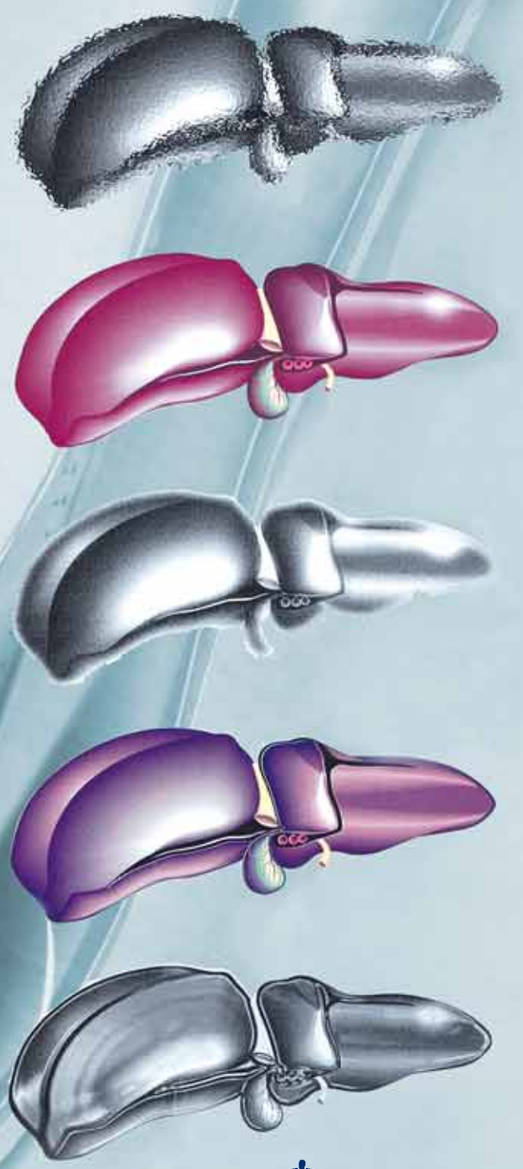
WHO-EM/CEH/129/A

المواد الكيميائية الخطرة على صحة الإنسان والبيئة



مرجع لطلاب المدارس والكليات والجامعات

منظمة الصحة العالمية
المكتب الإقليمي لشرق المتوسط
المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة
عمان-الأردن، 2005

المواد الكيميائية الخطرة على صحة الإنسان والبيئة

أصبحت المواد الكيميائية جزءاً لا يستغنى عنه من حياتنا، حيث أنها تعمل على]إدامة العديد من أنشطتنا، وتساعدنا على الوقاية من العديد من الأمراض وفي السيطرة عليها، وتساعدنا كذلك في زيادة الإنتاج الزراعي. والفوائد أكثر من أن تحصى، ولكن من الناحية الأخرى فقد تشكل المواد الكيميائية خطراً على حياتنا وقد تسمم بيئتنا.

صدر الأصل الإنجليزي لهذا الكتاب عن البرنامج العالمي للسلامة الكيميائية للشابات والشباب الذين سيعملون مستقبلاً في الصناعة، والزراعة، والقطاعات الحكومية والعامة والخاصة الأخرى. وذلك من أجل توعيتهم بضرورة التفكير ملياً في التأثيرات الضارة المحتملة للمواد الكيميائية الخطرة على الصحة والبيئة، ومن أجل أن يأخذوا الإجراءات الملائمة على المستويات المحلية أو الوطنية أو الدولية لإدارة بيئتهم بشكل سليم. ومن المؤمل أن يترك هؤلاء الشباب والشابات لإبنائهم إرثاً بيئياً أفضل من الإرث الذي تركناه لهم.

WHO-EM/CEH/129/A

المواد الكيميائية الخطرة على صحة الانسان والبيئة

مرجع لطلاب المدارس والكليات والجامعات

منظمة الصحة العالمية
المكتب الإقليمي لشرق المتوسط
المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة
عمان-الأردن، 2005

صدرت الطبعة الأصلية عن منظمة الصحة العالمية عام 2000 تحت عنوان:

Hazardous chemicals in human and environmental health (a resource book for school, college and university students) (WHO/PCS/00.1)

وقد منحت المنظمة حقوق تعريب هذه الوثيقة للمركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة التابع لمنظمة الصحة العالمية. والمركز هو المسؤول الحصري عن الطبعة العربية.

ترحب منظمة الصحة العالمية بطلبات الحصول على الإذن باستنساخ أو ترجمة منشوراتها جزئياً أو كلياً. وتوجه الطلبات والاستفسارات في هذا الصدد إلى مكتب المطبوعات بمنظمة الصحة العالمية، إقليم شرق المتوسط، القاهرة، الذي يسره أن يقدم أحدث المعلومات عن أي تغييرات تطرأ على النصوص، وعن الخطط الخاصة بالطبعات الجديدة، وعن الترجمات والطبعات المكررة المتوافرة.

© **مُنَظَّمَةُ الصِّحَّةِ العَالمِيَّة، 2005**

جميع الحقوق محفوظة
إن التسميات المستخدمة في هذه المنشورة، وطريقة عرض المادة التي تشتمل عليها، لا يُقصَدُ بها مطلقاً التعبير عن أي رأي لأمانة منظمة الصحة العالمية، بشأن الوضع القانوني لأي قطر، أو مقاطعة، أو مدينة، أو منطقة، أو لسلطات أيٍّ منها، أو بشأن حدود أيٍّ منها أوتخومها. وتمثل الخطوط المنقطة على الخرائط خطوطاً حدودية تقريبية قد لا يوجد حولها بعد اتفاق كامل.
ثم إن ذكر شركات بعينها، أو منتوجات جهة صانعة معينة، لايقصد به أن منظمة الصحة العالمية تخصها بالتزكية أو التوصية، تفضيلاً لها على ما لم يرد ذكره من الشركات أو المنتوجات ذات الطبيعة المماثلة.
يمكن الحصول على منشورات منظمة الصحة العالمية من إدارة التسويق والتوزيع، المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية لشرق المتوسط، ص. ب. (7608)، مدينة نصر، القاهرة 11371، مصر (هاتف رقم: 2535 670 202+؛ فاكس رقم: 2492 670 202+؛ عنوان البريد الإلكتروني: DSA@emro.who.int). وينبغي توجيه طلبات الحصول على الإذن باستنساخ أو ترجمة منشورات المكتب الإقليمي لمنظمة الصحة العالمية لشرق المتوسط، سواء كان ذلك لبيعها أو لتوزيعها توزيعاً غير تجاري إلى المستشار الإقليمي للإعلام الصحي والطبي، على العنوان المذكور أعلاه (فاكس رقم: 5400 276 202+؛ عنوان البريد الإلكتروني: HBI@emro.who.int).

يمكن التوصّل إلى النص الكامل لهذه المنشورة عن طريق الإنترنت http://www.emro.who.int/ceha/publication.asp

شكر وتقدير

يعرب مركز منظمة الصحة العالمية الإقليمي لأنشطة صحة البيئة عن شكره للتالية أسمائهم وذلك عن جهودهم المتعددة في إخراج هذه الوثيقة العلمية:

الترجمة والتعريب:	**المهندس حسين محمد سراج**
المراجعة العلمية:	**الدكتور المهندس صقر السالم (المركزالإقليمي لأنشطة صحة البيئة)**
التدقيق اللغوي:	**الدكتور قاسم سارة (المكتب الإقليمي لشرق المتوسط)**
المراجعة والاخراج الفني:	**المهندس مازن ملكاوي (المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة)** **السيدة رهام اليمن (المركز الإقليمي لأنشطة صحة البيئة)** **المهندس أحمد الكوفحي (جمعية البيئة الأردنية)**

قائمة المحتويات

شكر وتقدير **iii**

المقدمة **ix**

المختصرات **x**

1- مصادر المواد الكيميائية في البيئة **1**
1-1 المواد الكيميائية الموجودة طبيعياً في البيئة 2
1-1-1 مصادر المواد السامة 2
1-1-2 العناصر المتواجدة طبيعياً في البيئة 2
1-1-2-1 الفلوريد 2
1-1-2-2 الزرنيخ 3
1-2 ملوثات الطعام الطبيعية 4
1-3 السم الجرثومي كملوث للغذاء 4
1-3-1 المطثيات الحيوية 5
1-3-2 التسمم السجقي الساري في غذاء الإنسان 5
1-4 الدّيفانات (السُميات) الفطرية كملوث طبيعي للغذاء 5
1-4-1 الأفلاتوكسينات 5
1-4-1-1 مصادر الأفلاتوكسينات 5
1-4-1-2 التعرض إلى الأفلاتوكسينات 6
1-4-1-3 تأثيرات الأفلاتوكسينات 6
1-4-1-4 الوقايـة من تعرض الإنسان إلى الأفلاتوكسينات 6
1-5 المصادر الصناعية للمواد الكيميائية 7
1-5-1 ميناء ميناماتا والتسمم البيئي للزئبق 8
1-5-1-1 أعراض التسمم بميثيل الزئبق 8
1-5-1-2 علاج التسمم 8
1-5-2 صناعة النسيج 9
1-5-2-1 المصادر والتعرض والتأثيرات 9
1-5-3 الإسبست والخيوط الأخرى 10
1-5-4 البترول 11
1-5-5 المذيبات 11
1-6 المصادر الزراعية للمواد الكيميائية 12
1-6-1 استخدامات المبيدات الحشرية 13
1-6-2 تلوث الهواء والتربة والمياه بالمبيدات 13
1-6-3 تعرض الإنسان للمبيدات 15
1-7 المصادر الحضرية للتلوث الكيميائي 15
1-7-1 المصادر الطبيعية لتلوث الهواء 16
1-7-2 الوقود الأحفوري كملوث للهواء 17
1-7-3 الأوزون كمصدر لتلوث الهواء 17
1-7-4 الاختلافات في تلوث الهواء 17
1-7-5 النفايات السائلة والصلبة 18
1-8 إطلاق المواد الكيميائية السامة بصورة عرضية 18

2- طرق التعرض **21**
2-1 مقدمة 22
2-2 التعرض عن طريق الامتصاص الجلدي 22
2-3 التعرض عن طريق الاستنشاق 24

