

التلوث الصناعي : مخاطره ..ميكانيكته... كيفية مواجهته

د. هشام محمد قرشي
 أستاذ علم السموم المشارك
 كلية الصيدلة – جامعة الملك سعود
 المملكة العربية السعودية
 hkorashy@ksu.edu.sa

مقدمة

يطلق إسم التلوث الصناعي على التلوث بالمواد الكيميائية المشيدة لأغراض صناعية أو التي قد تنشأ من مخلفات الصناعة أو التي تشيد تلقائياً في الطبيعة. وهو نوع من أخطر أنواع التلوث المعروفة حيث ظهرت الآثار الجانبية والسمية لهذا النوع من التلوث بوضوح في هذا القرن نتيجة التقدم الصناعي في مجال الصناعات الكيميائية ونتيجة أخذ كثير من الدول بأساليب التكنولوجيا الحديثة في كل مجال. فالإنسان هو السبب الرئيسي و الأساسي في إحداث عملية التلوث في البيئة وظهور جميع الملوثات بأنواعاً مختلفة فالإنسان يتكاثر ويصنع ويستخدم هذه المواد.

ومما يزيد من خطورة تلك المواد الكيميائية أن كثير منها شديدة الثبات ولا تتحلل أو تتفكك تحت الظروف الطبيعية المعتادة ولذلك يبقى أثر هذه المواد الضار أمداً طويلاً. وعلي الرغم من أن جسم الإنسان يمتلك قدرة عجيبة على إصلاح الخلل الذي يعتريه نتيجة تعرضه لبعض السموم الكيميائية، إلا أن هذه القدرة الإصلاحية الذاتية تتضائل في حال التعرض لجرعات عالية من هذه السموم أو في حال التعرض للمركبات الكيميائية شديدة السمية، وخصوصاً في الأطفال وكذلك كبار السن بسبب حساسية الكلى لديهم. حيث أظهرت الدراسات البيئية و المخبرية علي هذه المواد الكيميائية قدرتها علي إصابة الإنسان بكثير من الأمراض مثل السرطان Cancer، التشوهات الجنينية Teratogenesis، تليف الكبد وتلف الكلى ثم ينتهي الأمر بحدوث الوفاة. ويعبر عن السمية بما يسمى "الجرعة القاتلة النصفية" ويرمز لها بـ (LD₅₀) اختصاراً للتعبير الإنجليزي (Lethal Dose 50)، وهي كمية الملوث الكيميائي اللازمة لقتل 50% من أفراد المجتمع المتعرض له.

مستويات التلوث

1. **غير خطر Not danger** : وهو التلوث الذي يستطيع الإنسان أن يتعايش معه بدون أن يتعرض للضرر أو المخاطر كما إنه لا يخل بالتوازن البيئي.
2. **خطر Danger**: وهو التلوث الذي يظهر له آثار سلبية تؤثر على الإنسان وعلى البيئة التي يعيش فيها.
3. **مدمر Crisis** : وهو التلوث الذي يحدث فيه إنهيار للبيئة والإنسان معاً ويقضي على كافة أشكال التوازن البيئي ويحتاج إصلاح هذا الخطأ سنوات طويلة ونفقات باهظة .

أنواع التسمم بالمواد الكيميائية

1. **تسمم حاد Acute Toxicity**: يظهر تأثير تلك المواد الكيميائية السامة على الجسم فوراً، أي بمجرد التعرض لها، وخصوصاً عندما تكون الجرعة عالية. وأشهر مثال علي هذا النوع الكارثة النووية لمفاعل محطة كهرباء تشيرنوبل في اوكرانيا عام 1986 والتي أدت الى دمار بيئي في اوكرانيا وبيلاروسيا ووصل عدد الضحايا الى مئات الالوف وانتشر التلوث النووي بسرعه على مساحات واسعة في اوربا واسيا.
2. **تسمم مزمن Chronic Toxicity**: يتطلب ظهور الأعراض المرضية للمواد الكيميائية فترات زمنية طويلة قد تمتد إلى 20 عاماً نتيجة للتعرض الي جرعات قليلة ولكن لفترات طويلة جدا تمتد الي سنوات و من أمثلة تلك المواد التسمم بالمعادن الثقيلة وهذا بالتأكيد يعتمد على ظروف التعرض لها ودرجة التركيز.

