعمل عمل العامل المساعد في التفاعلات الكيميائية الحيوية ، كما أنها تساعد في إنتاج الطاقة وتعزيز عملية الاستقلاب. كما تلعب بعض المعادن دورًا مهمًّا في عملية إيصال الإيعازات للأعصاب، وتقلص العضلات وانبساطها، ونفاذية جدران الخلايا، وفي تكوين الدم والأنسجة الحية.

أما العناصر التي تعتبر غير ضرورية لأي وظيفة حيوية في الجسم كثيرًا ما يطلق عليها المعادن السامة، ومن أهمها: الزئبق (Hg) والرصاص (Pb) والزرنيخ (Zr) والكادميوم (Cd) والفانديوم (V) والبلوتونيوم (Pt) والتيتانيوم (Ti) واليورانيوم (U)، فهذه المعادن

تسبب أضرارًا صحية للكائنات الحية عند تركيز معين أو عالي، أما غيابها عن الجسم لا يـؤدي إلى أضرار صحية ليس كما هو الحال بالنسبة للعناصر الضرورية كالحديد مثلًا.

أما على الصعيد الكيموحيوي فإن التأثيرات المترتبة على المعادن السامة هي:

1- تأثيرها على الأغشية الخلوية .

2- إحلالها محل بعض الأيونات في الجسم .

3- تفاعلها مع مجموعة (SH) .

4- منافسة المعادن السامة مع بعض المكونات الاستقلابية في الجسم (إنزيمات الاستقلاب) والدماغ والجملة العصبية ككل .

5- تفاعلها مع مجموعة الفوسفور لكل من (ATP-ADP).

وتختلف الكائنات الحية في قدرتها على تحمل تركيزات عالية من المعادن إلَّا أن الزيادة المفرطة للتعرض تؤدي إلى الإصابة بالسرطان وأحيانًا الوفاة .

* * *

المنظفات الصناعية

تستخدم المنظفات الصناعية بكثرة لغرض إزالة مخلفات المعادن الثقيلة أو مخلفات النفط، كما تستخدم في المنازل والفنادق والورش والمصانع وغير ذلك؛ لذلك فإنها تعد أحد الأسباب الرئيسية لتلوث المياه نظرًا لاحتوائها على المخلفات التي تستخدم لتنظيفها، فضلًا عن تركيبها الكيميائي المعقد الذي يسبب تلوث المياه أيضًا.

وقد أثبتت بعض الدراسات أنه توجد كمية لا بأس بها في مياه البحار والمحيطات وخاصةً في المناطق السكنية القريبة من شاطيء البحر والمقام عليها فنادق سياحية ومطاعم وغير ذلك. وهذا النوع من التلوث لم يكن موجودًا عندما كان الإنسان يعتمد على الصابون اعتمادًا كليًا كمنظف صناعي؛ لأن الصابون يعتبر مادة قابلة للتفكك الحيوي من قبل الكائنات الحية الدقيقة. أما المنظفات الصناعية فإن معظمها- إن لم يكن كلها خاصةً في البلاد النامية- يتم تصنيعها أساسًا من شحوم أو من بقايا الزيوت أو من مركبات هيدروكربونية نفطية مسلفنة؛ لذلك فهي مركبات ثابتة لا تتفكك حيويًا بسهولة، بل على العكس فإنها سامة للكائنات الحية البحرية وبعض الكائنات الحية الدقيقة إذا تجاوزت الحدود المسموح بها.

ويمكن تقسيم المنظفات الصناعية طبقًا لتركيبها الكيميائي إلى عدة أنواع كالتالي:

1- منظفات صناعية أيونية:

وهي أشهر أنواع المنظفات الصناعية شيوعًا واستخدامًا، وتحمل تلك المنظفات شحنة سالبة، مثل: أملاح الأحماض الدهنية ($RCOO^- Na^+$) أو أملاح الزيوت النفطية المسلفنة ($RSO_3^- Na^+$ ، $ROSO_3^- Na^+$) وغيرهما، حيث إن R سلسلة كربونية طويلة يفضل أن تحتوي على أكثر من 12 ذرة كربون.

2- منظفات صناعية كاتيونية:

وهي تلك المنظفات التي تحمل شحنة موجبة، وأشهر أنواع هذه المجموعة هي أملاح الأمونيوم الرباعية ($R_4N^+ X^-$).

3- **منظفات صناعية مختلطة :**

وهي تلك المنظفات التي تحمل شحنة متعادلة، مثل: أملاح الأمونيوم للأحماض العضوية ($RCOO^- NH_4^+$).

4- **منظفات صناعية غير أيونية:**

وهذا النوع من المنظفات لا يحمل شحنة مثل: الإسترات (RCOOR) أو الإيثرات (ROR) سواء أكانت ذات سلسلة كربونية مفتوحة أو مغلقة.

* * *