2-4 التعرض عن طريق الابتلاع 25
2-4-1 الغذاء 25
2-4-2 المياه 25
2-5 التعرض متعدد السبل 27
2-6 التعرض إلى المخاليط الكيميائية 27

3- التأثيرات السلبية للمواد الكيميائية على الإنسان 31
3-1 مقدمة 32
3-2 التأثيرات على الجهاز التنفسي 33
3-2-1 كيف يعمل الجهاز التنفسي 33
3-2-2 كيف تؤثر المواد الكيميائية على الجهاز التنفسي 34
3-2-3 الأمراض التنفسية الناجمة عن المواد الكيميائية 36
3-3 التأثيرات على الكبد 36
3-4 التأثيرات على الكلى 38
3-5 التأثيرات على الجهاز العصبي 40
3-5-1 كيف يعمل الجهاز العصبي 42
3-5-2 كيف تؤثر المواد الكيميائية على الجهاز العصبي 42
3-6 السمية المناعية 43
3-7 السمية الإنـجابية للمواد الكيميائية 46
3-8 المواد الكيميائية المسببة للسرطان 48

4- تقييم المخاطر الكيميائية على صحة الإنسان 53
4-1 الطرق المستخدمة لتقييم المخاطر الصحية على الإنسان الناتجة عن التعرض 54
4-1-1 الاشتقاق على أساس صحي لمستويات التعرض المحتملة للإنسان 56
4-1-1-1 المواد الكيميائية العتبية 56
4-1-1-2 معامل اللايقين 57
4-1-2 طبيعة الإدخال اليومي المحتمل 57
4-1-2-1 المواد الكيميائية غير العتبية 58
4-1-3 حالات دراسية 59
4-1-3-1 القيم الإرشادية الصحية للمواد الكيميائية في مياه الشرب 59
4-1-3-2 القيم الإرشادية الصحية للمواد الكيميائية في الهواء 61
4-1-3-3 إجراءات عمل قيم إرشادية لنوعية الهواء 62
4-1-4 تقييم السلامة للمواد الكيميائية في الغذاء 63

5- التأثيرات البيئية للمواد الكيميائية 67
5-1 المواد الكيميائية والبيئة المائية 68
5-2 المواد الكيميائية والأنظمة البيئية للماء العذب 68
5-3 التأثيرات على الأنظمة البيئية البرية 68
5-4 التأثيرات البيئية العالمية للمواد الكيميائية 69
5-4-1 المطر الحمضي 69
5-4-1-1 مصادر أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين 69
5-4-1-2 التفاعلات الضرورية لتشكيل المطر الحمضي 70
5-4-1-3 تأثيرات المطر الحمضي 70
5-4-1-4 المحاليل المخفضة للمطر الحمضي 70
5-4-2 نفاد الأوزون في طبقة الستراتوسفير 70
5-4-2-1 تأثيرات نفاد طبقة الأوزون 71
5-4-2-2 مسببات نفاد طبقة الأوزون 71
5-4-3 بروتوكول مونتريال 71
5-4-4 المؤكسدات التروبوسفيرية 73
5-4-5 التغيرات المناخية وتأثير ظاهرة البيت الزجاجي (الدفيئة) 73

6- الإدارة البيئية الصحيحة للمواد الكيميائية السامة **77**
6-1 الوقاية 78
6-2 تكنولوجيا السيطرة 79
6-3 التعليمات والحوافز والمعايير 79
6-4 المبيدات – التعريف التنظيمي 80
6-4-1 الإدارة البيئية الصحيحة للمبيدات 80
6-4-2 التسجيل 81
6-4-3 الوسْم (الليبل) 81
6-4-4 التعليم والتدريب وحماية العاملين 81
6-4-5 النقل والتخزين والتخلص 82
6-4-6 الإدارة المتكاملة للحشرات الضارة (IPM) 82
6-4-7 التسمم بالمبيدات 82

قائمة المصطلحات **85**

الجداول

جدول 1 بعض العناصر الطبيعية الموجودة وتأثيراتها على صحة الإنسان 4
جدول 2 الطرق المستعملة لخفض إنتاج الأفلاتوكسين 6
جدول 3 الأخطار المهنية المرتبطة بالسرطان 7
جدول 4 النشاطات الصناعية الرئيسية والمصادر المحتملة للتلوث 7
جدول 5 تسلسل التحقيق في كارثة خليج مينماتا 8
جدول 6 الأمراض والأعراض عند تعرض العمال للمواد الكيميائية 9
جدول 7 المواد التي تنشأ عن صناعة النسيج 10
جدول 8 المواد الرئيسية التي ربما يتعرض لها العمال في محطات تكرير البترول 12
جدول 9 نشاطات الإنسان والنواتج الثانوية من احتراق الوقود الأحفوري 17
جدول 10 الحوادث التي أثرت على حياة الإنسان والبيئة 18
جدول 11 المبيدات وتأثيراتها المعروفة على الجلد 22
جدول 12 بعض السُميات الموجودة في الهواء وتأثيرها على صحة الإنسان 35
جدول 13 أمثلة على المواد الكيميائية التي تعمل على تسمم الكبد الحاد 38
جدول 14 المركبات السامة للجهاز العصبي 42
جدول 15 أمثلة على الكيميائيات الكابتة للمناعة 45
جدول 16 السُميات البيئية والنتائج التناسلية السلبية 47
جدول 17 بعض المواد الكيميائية التي تعتبر مسرطنة للإنسان حسب الوكالة الدولية للبحوث السرطانية 49
جدول 18 القيم الإرشادية (GV) لملوثات مختارة في مياه الشرب 61
جدول 19 القيم الإرشادية للمواد المستقلة في الهواء بناءاً على التأثيرات الناتجة غير السرطانية أو الرائحة والإزعاج 62
جدول 20 خطر المواد المسرطنة والمقدرة اعتماداً على الدراسات الإنسانية 63
جدول 21 الدلائل الكندية لجودة مياه البيئات المائية العذبة 68

الأشكال

شكل 1 التركيب الكيميائي لامينات الفطر وقلويات الفطر 5
شكل 2 التركيب الكيميائي للأفلاتوكسين 5
شكل 3 موقع ميناء مينماتا في اليابان 8
شكل 4 التركيب الكيميائي للبنزين 11
شكل 5 التركيب الكيميائي للـ D.D.T 13
شكل 6 التوزيع العالمي للملاريا (البُرداء) 14
شكل 7 مثال على تلوث الهواء في أوروبا 16
شكل 8 الطرق الرئيسة الثلاثة للتعرض 22
شكل 9 الطرق التي تصل بواسطتها المواد الكيميائية الخطرة والقادمة من البيئة المحيطة إلى عامة الناس 23
شكل 10 الجهاز المِعدي المِعوي 26
شكل 11 التأثيرات التبادلية لخليط المواد الكيميائية 27
شكل 12 تبادل الأوكسجين وثاني أكسيد الكربون بين السَّنْخ والشُّعيرة 33
شكل 13 الجهاز التنفسي 34
شكل 14 نقل الجسميات خلال قناة التنفس 35
شكل 15 أمثلة على نسيج رئة طبيعي ونسيج رئة تالف 36
شكل 16 الكبد 37
شكل 17 الكلية 39
شكل 18 الدماغ والحبل الشوكي العلوي 41
شكل 19 خلية عصبية 42
شكل 20 العلاقة ما بين الجرعة والتأثيرات السلبية 55
شكل 21 الغلاف الجوي الأرضي 71
شكل 22 تأثيرات نفاد طبقة الأوزون 72

المقدمة

أصبحت المواد الكيميائية جزءاً لا يتجزأ من حياتنا، حيث تدعم العديد من نشاطاتنا، وتمنع وتسيطر على العديد من الأمراض وتزيد من الإنتاجية الزراعية، وأن فوائدها لا تُحصى ولكن من ناحية أخرى فإنها قد تشكل خطراً على صحتنا وتسمم بيئتنا.

إن طبيعة وعدد وكميات المواد الكيميائية المستخدمة في الدول تختلف بشكل كبير وذلك بناءاً على عوامل متنوعة مثل الاقتصاد الوطني والصناعات الوطنية والزراعية. حيث يتم سنوياً تركيب آلاف المواد الكيميائية لتحديد ما إذا كانت ذات فائدة تجارية مجدية. ويُقدر أن هنالك ما يقارب 100.000 مادة كيميائية موجودة حالياً في التجارة، وأن حوالي 2,000 مادة كيميائية تدخل إلى السوق سنوياً. إذ يتغير مظهر المواد الكيميائية بشكل ثابت عندما تحل المواد الكيميائية الجديدة محل المواد القديمة، وتتنوع الكميات المنتجة والمستخدمة بازدياد فعاليتها والطلب عليها.

العديد من الكيميائيات لها تأثيرات سامة محتملة على الصحة والبيئة. فهنالك أخطار مختلفة من التعرض خلال الإنتاج والتخزين والتعامل والنقل والاستخدام وإزالة المواد الكيميائية، بالإضافة إلى تسرب المواد الكيميائية أو طرحها غير القانوني.

إن طرح المواد الكيميائية بشكل غير ملائم في البيئة قد يحولها إلى ملوثات للهواء الذي نستنشقه والماء الذي نشربه والغذاء الذي نتناوله وقد تؤثر على الأنهار والبحيرات والغابات وتضر بالمياه والتربة وتغير المناخ والأنظمة البيئية.

نتعرض جميعاً للمواد الكيميائية السامة. وتسببها في إيذائنا يعتمد على كميتها ومدة وتكرارية التعرض لها وكذلك سميتها بالإضافة إلى حساسية الأفراد، فقد تكون الكمية قليلة جداً، ولكنها تتراكم في الجسم خلال فترات زمنية طويلة. فبعض المواد الكيميائية تسبب الأذى بعد عدة سنوات من التعرض لها. فعلى الرغم من أن حدة التعرض قد تكون قصيرة، إلاّ أن التعرض قد يتكرر وبتراكيز مفرطة. فالأطفال وكبار السن والحوامل والذين يعانون من الأمراض هم أكثر حساسية من البالغين الأصحاء.

ومن المتوقع أن نمو الصناعات الكيميائية في الدول النامية والدول المتقدمة سيزداد في القرن القادم. فإن السلامة الكيميائية والتي تعني إدارة الأخطار الكيميائية هي ضرورية إذا ما أُريد للنمو أن يكون ذا فائدة ولا يؤدي إلى إحداث نكبات للإنسان والبيئة .