طرق التعرض والتلوث بالمواد الكيميائية

تتلخص طرق التعرض للملوثات الصناعية والمواد الكيميائية ودخولها للجسم – حسب نوع المادة ودرجة تركيزها، ومدة التعرض لها - الي ثلاث طرق رئيسية هي:

1. **الإستنشاق Inhalation**: وهو الطريق الأكثر شيوعاً لدخول المواد الكيميائية إلى الجسم وتشمل الغازات، الأبخرة، الأغبرة، والأدخنة، وترتبط درجة الإستنشاق بالخواص الفيزيائية

والكيميائية للملوث فعلى سبيل المثال المواد التي تكون قابليتها للذوبان عالية في الدهون تمر بسرعة إلى الدم عبر الأغشية المبطنة للحويصلات الهوائية أما المواد غير القابلة للذوبان فتمكث داخل الحويصلات الهوائية ويهاجمها الجهاز المناعي في الجسم ويتخلص منها.

2. **الإمتصاص Absorption:** وهو الطريق الثاني الأكثر شيوعاً للتعرض من خلال الجلد والعينين، ومن ثم الوصول إلى الدورة الدموية. ويعتمد سرعة الامتصاص على زيادة درجة الحرارة التي تعمل على توسيع الشرايين في الجلد.

3. **البلع Ingestion:** ويجري دخول المواد الكيميائية بهذه الطريقة إلى الجهاز الهضمي نتيجة ابتلاع وتناول الأطعمة أو المشروبات وغيرها الملوثة بالمواد السامة. إلا أن سمية المواد التي تدخل الجسم عن طريق الفم تكون أقل منها عن طريق الاستنشاق للمادة نفسها؛ لأن امتصاص الدم للمادة عن طريق الأمعاء قد يكون أقل، كما أن إنزيمات الهضم والكبد قد تغير من صفات المادة وتقلل من سميتها وامتصاصها.

أضرار التلوث الصناعي

إجمالاً تتمثل الأضرار العامة للتلوث الصناعي في ظهور المشاكل البيئية المختلفة على الانسان و الحيوان والنبات ومن ضمنها:

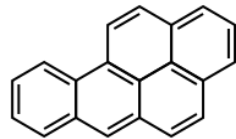
1. إختلال التنوع البيولوجي وإنقراض بعض مظاهر الحياة النباتية والحيوانية .
2. تآكل طبقة الأوزون.
3. ظاهرة الإحتباس الحراري وعدم إستقرار المناخ.
4. حدوث الحرائق عن طريق الأشتعال الذاتي للغازات السامة القابلة للاشتعال.
5. تزايد نسب الاكاسيد الضارة والمعادن الثقيلة العالقة.
6. ترسب المكونات الصناعية بالتربة الزراعية لفترة طويلة من الزمن.
7. زيادة التدفق الحراري من المناطق الصناعية و المحملة بالملوثات المختلفة من العوالم والتربة والدخان .
8. زيادة معدلات الاصابة بالامراض كالسرطان – الفشل الكلوي والكبدية – التشوهات الجنينية.

أنواع الملوثات الصناعية:

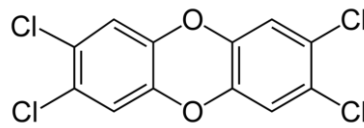
1. الملوثات البيئية Environmental toxicants

هي مجموعات من المواد الكيميائية التي تتصف بسميتها الشديدة وثباتها النسبي والتي لا يسهل التخلص منها أو من آثارها الضارة بل تتحول من شكل الي شكل اخر. تتكون تلك المركبات في الطبيعة إما من نتاج المصانع أو وحرائق الغابات و البراكين. ويوجد هناك إختلاف بمعدل امتصاص الملوثات إلى الجسم بين الأفراد بحسب العمر أو الجنس أو الوراثة، كما يختلف معدل امتصاص الملوثات تبعاً للجهد الفيزيائي أو المناخ السائد في بيئة العمل وفي جميع الحالات يؤدي التسمم بالملوثات البيئية للإصابة بأمراض عديدة للانسان و النبات والحيوان مثل أمراض الحساسية والربو والأمراض المعدية والسكتة الدماغية.