تبنى ممثلو أكثر من 150 دولة في مؤتمر الأمم المتحدة للبيئة والتنمية والذي عُقد في ريو ديجانيرو في البرازيل في يونيو/حزيران 1992م برنامجاً على مستوى عالٍ للقرن الحادي والعشرين خطة عمل لتوجيه الأنشطة الوطنية والدولية للسنوات القادمة. وتم تخصيص فصل خاص بالإدارة البيئية الصحيحة للكيميائيات السامة ويشتمل على منع الدول بالإتـجار غير المشروع بالمنتجات السامة والخطرة. وقد اعترف المؤتمر بأن العديد من الدول تفتقر إلى المعرفة العلمية للحكم على تأثير المواد الكيميائية على صحة الإنسان والبيئة. ونتيجة لذلك وفي معظم الأحيان يتم إنتاج المواد الكيميائية ونقلها واستخدامها وطرحها دون اتخاذ التدابير الضرورية لمنع التلوث الكيميائي وتأثيرها القاتل على صحة الإنسان والبيئة .

لقد تمت كتابة هذا الكتاب للشباب والشابات الذين سيعملوا في الصناعة والزراعة والحكومة والقطاعات العامة والخاصة الأخرى، بحيث يؤخذ بالاعتبار التأثيرات الضارة المحتملة للمواد الكيميائية على الصحة والبيئة واتخاذ الإجراءات المناسبة على المستوى المحلي والوطني والدولي لإدارتها بيئياً بالشكل الصحيح. ومن المؤمل أن يتركوا لأبنائهم إرثاً بيئياً أفضل من الإرث البيئي الذي تركناه لهم.

ومن أجل تسهيل استخدام هذا الكتاب من قبل الشباب والشابات كطلاب وكحراس المستقبل للبيئة والصحة العامة فقد تم تضمينه العديد من المزايا إذ أن جميع الوحدات تبدأ بمختصر عن الأهداف التعليمية الخاصة بها وقد تم إبرازها لتسهيل الرجوع إليها. ولقد تم الاستخدام المكثف للملاحظات الهامشية التي تسلط الأضواء وتفصل أهم المفاهيم التي تم عرضها ومناقشتها في النص. في ختام كل فصل تتم مراجعة الموضوعات الهامة التي تمت مناقشتها في الفصل السابق .

المختصرات

ADI	**المدخول اليومي المقبول**
AQG	**إرشادات نوعية الهواء**
CFC	**كلوروفلوروكربون**
CNS	**الجهاز العصبي المركزي**
DNA	**الحامض النووي الرايبوزي منقوص الأكسجين**
FAO	**منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة**
GV	**القيمة الإرشادية**
HEIA	**تقييم الأثر البيئي والصحي**
IARC	**الوكالة الدولية لبحوث السرطان**
IPM	**إدارة الأوبئة المتكاملة**
JECFA	**لجنة خبراء منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة لمضافات الأغذية**
JMPR	**الإجتماع المشترك لمنظمة الصحة العالمية ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة حول متبقيات المبيدات**
LOAEL	**أدنى مستوى تأثير عكسي ملحوظ**
NOAEL	**مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ**
PAH	**الهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات**
PCB	**ثنائي الفينيل عديد الكلور**
PVC	**بولي فينيل كلورايد**
TDI	**المدخول اليومي المحتمل**
WHO	**منظمة الصحة العالمية**

1. مصادر المواد الكيميائية في البيئة

يبين هذا الفصل ما يلي:

- المواد الكيميائية في البيئة بنوعيها الطبيعي والتي من صنع الإنسان، ولكلاهما تأثير على الأنظمة الإنسانية والبيئية.
- كل المواد سواءً الطبيعية أو التي من صنع الإنسان لديها القدرة على إحداث تأثيرات سلبية صحية وبيئية.
- تستطيع المواد الكيميائية الموجودة في الطبيعة أن تكون ذات سمية وخطرة بشكل يماثل المواد الكيميائية التي من صنع الإنسان.
- كيف ولماذا نتعرض لهذه المواد الكيميائية وكيف نتجنب التعرض لها؟
- كيف تستطيع الملوثات التي من صنع الإنسان أن تكون لها تأثيرات مضرة على البيئة؟
- يمكن أن يشكل التصريف العرضي للكثير من المواد الكيميائية تأثيرات بعيدة المدى، ويجب السيطرة على استعمالها بعناية.

1-1 المواد الكيميائية الموجودة طبيعياً في البيئة

توجد المواد الكيميائية في كل مكان في البيئة، مثلها مثل المياه والنباتات. وتوجد طبيعياً في البيئة، وكافة المواد مكونة منها بما في ذلك، غذاؤنا ومشروباتنا وملابسنا ودواؤنا ونباتاتنا، وحتى أنفسنا. ومن المعتقد بأن المواد الكيميائية الموجودة طبيعياً في البيئة لا تؤذي، إلا أنه في بعض الأحيان لا يكون الحال كذلك. ففي الحقيقة إن العديد من الكيميائيات الطبيعية أو مشتقاتها، قد تكون سامة وتضر بالبيئة كالمواد الكيميائية الصناعية مثل المبيدات الحشرية، والعقاقير العلاجية، والمذيبات التي نستخدمها في الصناعة. وإن الطبيعة قادرة على إنتاج مجموعة كبيرة من المواد الكيميائية السامة. بالإضافة إلى ذلك فإن البيئة تُعرّض الإنسان إلى مجموعة أخرى من الأخطار مثل الإشعاع والجراثيم والفطريات والفيروسات والنباتات وغازات معينة.

على الرغم من وضوح فكرة أن بعض المواد الكيميائية أقل ضرراً من غيرها، فإن الإفراط في استخدام أي شيء أو كل شيء حتى الماء هو خطر على صحة الإنسان

ولتوضيح هذه النقطة، نورد تالياً أمثلة على المواد الكيميائية الخطرة والموجودة في الطبيعة والتي تُؤثر سلباً على صحة الإنسان ومنها المشتملة على الفلور والزرنيخ والملوثات الطبيعية للأغذية مثل الذيفانات (السميات) الفطرية، والمواد السامة التي تنتجها الجراثيم الموجودة في الغذاء. على الرغم من أن هذه القائمة غير مكتملة تماماً، فإن العديد من الحالات الدراسية ستساعد في إيضاح سبب كون بعض المواد الكيميائية الطبيعية خطرة مثلها مثل المواد الكيميائية الصناعية.

1-1-1 مصادر المواد السامة

بما أن المواد الكيميائية موجودة في كل مكان، فإن هنالك العديد من مصادر المواد الكيميائية السامة مثل الهواء والماء والمواد الكيميائية في موقع العمل والعقاقير والمبيدات الحشرية والمذيبات والهيدروكربونات ونواتج الاحتراق ومواد التجميل والمواد السامة الموجودة طبيعياً مثل الذيفان الفطري (السميات الفطرية) والسموم الميكروبية والذيفان النباتي (سميات النباتات) والذيفان الحيواني (سميات الحيوانات). كذلك يهتم الناس بالملوثات البيئية الأخرى مثل الإسبست وأول أكسيد الكربون ودخان التبغ والرصاص والزئبق والموجات المِكْروية (الميكرووف) والمجالات الكهرومغناطيسية والأوزون والمطر الحمضي والمركبات العضوية المتطايرة.

إن المواد السامة هي سُم أو ذيفان

1-1-2 العناصر المتواجدة طبيعياً في البيئة

1-1-2-1 الفلوريد

يوجد الفلوريد طبيعياً في: (1) الماء (2) التربة (3) الهواء (4) الغذاء.

(1) يوجد الفلوريد في مياه البحيرات والأنهار أو الآبار طبيعياً بنسبة تقل عن 0,5 ملغم/لتر، على الرغم من تسجيل نسبة عالية وصلت إلى 95 ملغم/لتر في تنزانيا. إن المياه التي تحتوي عل نسبة عالية من الفلوريد توجد عادة في قيعان الجبال العالية وفي المناطق التي تشتمل على ترسبات جيولوجية من أصل بحري. وكأمثلة على ذلك الأحزمة الجغرافية في سوريا والأردن ومصر وليبيا والجزائر والمغرب ووادي الصدع في السودان وكينيا. والحزام الآخر الممتد من تركيا عبر العراق وإيران وأفغانستان إلى الهند وشمال تايلاند والصين. لقد تم تسجيل أعلى تركيز للفلوريد الطبيعي في بحيرة ناكورو في وادي الصدع في كينيا 2800 ملغم/لتر.

يمكن إضافة الفلوريد إلى مياه الشرب، ويستخدم في معجون الأسنان لمنع التسوس.

إن مياه الشرب في العادة هي مصدر التعرض الرئيسي للفلوريد الطبيعي، وهي حالة جديرة بالاهتمام. لقد تبين بأن التعرض للفلوريد في مياه الشرب بنسبة 0,5-1 ملغم/لتر مفيد للصحة لأنه يقلل من انتشار تسوس الأسنان. إن التعرض المفرط للفلوريد الموجود طبيعياً في مياه الشرب يسبب تسمم الأسنان بالفلور (Dental Fluorosis). يتم تشخيص تسمم الأسنان بالفلور من خلال وجود بقع في مينا الأسنان والتي يكون لونها ما بين الأصفر إلى البني الغامق. كما أن التعرض طويل الأمد وغير الطبيعي لمستويات الفلوريد في مياه الشرب، والإفراط بنسبة 10 ملغم/لتر سَبّب التسمم الهيكلي بالفلور (Skeletal Flurosis) في مناطق الصين والهند وجنوب افريقيا. ويعزى هذا التسمم لعوامل عدة منها نقص الكالسيوم وسوء التغذية.

يتسبب فلوريد الهيدروجين و الذي هو عبارة عن ملوث طبيعي للهواء ، في إحداث أضرار للنباتات والخضروات.

(2) إن المعادن الرئيسية التي تحتوي على الفلوريد هي فلوريد الكالسيوم، الكريولايت والأباتايت. كذلك تحتوي الصخور البركانية والترسبات الملحية من أصل بحري على كميات لا بأس بها من الفلوريد. وتحتوي صخور الفوسفات طبيعياً على ما نسبته 4% من الفلوريد، وبعضها ينطلق إلى الجو.