من أمثلة هذه الملوثات البيئية الأكثر إنتشارا الهيدروكربونات الاروماتية متعددة الحلقات Polycyclic Aromatic Hydrocarbons و التي تعتبر من أشد المواد التي حضرها الإنسان سمية وتبلغ سميتها وسرعة مفعولها حدا مشابهها لغازات الأعصاب. ومن امثلتها الداويوكسن TCDD والبنزوإبيرين Benzo[a]pyrene BP (شكل 1) حيث تبلغ سمية الداويوكسن حدا يفوق كل وصف. فالجرعة الصغيرة منه والتي لا تزيد على ٠,٨ ميكروجرام تستطيع أن تقتل أرنا بالغاً. فهي لا تنحل بسهولة تحت الظروف الطبيعية السائدة. وهذا الثبات الكيميائي يزيد كثيرا من سميتها حيث يبلغ مدة تحلل تلك المواد للنصف «عمر النصف» الى ما لا يقل عن عشرين سنة تحت الظروف المعتادة ولهذا لا يوجد حتي الان اي مضاد كيميائي لتلك المركبات.



BP

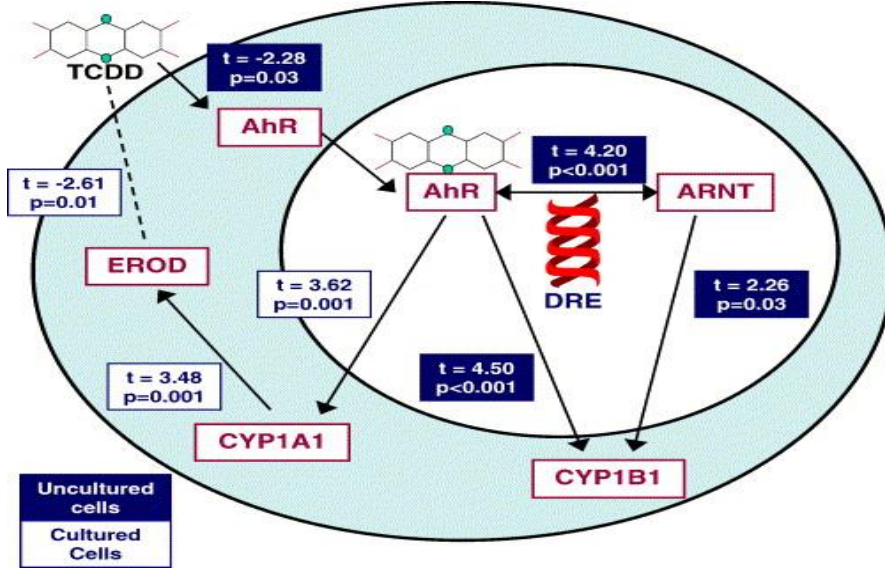


TCDD

شكل 1:

تتلخص ميكانيكية TCDD على إحداث السمية في قدرة هذه المركبات في الارتباط بمستقبلات الهيدروكاربون Aryl hydrocarbon receptor (AhR) داخل الخلية، مما ينتج عنه زيادة التعبير الجيني Gene expression لبعض الإنزيمات التي تلعب دورا هاما في الإصابة بالسرطان، ومن أمثلة تلك الانزيمات ما يعرف بالسيتوكروم CYP1A1 (شكل 2). فبمجرد

ارتباط الدايوكسن بمستقبلات AhR، تزداد فعاليتها و تنتقل الى داخل النواة لترتبط مع بروتين ARNT الذي يساعد في الاتحاد مع سلسلة من DNA تعرف بـ DRE مما ينتج عنه زيادة التعبير الجيني لـ CYP1A1 الذي يقوم بدوره في إحداث السرطان و الامراض الاخرى (شكل 2).



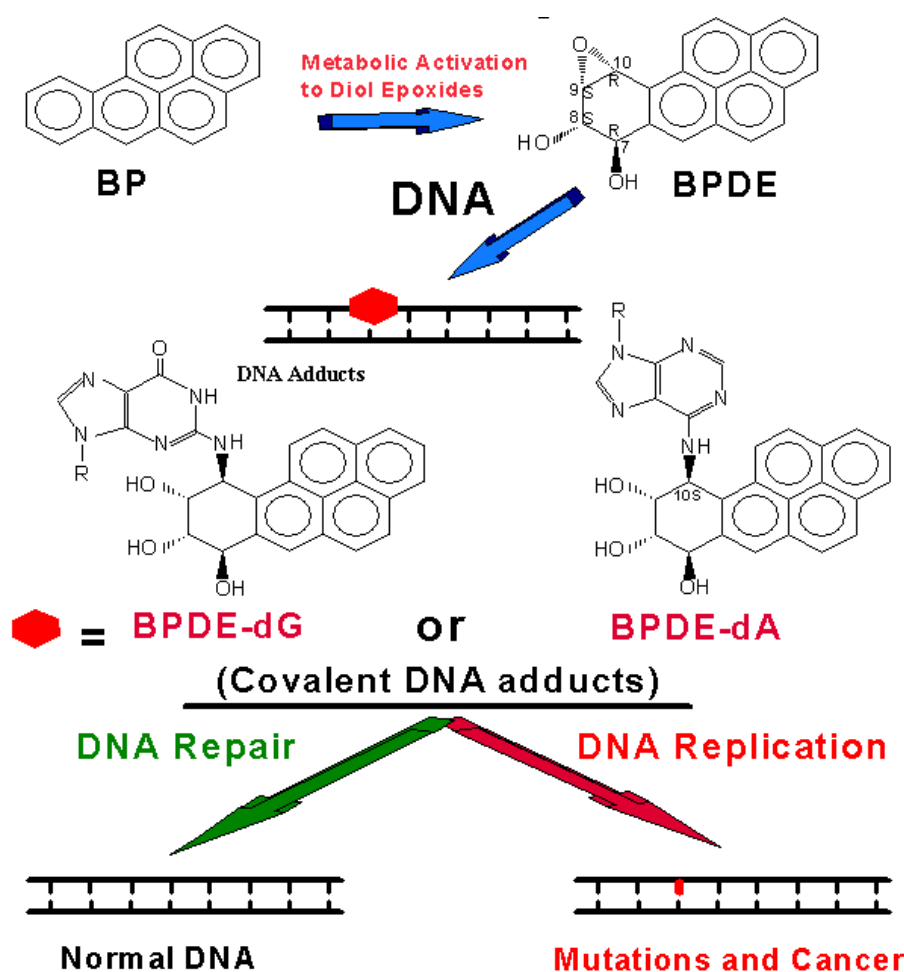
شكل 2: ميكانيكية الدايوكسن في احداث سمية في الخلايا

ولعل أشهر وأحدث وأشد حالات التسمم بمادة الدايوكسن تلك التي وقعت عام 2005 عندما تعرض مرشح الانتخابات الرئاسية الاوكرانية فيكتور أندريوفيتش يوشينكو (شكل 3) لجرعات عالية من الدايوكسن التي وضعت له في طعامه مما أدى الى إصابته فوراً بتشوهات شديده في الوجه، حيث بلغ تركيز تلك المادة في دمه ما يقارب 100,000 ppt والذي يعد ثاني أعلى تركيز تم رصده حتى الان.



شكل 3: فيكتور قبل وبعد التسمم بماده الدايوكسون

من جانب اخر، تتحد تلك الملوثات مثل BP بعد تفعيلها الى BPDE بالحامض النووي DNA مما ينتج عنه تغيرات في التركيب البيولوجي للحامض النووي والمعروف بـ Mutation مما يؤدي الى حدوث خلل في عملية التعبير الجيني لكثير من الانزيمات والبروتينات الهامة في الجسم. وعلى الرغم من تصدي الجسم لتأثير تلك الملوثات عن طريق تصليح الخلل في التركيب البيولوجي لـ DNA بواسطة جهاز DNA Repair System، الا ان معظم تلك المحاولات تبوء بالفشل ويتأكد حدوث السرطان (شكل 4).