(3) يوجد الفلوريد أيضاً في الهواء، وينشأ عن غبار التراب المحتوي على الفلوريد وكذلك ينتج من الغازات الصادرة عن النشاطات البركانية. وعلى الرغم من أن انبعاثات الفلوريد من الصناعات المنتجة لأسمدة الفوسفات وأعمال الآجر (الطوب) تعتبر مصدراً غير طبيعي إلاّ أنها تساهم بتراكيز عالية من الفلوريد بالهواء والذي يؤدي إلى تعرض الإنسان بشكل إضافي.

سواءً كان مصدره طبيعياً أو صناعياً، يجب السيطرة على التعرض المفرط للفلوريد حماية للصحة.

(4) نباتات معينة مثل القلقاس والبطاطا الحلوة والكاسافا والتي تعتبر السلعة الغذائية في العديد من المناطق المدارية، وبخاصة في أمريكا الجنوبية ومناطق الهاديء وُجد بأنها تحتوي على كمية عالية نسبياً من الفلوريد. وكذلك وُجد بأن أوراق الشاي قد تحتوي على نسبة عالية من الفلوريد. وكذلك تحتوي المنتوجات البحرية وبخاصة السمك المعلب مثل السردين، والعظام التي تؤكل تحتوي على ما نسبته 40 ملغم/كغم.

1-1-2-2 الزرنيخ

كما هو حال معظم المواد الكيميائية، فإن تعرض الإنسان للزرنيخ ناتج عن مصادر طبيعية وصناعية وزراعية. حيث ينتشر الزرنيخ بكثرة على قشرة الأرض، حيث يوجد في أكثر من 150 معدناً. ويوجد في الخامات المُستخدمة في استخلاص العديد من المعادن مثل الذهب والرصاص والنحاس والقصدير والخارصين. ينبعث الزرنيخ إلى الجو كناتج ثانوي لصهر الخامات غير الحديدية ومن عمليات تصنيع المبيدات الحشرية وكذلك من أفران صهر الزجاج المستخدمة في مصانع الزجاج. وعادة فإن مركبات الزرنيخ تستخدم أحياناً في صناعة المبيدات الحشرية ولذلك فإنه ينبعث من الغبار والغازات المنبعثة من محالج القطن ومصانع التبغ. إن أكبر نسبة تعرض مهني للزرنيخ توجد في صهر المعادن غير الحديدية وتحتوي على الزرنيخ. وقد قُدر بأن 1,5 مليون عامل في العالم قد تعرضوا إلى مركبات الزرنيخ غير العضوية والتي تُنتج بهذه الطريقة.

يوجد الزرنيخ بشكل كبير في المياه الطبيعية. وتشمل المصادر الطبيعية للزرنيخ في المياه تآكل السطوح والصخور البركانية، وكذلك قد يتم إضافة الزرنيخ إلى المياه من خلال المخلفات الصناعية، ولقد وجد بأن عيون المياه الحارة تحتوي على ما نسبته 14 ملغم/لتر من الزرنيخ.

تتعرض الكائنات الحية البحرية الموجودة في البحر إلى مستويات قليلة من الزرنيخ. وعلى الرغم من ذلك فإنها تحتوي على أعلى تركيز للزرنيخ بين جميع الحيوانات 0,01 – 200 ملغم/كغم. وإن القشريات مثل القريدس وبلح البحر والمحار تحتوي على نسبة عالية من الزرنيخ. وإن مستويات الزرنيخ في العديد من أصناف السمك يتراوح بين 0,2 إلى 70 ملغم/كغم. يتواجد الزرنيخ عادة في الكائنات الحية البحرية على شكل مركبات الزرنيخ العضوية والتي لا تشبه الأشكال غير العضوية للزرنيخ، وهي غير سامة للبشر.

مياه الشرب مصدر هام للتعرض للزرنيخ. ونسبة تركيز الزرنيخ تكون أكثر في المياه الجوفية، أوصت منظمة الصحة العالمية في دليل القيم الإرشادية أن لا يتعدى تركيز الزرنيخ في مياه الشرب 0,01 ملغم/لتر. بعض الأمثلة للتراكيز في الآبار والمياه السطحية تشتمل على الآتي:

(أ) في مياه الآبار:

- تايوان — تصل إلى 1,8 ملغم/لتر
- هنغاريا — > 0,1 ملغم/لتر
- الهند — > 0,05 ملغم/لتر
- المكسيك — > 0,4 ملغم/لتر
- أمريكا — > 0,1 ملغم/لتر

(ب) في المياه السطحية:

- تشيلي — تصل إلى 0,8 ملغم/لتر
- الأرجنتين — > 0,3 ملغم/لتر

ومن الملاحظ أن العديد من الدول لديها مياه شرب تحتوي على نسبة من الزرنيخ تعادل 200 مرة زيادة عما حددته منظمة الصحة العالمية. هناك أعداد كبيرة من التقارير تشير إلى أن

التعرض المزمن للزرنيخ في مياه الشرب يضر بالصحة. وتشمل هذه الأضرار فرط التصبغ، الورم القرني وسرطان الجلد. كما أن الانتشار الكبير لمرض الاضطراب الوعائي المحيطي (مرض القدم الأسود) قد تم اكتشافه في تايوان حيث يوجد الزرنيخ بنسبة كبيرة وطبيعياً في مياه الشرب. وتم تسجيل التأثيرات الوعائية المحيطية لدى سكان تشيلي والذين تعرضوا للزرنيخ في مياه الشرب. بالإضافة إلى أنحاء معينة من العالم مثل الأرجنتين وجنوب غرب شاطىء تايوان حيث وُجدت مستويات عالية من الزرنيخ في مياه الشرب وقد ارتبطت بالمعدلات العالية من حالات سرطان الجلد. ولقد قامت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) بتصنيف الزرنيخ بأنه مسرطن بشري (انظر إلى الوحدة الخامسة).

ملخصٌ لما سبق، معظم التعرض للزرنيخ ناتج عن وجوده طبيعياً في مياه الشرب والتي لا تعني بالضرورة أنها آمنة. ولقد تم توثيق التأثيرات الصحية جيداً. العناصر الأخرى الموجودة طبيعياً وتأثيراتها على صحة الإنسان مدرجة بالجدول رقم (1).

جدول رقم 1. بعض العناصر الطبيعية الموجودة وتأثيراتها على صحة الإنسان

المعدن	التأثير	مصدر التعرض
الكاديوم (Cd)	**تسمم الكلية**	**التعرض المهني الناتج عن استنشاق أدخنة الكاديوم وتلوث الطعام.**
الكروميوم (Cr)	**التهابات جلدية**	**التعرض المهني لبس المجوهرات التي تحتوي على الكروميوم**
الرصاص (Pb)	**يعيق إنتاج الهيموغلوبين في الدم: يتسبب بفقدان الكلى لوظيفتها، إعاقة ذهنية، (بشكل خاص الأطفال حساسين أكثر)**	**التعرض المهني الأطفال الذين لهم اتصال مباشر مع النفايات والقذارة، استنشاق وقود المحركات المحتوية على الرصاص وتناول الأطعمة المحتوية على الأصباغ التي يدخل في تركيبها الرصاص**

2-1 ملوثات الطعام الطبيعية

توجد مركبات المواد السامة في الأغذية ذات الأصل النباتي والحيواني. وتحتوي السميات على مركبات موجودة طبيعياً وتوجد في الغذاء بغض النظر عن مصدرها. تُصنع المواد السامة من النباتات والفطريات والجراثيم، كما أن بعض المواد السامة الموجودة طبيعياً توجد في النباتات والحيوانات وتشمل:

(أ) <u>في النباتات</u>:
- قُلوانيات (Alkaloids).
- مُستأرجات (Allergens).
- غازات السيانوجين (Cyanogens).
- مثبطات الأنزيمات (Enzyme Inhibitors).
- تملوكوزسايانولايت (Glucosinolates).
- الأحماض الأمينية السامة، البروتينات والببتيدات والليبيدات والصابونين.

(ب) <u>في الأغذية التي من أصل حيواني</u>:
- السميات البحرية (سموم الصَدف مثل السميات الصخرية والسميات الرباعية).

3-1 السم الجرثومي كملوث للغذاء

إن التسمم بالغذاء (Foodborne intoxication) والخمج المنقول بالغذاء (Foodborne infection) هما أكبر سببين للأمراض في العالم. وينتقل السم الساري بالغذاء عندما يتم استهلاك السموم الميكروبية المكونة مسبقاً في الغذاء، بينما يكون الخمج المنقول بالغذاء ناتجاً عن وجود الجراثيم في الغذاء التي تسبب الأمراض إما عن طريق المضاعفة في الأمعاء أو إنتاج السموم في القنوات المعوية التي تتبع أسلوب المضاعفة والنمو. كمثال على الخمج المنقول بالغذاء السالمونيلا، وكمثال على السم المنقول بالغذاء التسمم السَّجقي.

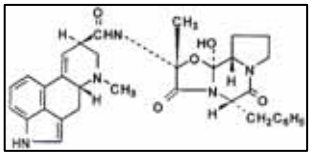
1-3-1 المطثيات الحيوية

المطثيات الحيوية تعتبر من الكائنات الحية الدقيقة (العضيات) وهي ملوثات طعام طبيعية، وقد تُسبب أمراضاً سارية بالغذاء. وتعتبر المطثيات الحيوية عضيات دقيقة لا هوائية وجراثيم تكون عل شكل أبواغ والتي تُنتج سُميات الأعصاب الفعّالة. وهذه الأبواغ مقاومة للحرارة وتستطيع البقاء في الغذاء الذي لم تتم معالجته بالشكل الصحيح. كما أن التسمم السَّجقي الساري بالغذاء هو النوع الحاد من الذيفانات (السميات) الغذائية الناجمة عن هضم الغذاء المشتمل على سُميات الأعصاب الذي يتشكل أثناء نمو الكائن الحي (العضيات). أما السُميات نفسها فيمكن تحطيمها إذا تم تسخينها إلى درجة حرارة 80 مئوية لمدة عشر دقائق أو أكثر. وإن حدوث مثل هذا المرض قليل ولكن المرض جدير بالاهتمام بسبب ارتفاع نسبة وفيات المصابين بهذا المرض إذا لم يتم مقاومته مباشرة وبالشكل الصحيح. ومعظم الحالات التي سُجلت مرتبطة بعدم معالجة الأغذية بالشكل الصحيح وبخاصة الأغذية المعلبة، ولكن في الغالب تكون الأغذية المنتجة صناعياً من أسباب انتشار هذا المرض مثل النقانق ومنتجات اللحوم والخضار المعلبة والأغذية البحرية، حيث تعتبر الأغذية البحرية أكثر الناقلات لمرض التسمم السَّجقي للإنسان. المطثيات الحيوية والأبواغ تنتشر بشكل كبير في الطبيعة. وتتواجد في كل من أراضي الغابات والأراضي المحروثة وفي الترسبات السفلية للمجاري ومياه البحيرات والسواحل وفي البقعة المعوية للأسماك والثديات وفي خياشيم وأمعاء السرطانات البحرية والحيوانات الصدفية المائية الأخرى.