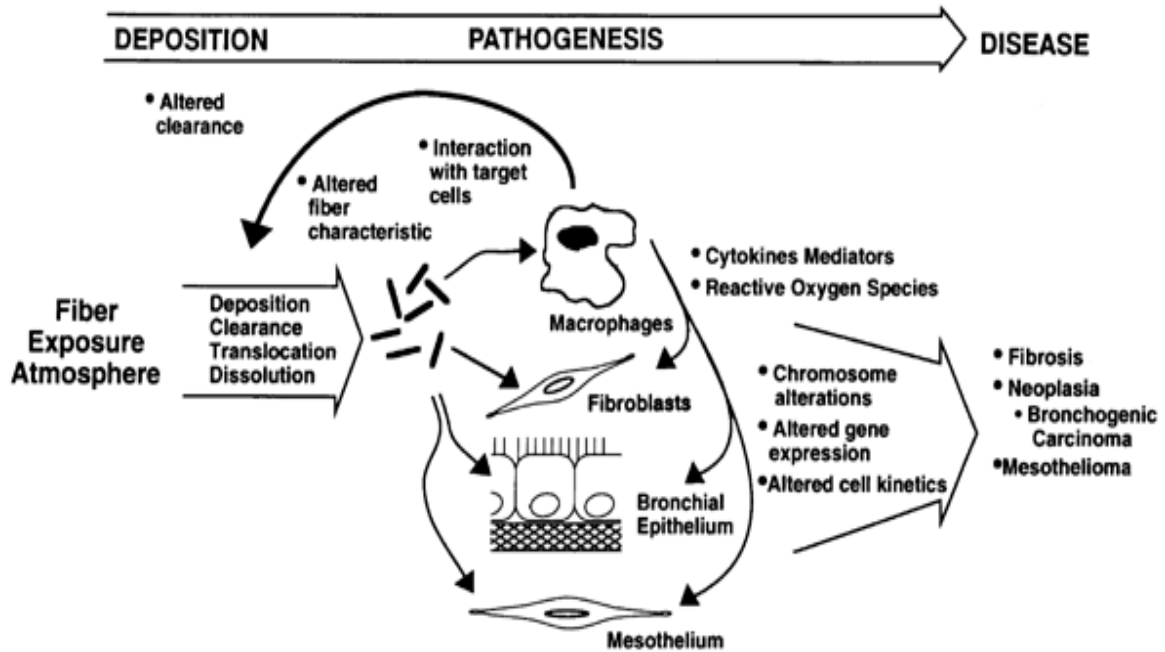
شكل 4: مكانية حدوث السرطان بواسطة BP

2. المنظفات الصناعية المنزلية House-hold chemicals

الكيمائيات المنزلية هي مزيج من مواد كيميائية تكمن مخاطرها على الحياة والصحة في طبيعتها الكيميائية والحيوية والفيزيائية إذا لم يتعامل معها بحذر وحيطة جيدة، حيث يمكن لها أن تنذر بالخطر أثناء أي مرحلة من مراحل الاستخدام، ابتداء من الإنتاج والتخزين مروراً بالنقل

والاستهلاك أو التخلص من نفاياتها. ومن أمثله تلك الملوثات المنزلية مادة الاسبستوس Asbestos وهو معدن طبيعي من السليكات يتكون من بلورات ليفية طويلة ورفيعة يمكن إستنشاقه بسهولة من قبل الانسان والحيوانات. و يستخدم الاسبستوس في صناعة القماش، الحصير، النسيج وصناعات القفازات والبطاطين لمقاومته للحريق أو الحرارة، في تركيبه فرامل وتروس السيارات و الاسلاك الكهربائية ومجففات الشعر .

أعراض التسمم بالاسبستوس يمكن تلخيصها في: صعوبة في التنفس، والسعال، فقدان الوزن، وألم في الصدر وسعال جاف. تشوه الأصابع، وألم في الصدر وانخفاض النشاط البدني. الا ان التعرض المزمّن لتلك المادة يؤدي الى الإصابة بسرطان الرئة و ورم المتوسطة، وهو سرطان نادر يصيب الطبقة التي تبطن الرئتين أو البطن. يوضح شكل 5 ميكانيكية حدوث سرطان الرئة بواسطة الاسبستوس. حيث انه بمجرد استنشاق الاسبستوس تتسلل الالياف الطويلة الى الطبقة التي تبطن الرئتين ثم تترسب في داخل خلايا تلك الطبقة والمعروفة باسم ميثوسيليم Mesothelium ولا يصبح أمام الخلية سوى إطلاق إنذار للجهاز المناعي بالجسم وهو ما يؤدي إلى حدوث التهابات متكررة في الجسم و تغيرات جينية Altered gene expression وكروماتومية Chromosome alterations اضافة الي اختلال في حركة الخلية Altered cell kinetics وهذا اجمالاً يؤدي الى الإصابة بسرطان الرئة و ورم المتوسطة.



شكل 5: ميكانيكية حدوث سرطان الرئة بواسطة الاسبستوس

كما يعتبر البنزين والكحولات و التدخين واستخدام مواد الرش (الأيروسولات)، والتي يتم استخدامها في صورة بخاخات، ومنها المنظفات والعطور وملطفات الجو، والعديد من الدهانات، من أهم مصادر تلوث الهواء الداخلي بالمنزل.

وتتلخص الاجراءات الوقائية لمنع حدوث التسمم المنزلي في:

1. وضع الأدوية و المواد السامة مثل المنظفات و المواد البترولية و المبيدات الحشرية بعيداً عن متناول الأطفال وذلك في أماكن مرتفعة أو أماكن مغلقة .
2. عدم تخزين المواد السامة في نفس المكان الذي تحفظ فيه مواد الطعام.
3. عدم وضع المواد السامة في الأكواب المخصصة للشرب أو في زجاجات المشروبات الغازية أو في أواني الطعام.
4. مراعاة لصق ورقة مبيّن عليها اسم المادة الموجودة داخل كل إناء أو زجاجة.

1. المعادن الثقيلة Heavy metals

المعادن الثقيلة مثل الرصاص والزنك والكاديوم والزرنيخ هي معادن ذات كتل ذرية كبيرة (أكبر من 50 دالتون) وتتوافر في البيئة بكميات قليلة، حيث يؤدي التلوث بها إلى التجمع داخل النظم البيئية الحية ، ومن ثم تلويث الهواء والماء والغذاء. وهذه المعادن لايعرف لها أي دور بيولوجي وهي كلها شديدة السمية عند مستويات وتراكيز منخفضة جداً. وتسبب النشاط الصناعي للإنسان في إطلاق كثير من الشوائب وبخار بعض المعادن السامة في الهواء على هيئة أيروسول تحمله الرياح إلى كل مكان.

تدخل معظم المعادن الثقيلة في المواد الصناعية كالبطاريات والسبائك والأصبغ ومساحيق التجميل وأصبغ الشعر والوقود والدهانات والأطارات، أو المبيدات كالزرنيخ. ولهذه المعادن ميزة سمية في كونها تتراكم في الأنسجة مثل الكبد و الكلى و الدماغ. وتتلخص التأثيرات الضارة للمعادن الثقيلة في انخفاض صبغة الدم (الهيموجلوبين) مثل الرصاص، وأزرقاق اللثة، وتليف الكبد وتلف الكلى، ضعف البصر، شلل الأطراف واضطرابات عصبية وسرطان الكبد والرئة. و الجدير بالذكر ان 50% من حالات التسمم بالمعادن الثقيلة تحدث عند الاطفال.

- وأهم طرق الوقايه والعلاج من التسمم بالمعادن الثقيله تتلخص في:
1. تحديد مصدر التسمم (تحديد نوع المعدن الذى سبب التسمم عن طريق تحليل الشعر، تجميع للبول على مدار 24 ساعة لتحديد نسبة المعادن الثقيلة).
 2. العلاج الاستخلايى (Chelation therapy) وهى الطريقة الشائعة لتخليص الجسم من آثار سموم المعادن الثقيلة وتسمح بخروجها من الجسم بدون التفاعل مع المواد الكيميائية الأخرى فمثلا عقار البال (BAL) يجب أن يعطى (بجرعة 2,5-5 مجم/كجم من وزن الجسم) بالحقن العميق في العضلات كل 4 ساعات لمدة يومين، ثم 2,5 مجم/كجم مرتين في اليوم الثالث، ثم مرة واحدة يوميا لمدة أسبوع.
 3. العلاج بفيثامين (ج) و (Glutathione).
 4. النظام الغذائى الغنى بالألياف حيث تمنع من دخول المعادن الثقيلة إلى المعدة .