في اكتوبر/تشرين أول و نوفمبر/تشرين ثاني من عام 1987م، وُجدت 8 حالات من التسمم السَّجقي، حالتين في نيويورك و6 حالات في اسرائيل. جميع المرضى استهلكوا مادة كابجانكا، وهو سمك أبيض مملح. صنع المنتج في نيويورك وتم إرسال جزء منه إلى اسرائيل. جميع المرضى ظهرت عليهم الأعراض بعد 36 ساعة. توفي مريض واحد، اثنان آخران احتاجا إلى مساعدة في التنفس وثلاثة منهم تمت معالجتهم باستخدام مضادات السم. لقد احتوى السمك على مستوى عالي من النوع E من السم السَّجقي وتفسير ذلك هو أن الملح لم يكن كافياً، حيث تلوث بالذيفانات (السُميات) ثم تم وضعه في محلول ملحي.

2-3-1 التسمم السَّجقي الساري في غذاء الإنسان

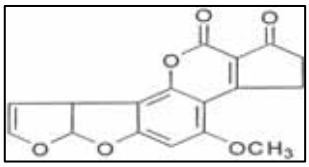
التسمم السَّجقي هو مرض سببه ذيفانات (سميات) الأعصاب الذي تنتجه المطثيات الحيوية. حيث تشمل الأعراض ألماً في البطن والتقيؤ واضطرابات حركية وصعوبات في الرؤيا. وتظهر أعراض التسمم السَّجقي بعد 18-36 ساعة من تناولها (طعام أو شراب) مع الغذاء الذي يحتوي على الذيفانات (السميات)، ومع ذلك فإن الحالات قد تزداد خلال 4-8 أيام كما أن العلامات المبكرة للتسمم تشمل الإنهاك وضعفاً ودواراً ويتبعها في العادة زوغان وصعوبات متقدمة في الكلام والبلع وصعوبة في التنفس وضعف العضلات الأخرى والمغص البطني والإمساك وقد تكون جميعها أعراضاً مشتركة. ويسبب التسمم السَّجقي الشلل الرخو (ضعف في الأطراف) وذلك عن طريق حصر النهايات العصبية عند الموصل العصبي العضلي. ويتقدم الشلل الرخو بشكل متناظر للأسفل، وفي العادة يبدأ بالعيون والوجه ثم ينتقل إلى الحنجرة فالصدر والأطراف وعندها يشمل الشلل الحجاب الحاجز وعضلات الصدر بشكل كامل ويؤدي إلى ضعف شديد في التنفس ومن ثم إلى الوفاة نتيجة الاختناق. والعلاج الذي يوصى به للمصابين بالتسمم السَّجقي يشمل إعطاء مضادات السميات والعناية المركزة (تشمل المساعدة الميكانيكية للتنفس).



شكل (1) التركيب الكيميائي لـ:أمينات الفطر وقلويات الفطر

4-1 الذيفانات (السميات) الفطرية كملوث طبيعي للغذاء

إن الذيفانات (السُميات) الفطرية الأكثر أهمية هي تلك الموجودة في الأغذية البشرية وكذلك في غذاء الحيوانات المنزلية. وتحتوي الذيفانات (السُميات) الفطرية على ارغوت قلواني (ergot alkaloids) "شكل رقم (1)" التي ينتجها الفطر الدبوسي، التراي كوسينز (tricothecenes) الذي تُنتجه أنواع مختلفة من الفطريات، الفيوساريم (Fusarium)، والأفلاتوكسين "شكل رقم (2)" وما يرتبط بها من مركبات تنتجها الفطريات الموجودة في صملاخ الأذن والأنف والرئتين تسمى الرشاشيات (Aspergillus)، والذيفانات (السُميات) الفطرية هي مثال على ملوثات الطعام الطبيعية والتي تسبب الوفيات الكثيرة في أنحاء العالم.



شكل (2)
التركيب الكيميائي للأفلاتوكسين B2

1-4-1 الأفلاتوكسينات

1-1-4-1 مصادر الأفلاتوكسينات

إن الأفلاتوكسينات هي مواد سامة ينتجها نوع معين من الفطريات التي تنمو على النباتات والبذور وكذلك يوجد الأفلاتوكسين على القمح والذرة والفول السوداني. أكثر الفطريات المنتجة للأفلاتوكسين هي داء الرشاشيات الصفراء (Aspergillus Flavus) والرشاشيات الطفيلية (Aspergillus Parasiticus)، وهنالك أربعة أنواع من الأفلاتوكسينات هي (B1, B2, G1, G2) وهذه موجودة في المنتجات النباتية الملوثة بالفطريات. النوع (B1) هو أكثر الأفلاتوكسينات سمية ويوجد بتركيز كبير في الأغذية ومعظم المعلومات المتوفرة عن السموم مرتبطة به. كما أن أنواع الرشاشيات المنتجة للأفلاتوكسين والأغذية الملوثة بالأفلاتوكسين

موجودة في كل مكان ومنتشرة في المناطق التي يكون مناخها حاراً ورطباً مثل إفريقيا وجنوب شرق آسيا. وتعتمد كمية الأفلاتوكسين على ظروف النمو. تحت ظروف الإجهاد مثل الجفاف وغزو الحشرات يكون التلوث بالأفلاتوكسين عالياً. وتؤدي ظروف التخزين إلى التلوث بالأفلاتوكسين وذلك بعد حصاد المحاصيل في العادة، والظروف الرطبة تؤدي إلى حدوث العفن في الطعام المخزن مما يؤدي إلى وجود مستويات عالية من الأفلاتوكسين.

لمـــاذا تـــم تـــسميتها بالأفلاتوكسين B أو G؟
(B): يعطي تألق أزرق أســـفل الـــضوء فـــوق البنفسجي.
(G): يعطي تألق أخضر أســـفل الـــضوء فـــوق البنفسجي.

2-1-4-1 التعرض إلى الأفلاتوكسينات

بما أن العديد من الدول ذات المناخ البارد تستورد الأغذية من الدول التي تكون في أغذيتها نسبة الأفلاتوكسين عالية، لهذا يعتبر الأفلاتوكسين قضية عالمية وإن التعرض إليه قد يكون حاداً أو مزمناً. وبشكل عام، فإن المستهلكين من الدول المستوردة يكون تعرضهم حاداً، إذا كانت السلع الغذائية الملوثة بالأفلاتوكسين مثل الذرة والأرز تُستخدم باستمرار فمن المحتمل أن يكون التعرض مزمناً.

فقد وجد بأن السلع الغذائية التي تحتوي على نسبة عالية من الأفلاتوكسين تكثر في الفول وحبوب الحنطة في إفريقيا وجنوب شرق آسيا وجنوب الصين. إن تلوث خامات السلع الغذائية التي تنمو في الولايات المتحدة الأمريكية بشكل دوري سببه المستويات العالية من الأفلاتوكسين في العديد من المنتجات مثل الذرة والأرز وحبوب القمح والفول السوداني ومنتجات أخرى.

وبشكل عام فإن المعلومات عن أماكن وجود الأفلاتوكسين والتعرض له متوفرة في الدول المستوردة، بينما تؤكد التعليمات الصارمة المتعلقة بمستويات التلوث على أن التعرض قليل نسبياً. ولتحقيق متطلبات المستوردين المتوقعين ولتجنب الحصول على الطعام المطروح وبالتالي المعاناة من الخسائر الاقتصادية، وعليه فإن بعض الدول المنتجة تعمل على إبقاء السلع التي هي دون المواصفات المطلوبة في نفس البلد ليستهلكها المواطنون، ويصدرون المنتجات ذات الجودة العالية. كما أن تعرض سكان هذه الدول التي تقوم بهذه الممارسات والسياسات من المحتمل أن يكون عالياً جداً.

3 -1-4-1 تأثيرات الأفلاتوكسينات

يعرف أفلاتوكسين (B1) بالمسرطن الكبدي (hepato-carcinogen) وقد تبين أنه يسبب السرطان للعديد من حيوانات التجارب. وفي الدراسات الوبائية وُجد أن هناك ارتباطاً كبيراً بين ابتلاع الأفلاتوكسين ووجود سرطان الكبد في البشر وقد خلصت الوكالة الدولية لبحوث السرطان بأن هنالك أدلة كافية لتصنيف الأفلاتوكسين الموجود طبيعياً وكذلك أفلاتوكسين (B1) كمسرطن بشري (أنظر الوحدة الخامسة).

4-1-4-1 الوقاية من تعرض الإنسان إلى الأفلاتوكسينات

يمكن السيطرة على التلوث بالأفلاتوكسين عن طريق تقليل نمو العفن. وللقيام بذلك، فإن العديد من الإجراءات التي تسبق الحصاد، والتحذيرات المتعلقة بالحصاد وإجراءات التخزين تعتبر من أكثر الطرق المتوفرة وذات الأهمية لمنع نمو العفن وإنتاج الأفلاتوكسين (الجدول 2). إضافة إلى الإجراءات الوقائية المتعلقة بالحصاد والتخزين، فإن غربلة المحاصيل قبل معالجتها وبيعها هي طريقة هامة للتقليل من تعرض الإنسان إلى الأفلاتوكسين.