ويعتبر الزئبق هو أكثرها إنتشارا وأشدّها سمية. وترجع اقدم حالات التسمم بالزئبق في القرن الحالى الى عام 1932، عندما ضخّت مياه الصرف الصحي في اليابان والتي كانت تحتوى على نسب عالية من الزئبق في ميناء مينيماتا "Minimata" والذي نجم عنه التراكم الحيوي للزئبق في الكائنات البحرية مثل الاسماك ، وظهور حالات من التسمم في عام 1952 كما أدت إلى وفاة ما يقرب من مائة شخص. والتي عُرفت باسم "عرض مينيماتا Minimata syndrome". كما 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 1969 أنه يحتوي على آثار ضئيلة من معدن الزئبق. وقد لوحظت مشكلة التلوث بالزئبق في سويسرا أيضا عام 1975 في بحيرة ليمان Leman.

كما انه من اشهر امثلة التلوث البيئي الحديثة بالمعادن الثقيلة هو ما كشفته دراسة قام بها فريق اكاديمي في جامعة الملك سعود في الرياض، من تلوث التربة المحيطة بمنجم محافظة مهد الذهب (شكل 6) "أكبر منجم للمعادن النفيسة في الشرق الأوسط" بالمعادن الثقيلة السامة المضرّة على الحيوان والنبات والإنسان نتيجة تطاير الغبار من المنجم للمنازل (شكل 6) في محيط لا يتعدى عشرة أمتار عن المنجم حيث بلغت معدلات التلوث بالمعادن الثقيلة 13 ضعفاً للمعدلات الطبيعية

العالمية مع ازدياد معدلات مرضى السرطان في مدينة مهدالذهب ومعدل مرضى الفشل الكلوي المزمن وأمراض الربو.



شكل 6: الغبار يتطاير يومياً من المنجم إلى منازل السكان

2. المبيدات الحشرية Pesticides

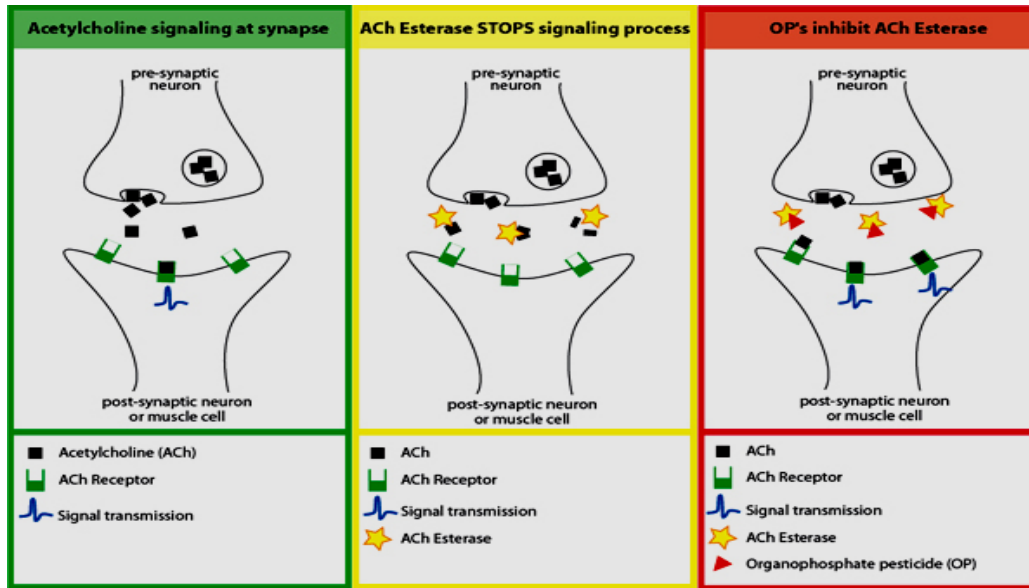
هي مركبات كيميائية تُستخدم للقضاء على شتى أنواع الفطريات و البكتريا و الحشرات المختلفة. وبالرغم من أن المبيدات الحشرية ساعدت في القضاء على كميات كبيرة من المشاكل التي تحدث بواسطة الحشرات، إلا أن تراكم هذه المبيدات في أنسجة الكائنات مما يؤدي إلى تدمير النسيج تشريحياً و وظيفياً، جعلت المبيدات الحشرية من أخطر الملوثات وأكثرها انتشاراً حيث تمتص المبيدات الحشرية عن طريق الرئة إذا تعرض الشخص لجو مشبع بهذه المواد و قد تمتص بواسطة الجلد بعد تلوثه بها , كما يحدث التسمم من المبيدات الحشرية على أثر وصول هذه المواد إلى الجهاز الهضمي و ثم تسبب إصابات في الجهاز الهضمي و الكبد و الرئة و الأعصاب.

تتكون العديد من المبيدات على الكربون و الهيدروجين و الكلور لذا سميت هذه المركبات بـ Chlorinated Hydrocarbons و التي منها D.D.T و الالدرين Aldrin. حيث تكمن خطوره ههذه المركبات في انها ليست ذات سمية اختيارية للحشرات بل قد تؤثر علي الانسان و

ذات معدل تفكك بطيء جداً من 10 – 15 سنة مما يجعلها تبقى سامة كل تلك المدة. وتشتمل الأعراض السمية المصاحبة الصداع -الدوخة - الغثيان - ألم بالبطن- قئ- إسهال - تهيج- شعور بالخوف – الترنح في المشي – ارتعاشات عضلية – تشنجات - تسرع في القلب – تنفس سريع- موت.

وتتلخص ميكانيكيه عمل بعض هذه الملوثات في:

1. إحياء عمل إنزيم الكولين استيريز Acetylcholine esterase الذي يكسر دائماً الأسيتيل كولين Acetylcholine ويحوله إلى حمض الخليك + كولين حيث يعد الأسيتيل كولين ناقل كيميائي لعدد من الألياف العصبية ويفرز عند نهايات الأعصاب حيث تتحد مركبات الفسفور العضوية مع الأنزيم مكونة إنزيم فسفوري لا يستطيع تكسير الأسيتيل كولين (شكل 7).



شكل 7: ميكانيكية المبيدات الحشرية في احدث سمية

2. تتداخل في حركة أيونات الصوديوم والبوتاسيوم في انسجة الجهاز العصبي وبالتالي تتداخل في طبيعة النقلة الكهربائية على طول الألياف العصبية في الجسم حيث تتأثر جميع الأعصاب الحسية والحركية بذلك حيث لوحظ من دراسة حيوانات التجارب ان هنالك علاقة بين مستوى تأثير الجهاز العصبي المركزي وتراكيز مادة (DDT) فيه.

واهم الاسعافات الاولييه المتبعه منع امتصاص المبيد بغسل المعدة والتحريض على القي وإعطاء المسهلات الملحية. إعطاء حقن الفاليوم و المهدئات إذا كان المريض في حالة تشنجات و إعطاء المنبهات القلبية التنفسية.

المراجع

1. التلوث مشكلة العصر. تأليف د. أحمد مدحت اسلام. عالم المعرفة 1990
2. Textbook of Modern Toxicology by Ernest Hodgson. 3rd edition, Wiley-Interscience, 2010.
3. Mechanism of acute toxicity with organophosphate pesticides (http://depts.washington.edu/opchild/pdf/3_Acute_Poisoning.pdf).
4. Andrea Baccarelli, Angela C Pesatori, et al., Aryl-hydrocarbon receptor-dependent pathway and toxic effects of TCDD in humans: a population-based study in Seveso, Italy. Toxicology letters 2004, 287-293
5. Handbook on the toxicology of metals by Gunnar F. Nordberg, Bruce A. Fowler, Monica Nordberg, Lars T. Friberg. 3rd edition Elsevier.