جدول رقم 2. الطرق المستعملة لخفض إنتاج الأفلاتوكسين

قبل الحصاد	**- اختيار أنواع بذور مقاومة** **- منع الضرر الطبيعي للمحاصيل بسبب الحشرات** **- استعمال ناتج تدوير المحصول المناسب.**
الوقاية أثناء الحصاد	**- المعالجة المناسبة لتجنب الضرر الطبيعي** **- تنظيف المحصول لإزالة تربة الحقل الملوثة.**
التخزين الجيد	**- المحافظة على المحاصيل جافة ونظيفة** **- وضع ملصقات مناسبة على المحاصيل (التاريخ ... الخ).**

5-1 المصادر الصناعية للمواد الكيميائية

تلعب الصناعة دوراً كبيراً في حياة العديد من الناس. فالصناعة هامة اقتصادياً للدول حيث توظف الملايين من العمال في العالم. على الرغم من التعليمات والقوانين الجيدة في بعض الدول، إلا أن الصناعة تعتبر مصدراً للعديد من الملوثات والمواد الكيميائية. ومن الضروري العلم بأن الصناعة ليست الأبنية والمصانع فقط، ولكنها تشمل الزراعة التصنيعية، البواخر والقوارب الأخرى في البحر، مصافي البترول ومنصات الحفر للبحث عن البترول في المحيطات، والشاحنات المستخدمة لنقل البضائع والمواد الخام التي تنتجها المصانع. وبالتالي فإن الصناعة تحيط بنا أينما كنا، وتلعب دوراً هاماً في حياتنا اليومية. كما إن النشاطات الصناعية الكبيرة يحتمل أن ينبعث عنها أبخرة في الهواء ومياه متسخة وفضلات صلبة وجميعها تحتوي على ملوثات كيميائية مختلفة.

إذا تم اتباع الإجراءات الصناعية والإجراءات الوقائية الصحيحة، فإنه يتم بذلك حماية المواطنين من التعرض إلى المواد الكيميائية التي تنتجها الصناعة. ومع ذلك فإنه يحدث في بعض الأوقات إطلاق المواد الكيميائية سواءاً نتيجة حادث أو خطأ. وكمثال على المواد الصناعية الملوثة للبيئة إطلاق الزئبق غير العضوي في البيئة مما ينتج عنه تعرض الإنسان إلى ميثيل الزئبق. إن التعرض الكبير للمواد الكيميائية متوقع رؤيته بشكل أكبر لدى العاملين في تشغيل المعدات الصناعية ويُعرف ذلك بالتعرض المهني (occupational exposure). وليس غريباً أن نلحظ في بعض الحالات دخول المواد الكيميائية المرتبطة بالأمراض بشكل كبير في عمليات التركيب المهنية. وكأمثلة على الأخطار المهنية الهامة والتي يسلط عليها الضوء وارتباطها بالسرطانات يبينها الجدول رقم (3)، بينما تم إدراج النشاطات الصناعية الكبيرة ومصادرها المحتملة لتلوث البيئة في الجدول رقم (4).

جدول رقم 3. الأخطار المهنية المرتبطة بالسرطان

العامل (الخطر)	موقع الورم الخبيث	المهنة
أشعة – X	نخاع العظم	الطب والمستخدمون الصناعيون
اليورانيوم	نخاع العظم، الجلد، الرئة	الطب والكيميائيون
الأشعة فوق البنفسجية	الجلد	المهن خارج الأبنية (في الهواء الطلق)
الهيدروكربونات المتعددة الحلقات (السناج، الزفت، الزيت)	الرئة، الجلد، الكبد، المثانة	عمال النفط والغاز
كلوريد الفينيل	الكبد، الدماغ	صناعة البلاستيك
الزرنيخ	الجلد، الرئة، الكبد	المشتغلون بالتعدين وصهر المعادن وتكرير البترول
الكادميوم	الرئة، الكلى، البروستات	عمال البطاريات وصهر المعادن
مركبات النيكل	الرئة والجيوب الأنفية	عمال العمليات الصناعية وصهر المعادن
الإسبست	الرئة	عمال التعدين والمطاحن ومعالجة القنابل
الخشب والجسميات الجلدية	الجيوب الأنفية	عمال الخشب والأحذية.

جدول رقم 4. النشاطات الصناعية الرئيسية والمصادر المحتملة للتلوث[1]

الصناعة	انبعاثات الهواء	المياه العادمة	النفايات الصلبة
الزراعة ومنتجات الدواجن	*	*	*
مناجم الفحم	*	*	*
المسالخ وإنتاج اللحوم	*	*	*
مصانع إنتاج الألبان	-	*	-
مصانع إنتاج المشروبات الغازية	-	*	-
مدابغ الجلود وصقل الجلود	-	*	*
مصانع الورق ومنتجاتها	*	*	*
مصافي تكرير البترول	*	*	*
مصانع الإسمنت، الجير، الجبص	*	*	*
الحديد وتصنيع الفولاذ	*	*	*
الطاقة (الكهرباء والإنارة)	*	*	*
المطاعم والفنادق	*	*	*
الخدمات الصحية الطبية	*	*	*
المستحضرات الصيدلانية	-	*	*

[1]العلامة في العمود تشير إلى المصدر الرئيسي للتلوث من الصناعات المشار إليها.

1-5-1 ميناء ميناماتا والتسمم البيئي للزئبق

يتم استخدام معدن الزئبق في صناعة الكلور القلوي وذلك بإنتاج الكلور وهيدروكسيد الصوديوم ويستخدم كذلك في صناعة الأدوات العلمية والالكترونية، وكمادة محفزة في التفاعلات الكيميائية، ولإنتاج موازين الحرارة. إن المادة الفضية اللامعة التي نراها في ميزان الحرارة هي عنصر الزئبق المعروف في البيئة نسبياً. ويقدر العلماء بأنه كل سنة تقوم الأرض بإطلاق 30,000 طناً من الزئبق. كذلك فإن المياه الناتجة من الصناعة هي مصدر آخر للتلوث. كما إن التلوث بمعدن الزئبق منتشر على مستوى العالم، ولكن معظم سموم الزئبق تعود إلى ميثيل الزئبق، وخاصة كنتيجة لتناول السمك له. وإن السمية البيئية للزئبق هي مثال جيد للصفات الهامة الثلاث للمادة. وهي السمية، مقدار الاستخدام (كمادة صناعية، الإنبعاث الذي تتم السيطرة عليه بطريقة ضعيفة أو جيدة) والنقل. وفي حالة النقل يتضح مبدأ جديد ومهم، وهو التحول البيولوجي.

شكل (3)
موقع ميناء ميناماتا في اليابان

في الخمسينات ، مدينة ميناماتا والتي تقع على خليج بحر ياتسوشيرو على الجزيرة الجنوبية لليابان حيث يوجد مصنع لمادة بولي فينيل كلورايد إذ يستخدم الزئبق كمادة محفزة من عام 1930م-1960م قامت هذه الشركة بإلقاء آلاف الأطنان من الزئبق في خليج ميناماتا في اليابان . بعد ذلك أصبح الزئبق (ميثيل الزئبق) نتيجة للجراثيم ، حيث تناولت الأسماك هذه المادة وهذه الأسماك يتم استهلاكها من قبل المقيمين في الخليج . بعدها ظهرت أعراض الإصابات مثل الموت ، وفقدان السمع ، وضعف البصر ، وعجز في الكلام وعيوب في الولادات لدى الأطفال الذين تعرضت أمهاتهم. تسلسل الأحداث موضح في الجدول 5.

1-1-5-1 أعراض التسمم بميثيل الزئبق

إن أعراض المرض الذي ظهر في ميناماتا تمت ملاحظته في القطط وبعدها في الإنسان. وتشمل الأعراض انحطاط النظام العصبي مع فقدان الرؤية والسمع والكلام والسيطرة على الحركة. بالإضافة لأعراض أخرى تشمل الإحساس بالوخز وضعف العضلات والمشي غير الثابت وضعف الرؤية وكلاماً متقطعاً وفقدان السمع وكذلك السلوك غير الطبيعي. إن ما يقارب 40% من المصابين تكون حالاتهم قاتلة. كما أن التسمم المؤثر على الأعصاب ذو أهمية بالغة على الأجنة الذين يتعرضون له أثناء الحمل. وفي العديد من الحالات، يولد الأطفال لأمهات استهلكن ميثيل الزئبق، وبخاصة في الجزء الثالث من الحمل، حيث يظهر الضرر على الأمهات أنفسهن اللواتي تأثرن بشكل قليل. ولدى الأطفال تظهر عدة علامات تشمل المشي المتأخر والتأخر في الكلام ونوبات الصرع وعسر وظيفة الجهاز العصبي وتأخر النمو العقلي. وهناك أعراض مشابهة تظهر عند القطط والتي تبين الرعاش والسلوك غير الطبيعي.

2-1-5-1 علاج التسمم

إن خطورة الزئبق ناتجة عن خاصيته بجذب الأنسجة في كل من الدماغ والأعصاب وغيرها، حيث أن التعرض للزئبق يسبب تلف هذه المواقع. وهنا فإن العلاج بالخَلْب ضروري (الخَلْب مادة كيميائية لديها قابلية جذب المعادن)، لأن الخُلابَة لديها القدرة على سحب الزئبق بحجم أكبر من خلايا الدماغ والأعصاب. وبالتالي إذا تم اكتشاف التسمم مباشرة، فإن العلاج يكون ناجحاً.

جدول 5. تسلسل التحقيق في كارثة خليج ميناماتا

التاريخ	التأثير / الحدث
1930م-1950م	فضلات المصنع مباشرة إلى الخليج
1951م	ظهرت الحالات الأولى لكن دون تمييز
1952م	ظهور قليل من الحالات في كل سنة، واستعمال الزئبق يزداد
1956م	تسجيل حالات مرضية للأطفال في المستشفى والتعرف على 40 حالة وفريق جامعي أصبح طرفاً
1957م-1958م	تم تقييد صيد السمك، لكن الحالات ما زالت مستمرة على الرغم من رش مسافات واسعة من الخليج
1959م	توقع أن الزئبق هو سبب الحالات، لكن ليس بشكله غير العضوي
1960م-1963م	تثبيت 111 حالة، 41 وفاة، إعتبار ميثيل الزئبق كمسبب
1966م	تسجيل حالات تعرض السكان دون أعراض
1970م	ضبط (تنظيم) المصنع، انبعاث الزئبق يتناقص
1973م-1975م	تثبيت 1603 حالة، منها 226 حالة وفاة

2-5-1 صناعة النسيج

الغبار يحتوي على جزيئات تأتي مباشرة من المواد التي تم التعامل معها مثل غبار الخيوط، غبار الفحم، الرماد، غبار الخشب، غبار الإسمنت وغبار القمح.

تستخدم صناعة الملابس والسجاد منذ آلاف السنين، وتم العثور على بقايا أقمشة قديمة في عدة أماكن من العالم. إن صناعة الغزل وجدت منذ 8000 سنة قبل الميلاد، ويُعتقد بأن الأعشاب والأشجار هي أول المواد التي استخدمت لغزل الملابس. أما الإنتاج الميكانيكي للنسيج فقد بدأ في انجلترا وذلك في نهاية القرن الثامن عشر، كجزء من الثورة الصناعية. ومنذ ذلك الوقت بدأت صناعة النسيج بالانتشار وبسرعة كبيرة في جميع أنحاء العالم. وفي الحقيقة إن صناعة النسيج هي من أكثر الصناعات استخداماً للعمالة عالمياً. خلال الـ 20 سنة الماضية فإن العديد من صناعات النسيج انتقلت إلى الكثير من الدول الإفريقية والآسيوية. وصناعة النسيج تشمل الغزل والحياكة ووضع اللمسات الأخيرة للأقمشة بشتى أنواعها الطبيعية والصناعية. وقد تطورت ماكينات صناعة النسيج من الموديلات القديمة المتمثلة بالنَوّل اليدوي إلى الماكينات الثمينة والمعقدة التي تُستخدم في المصانع الحديثة.

خلال عملية النسيج قد يتعرض العمال إلى عوامل التبييض والتنظيف والصباغة. وفي العادة لا يتم استخدام مواد سامة عند غزل وحياكة الخيوط الطبيعية. ومع ذلك فإن التعرض إلى غبار الخيوط أمر ذو أهمية. فقد يكون القطن الخام ملوثاً بالعوامل المجففة، والمواد التي تؤدي إلى تساقط الأوراق والجراثيم، بينما قد يتلوث الصوف الخام بالمبيدات الحشرية التي تم رشها مسبقاً أو أثناء تغطيس الخراف بداخلها من أجل العلاج. وإن التأثيرات على صحة المواطنين ترتفع نتيجة الغبار المحمل بالملوثات ومياه التصريف الملوثة والانبعاثات العضوية الطيارة.

1-2-5-1 المصادر والتعرض والتأثيرات

تستخدم المواد الكيميائية السامة في مصانع الخيوط الصناعية. حيث تتواجد أخطار السمية في أقسام الصباغة والتشطيب المستخدمة في صناعة النسيج. يتعرض العاملون في مجال الصباغة والطباعة إلى الصبغة من حين لآخر وإلى العديد من الأحماض مثل حمض الفورميك، وحمض الكبريتيك وحمض الأستيك (الخلّيك) وكذلك يتعرضون إلى التألقات الفلورية وإلى المذيبات العضوية والمثبتات. كما يتعرض العاملون في التشطيبات إلى المواد المقاومة للتجعيد، ومثبطات اللهب وإلى العديد من المذيبات السامة التي تُستخدم لإزالة الشحوم والبقع. فعند التعامل مع هذه المواد يجب العناية والحذر من عدم ملامسة هذه المواد للجلد ويجب اتخاذ الإجراءات المناسبة للتأكد من عدم وجود تسرب لهذه المواد أو أبخرتها إلى الهواء. إن أمراض الجلد (من نوع التهاب الجلد) (Dermatitis) معروفة عند الذين يعملون في التبييض والأصباغ والتشطيبات وفي تحضير الكتان وفي استخدام المحاليل لعمل الخيوط الصناعية. وبعض المركبات الوسيطة في مواد الصباغة تؤدي إلى سرطان المثانة. كما أن أكزيما الكروم أو التسمم بالكروم خطر ناتج عن استخدام ثاني كرومات البوتاسيوم أو الصوديوم في صناعة النسيج.

التأثيرات الصحية المهنية وتشمل السُّحار القطني (تترب الرئة)، والتهاب القصبات الحاد، والتهاب الجلد، وسرطان المثانة عند الصباغين وسرطان المثانة والجيوب الأنفية الذي يصيب النساجين وعاملي النسيج الآخرين. إن الأمراض ملخصة في الجدول رقم (6). لقد خلصت الوكالة الدولية لبحوث السرطان بأن العمل في صناعة النسيج يؤدي إلى تعرض العاملين للمواد المسرطنة.

جدول 6. الأمراض والأعراض عند تعرض العمال للمواد الكيميائية

اسم المرض	الأعراض
(السحار القطني) Bysinnosis	حاد: ضيق في الصدر، تنفس بجهد وإحداث صوت، سعال مزمن: بعد سنوات من التعرض يسبب تنفس قصير بشكل دائم (عُسر تنفس)
الالتهاب الشُعبي المزمن	نوبات سُعال
التهاب الجلد	التهاب واحتدام الجلد
سرطان الأنف/المثانة	نزيف وقلق وألم

أما المواد التي يتعرض لها العاملون في صناعة النسيج فهي مدرجة بالجدول رقم (7). هذه التعرضات قد تكون متزامنة مع الأخطار الفيزيائية التي تشمل الضوضاء والذبذبات والحرارة. وهناك القليل من المعلومات المتوفرة حول الكيميائيات المستخدمة ومستويات التعرض وعدد العاملين في النسيج في الدول المتأثرة. إن مستويات التعرض والمواد الكيميائية المستخدمة في أية دولة قد تكون مختلفة كثيراً عن المواد الكيميائية المستخدمة في أماكن أخرى. وفي العديد من

راقب دائماً الإجراءات الصحيحة عند التعامل مع المواد الكيميائية.

عمليات النسيج، هنالك احتمالية لاستخدام مذيبات غير سامة، والتي يكون تأثيرها على صحة الإنسان والبيئة قليلاً.
إن وجود الهواء المحمل بالغبار الناتج عن صناعة النسيج أمر عام في الصناعات الحديثة، ويتم إجراء عملية إعادة التدوير والفلترة، لكن ذلك قد لا يكون متوفراً في بعض الدول. وبخاصة عند انبعاث المواد العضوية الطيارة (من الزيوت المضافة إلى الغزل أو من المذيبات) بحيث لا تتم السيطرة عليها والتي تستخدم في النسيج والتشطيبات والصباغة وعمليات الطباعة.

3-5-1 الإسبست والخيوط الأخرى

يستخدم الإسبست بشكل كبير في طوابق الروف (العليا) وفي العزل وإسمنت الإسبست وبطانة الكوابح والمعدات الكهربائية وكمضاد للحريق ومواد الطلاء. وإن الإسبست هو اسم عام لمجموعة السليكات الموجودة طبيعياً والتي تُفصل فيما بعد إلى ألياف مرنة. والتعرض قد يكون نتيجة المصادر الطبيعية والأعمال الصناعية. وهناك نوعان من ألياف الإسبست، الإسبست الكندي والإسبست الأزرق (الكروسايدولايت). حيث أن الإسبست الكندي ($3MgO.2SiO_2.2H_2O$) هام جداً صناعياً ويُشكل ما مقداره 90% من الإسبست المستخدم. والإسبست الأزرق يتكون من ألياف قصيرة، وهو أخطر من الإسبست الكندي.

جدول 7 المواد التي تنشأ عن صناعة النسيج

المـــــادة	مبدأ استعمالها أو مصدر انبعاثها
حمض الأستيك (الخليك)	السيطرة على صبغة الـ pH
ثنائي فينيل	حامل الصبغة
غبار القطن	مزج، غزل، نسج
يوريا الايثيلين الحلقي	مقاومة الثني
العاشر من أكسيد برومو ثنائي فينيل	مُؤخر اللهب
ثنائي أمونيوم فوسفيت	السيطرة على الـ pH
ثنائي كلورو ميثين	تنظيف النسيج
ثنائي ميثيل الاميدات	تهذيب النسيج
3,1 ثنائي فينيل-2-بايروزولين	ملمع فلوري
فورمالديهايد ريزنز	مقاومة الإنثناء
حمض الفورميك	السيطرة على صبغة الـ pH
هيدروجين بيروكساید	تبييض النسيج
هيبوكلورايت	تبييض النسيج، تشويط الغزل
مونو كلورو بنزين	طباعة النسيج
صبغات مُرسخات اللون	صبغة
فينول	طباعة
بولي فينيل الكحول	تجهيز النسيج، معالجة القطن
خلات الصوديوم	صبغ البوليستر
ثاني كرومات الصوديوم	عملية الصبغة والطلي بالكروم
صوديوم هيدروكساید	تنظيف النسيج، معالجة القطن
فوق بورات الصوديوم	عامل مضاد للتربة
زيوت الغزل	مُزَلّقات
النشا	عامل معايرة
أصباغ الكبريت	صبغة
حمض الكبريتيك	عملية الكربنة، إزالة النشا
رباعي كلورايثيلين	حامل الصبغة، إزالة الأوساخ
ثلاثي صوديوم فوسفات	السيطرة على صبغة الـ pH
ثلاثي كلورو ايثيلين	نقل الصبغة، إزالة الشحم والأوساخ
ثلاثي (3,2 ثنائي برومو بروبيل) الفوسفات	مؤخر اللهب
أصباغ الراقود	صبغة

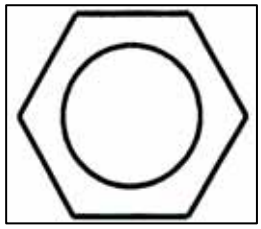
إن استنشاق الإسبست بعمق داخل الرئتين يسبب تلفاً فيزيائياً، ويرتبط بورم الطبقة المتوسطة (mesothelioma) وهو شكل من أشكال سرطان الرئة. داء الإسبست (asbestosis) مرض خاص بالجهاز التنفسي، ويتميز بتليف الرئة والتكلس، وقد يؤدي إلى السرطان، لذا يجب تجنب

استنشاق الإسبست، ويجب استشارة العاملين المدربين جيداً لإزالة الإسبست من بعض الأعمال مثل العزل والتسقيف.

4-5-1 البترول

يستخدم البترول منذ عدة قرون في مصر والصين والعراق وإيران للتدفئة والإنارة وعمل الطرق والبناء. فاليوم تنتج صناعة تكرير البترول في العالم أكثر من 2500 منتجاً تشمل النفط ونواتج التقطير والوقود المتبقي والإسفلت والغاز البترولي المسال والبنزين والكيروسين ووقود الطائرات والديزل والعديد من زيوت النفط وزيوت التشحيم.

والزيت الخام مزيج من آلاف الهيدروكربونات المختلفة ذات المدى الواسع لدرجات الغليان. بالإضافة إلى أن مركبات الزيت الخام تحتوي على كميات مختلفة من الكبريت والنيتروجين والأكسجين والملح والعناصر النزرة وماء. فمصافي البترول تنتج كميات كبيرة من ملوثات الهواء والماء وفضلات سامة خطيرة. وخليط الملوثات يزداد بازدياد النشاطات والعمليات في مصافي البترول. فالملوثات المنبعثة باستمرار في جميع منتجات التقطير للمصافي (وقود، مذيبات، زيوت، شمع، شحوم، إسفلت) بالتحديد تشتمل على كبريتيد الهيدروجين والهيدروكربونات الحلقية المتعددة الحلقات (PAHs) وأول أكسيد الكربون، ثاني أكسيد الكربون والبنزين (شكل4). لأن هذه المواد تتواجد بسهولة في المناطق الصناعية الكبيرة، وفي العادة تشتمل على أعداد مضاعفة من هذه المواد في الصناعات البتروكيميائية، فإن التلوث الكبير للهواء والماء مرتبط عادة بوجود هذه المواد. وإن المقيمين بالقرب من هذه المنشآت معرضون لخطر محتمل نتيجة استنشاق الهواء الملوث وشرب المياه الملوثة. كذلك هنالك كميات كبيرة من الفضلات الخطرة تنتج من هذه المنشآت ويجب التخلص منها بالطرق المناسبة، وإلا فإنها ستؤثر سلباً على الصحة من خلال تلوث التربة والمياه الجوفية.



شكل (4)
التركيب الكيميائي للبنزين

إن المقيمين في اتجاه معاكس للريح بالقرب من مصافي البترول يكونون أكثر عرضة لأعراض الجهاز التنفسي (السعال والأزيز التنفسي) ولقد بينت الدراسة التي أجريت في الولايات المتحدة الأمريكية على الأشخاص القاطنين بالقرب من المنشآت البتروكيميائية بأن هناك ارتفاع معدل الإصابة بسرطان الدماغ لهؤلاء الأشخاص، وفي الدراسة التي أجريت على القاطنين بالقرب من المنشأة البتروكيميائية في لويزيانا لأكثر من عشر سنوات تبين زيادة خطر الإصابة بسرطان الرئة.

كذلك توجد أخطار صحية مهنية محتملة في مصافي البترول. منها التعرض الناتج عن ملامسة الجلد واستنشاق الغازات والأبخرة، وبشكل رئيسي الهيدروكربونات والتي إما أن تكون موجودة طبيعياً في الزيت الخام والتي تنبعث خلال عمليات التكرير أو يتم تشكلها وتنبعث خلال عملية المعالجة. كما أن مركبات الكبريت الغازية مثل كبريتيد الهيدروجين، ثاني أكسيد الكبريت والمِرْكابتانات التي تنبعث خلال عملية إزالة ومعالجة الكبريت. بالإضافة إلى التعرض للغبار والرذاذ الناتج عن عمليات الصيانة واستخدام المواد المحفزة وحمل المنتجات اللزجة والصلبة مثل الفحم والقار وهذه تعتبر من الأخطار المهنية المحتملة في مصافي البترول. والمواد الرئيسة التي قد يتعرض لها العاملون في مصفاة البترول مدرجة بالجدول رقم (8).

وقد بينت الوكالة الدولية لبحوث السرطان أن التعرض المهني لعمليات تكرير البترول من العوامل المسرطنة للإنسان.

5-5-1 المذيبات

يتم التعرض للمذيبات العضوية وأبخرتها في بيئتنا الحديثة. فتستخدم الصناعات كميات كبيرة من المذيبات في عمليات التصنيع في العديد من المنتجات المختلفة وقد نكون معرضين من خلال هذه المنتجات إلى بعض المواد مثل بخار البنزين والبخاخات ومزيلات الطلاء. ويعتبر البنزين مثال جيد على المذيبات. إذ أنه مذيب للثي المطاطي (عصارة المطاط)، حيث استخدمت كميات كبيرة من البنزين خلال التسعينات في صناعة المطاط. وفي الثلاثينات وجد العديد من حالات التسمم بالبنزين في صناعة الطباعة حيث أستخدم البنزين كمذيب للحبر. وفي الحقيقة، ما زال البنزين يُستخدم حتى يومنا هذا كمذيب وبتقدير يصل إلى 42 مليون متراً مكعباً سنوياً. كما أن التعرض المزمن للبنزين قد يسبب نِقْيُ العظم الحاد وفقر الدم اللاَّتَنَسُّجي(aplastic anaemia) كذلك فإن التعرض إلى البنزين يرتبط بحالات اللوكيميا. ومن الضروري التذكر بأن العديد من المذيبات خطرة جداً وأنه يجب ارتداء معدات الوقاية الشخصية المناسبة عند التعامل مع أي مذيب. ويجب اتباع نصائح الخبراء دائماً عند اختيار المعدات المناسبة.

جدول رقم 8. المواد الرئيسة التي ربما يتعرض لها العمال في محطات تكرير البترول

المادة		مبدأ استخدامها أو مصادر انبعاثها
الومينا (أكسيد الألمنيوم)	Alumina	مادة محفزة
كلوريد الألمنيوم	Aluminum chloride	مادة محفزة
أمينات دهنية	Amines, aliphatic	إزالة الكبريت من الماء
أمينات حلقية	Amines, aromatic	التكسير بالحفز، مقاوم التأكسد
أمونيا (نشادر)	Ammonia	التقطير، التكسير بالحفز
مركبات الزرنيخ	Arsenic compounds	الزيت الخام، غسيل الغاز
أسبست	Asbestos	مادة عازلة، مانع للتسرب
أدخنة القار (الزفت)	Bitumen fumes	تعبئة صهاريج نقل البترول، التنظيف
رباعي كحول البيوتيل	Tert-Buty1 alcohol	مزيج (خلط) الكازولين الخالي من الرصاص
الكروم ومركباته	Chromium and its compounds	مادة محفزة، اللحام
الكوبلت ومركباته	Cobalt and its compounds	مادة محفزة
الفحم	Coke	وحدات التكويك (تحويل الفحم أو البترول إلى كوك)
النحاس ومركباته	Copper and its compounds	إزالة الكبريت من الماء، مادة محفزة
زيت خام	Crude oil	التقطير ووحدة المعالجة المتعاقبة
الهيدروكربونات الحلقية	Hydrocarbons, aromatic	في الغالب وحدات المعالجة
كلوريد الهيدروجين	Hydrogen chloride	المُصاوَغة (الأيسومر) (مركبات كيميائية متشابهة في التركيب ومختلفة في الخواص)
فلوريد الهيدروجين	Hydrogen fluoride	مادة محفزة
كبريتيد الهيدروجين	Hydrogen sulfide	التقطير، التكسير
الكيتونات	Ketones	مذيب
الرصاص ومركباته	Lead and its compounds	إزالة الكبريت
الزيوت المعدنية	Mineral oils	وحدة الشحوم والزيوت
النيكل ومركباته	Nickel and its compounds	مادة محفزة، اللحام، نواتج الاحتراق
أكاسيد النيتروجين	Nitrogen oxides	للتوقد والتوهج، المحارق (الأفران)
بلاديوم	Palladium	مادة محفزة
فينول	Phenol	التقطير الخام، مياه الفضلات
زفت	Pitch	قسم الزفت، عمليات التحميل
حمض الفوسفوريك	Phosphoric acid	مادة محفزة
بلاتين	Platinum	مادة محفزة
الهيدروكربونات الحلقية متعددة النوى	Polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)	التقطير، التفحيم (التكويك)، عمليات تكويك الزفت، معالجة مياه الفضلات
المذيبات البترولية	Petroleum solvents	تصنيع المذيبات البترولية
حمض الكبريتيك	Sulfuric acid	مادة محفزة
رباعي ايثيل الرصاص	Tetraethyllead	مزج الكازولين
مركبات فاناديوم	Vanadium compounds	زيوت الوقود المتبقي، تنظيف المداخن والمصارف

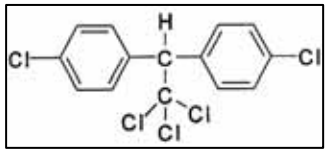
6-1 المصادر الزراعية للمواد الكيميائية

يتم استخدم العديد من المواد الكيميائية في الزراعة وتشمل النيتروجين وأسمدة الفسفور والمبيدات الحشرية (مواد تستعمل لمعالجة التربة والبذور) ومنظمات نمو النبات ومطهرات والعقاقير البيطرية (تشمل استخدام المضادات الحيوية للحيوانات واستخدام المضادات الحيوية في مزارع السمك). ومن بين هذه المواد تعتبر المبيدات الحشرية من أكثر المواد الكيميائية تأثيراً على الصحة والبيئة. إن المبيدات الحشرية مواد تستخدم لقتل الحشرات أو مكافحتها. والحشرات عبارة عن عضيات (كائنات حية) يعرفها الإنسان بأنها تدخل ضمن نشاطاته الحيوية. وربما تؤثر على صحتنا مباشرة، عند استهلاكنا للغذاء فالمبيدات الحشرية سموم ولكن لها غاية، فهي تحمي الإنسان ومحاصيله من العضيات الأخرى وبالأخص الحشرات وبالتالي، إذا وجب استخدام المبيدات الحشرية، فيجب اختيارها بحيث تقتل العضيات غير المرغوب بها، بينما لا تؤثر على العضيات غير المؤذية. وفي الواقع إن معظم المبيدات الحشرية لا تكون انتقائية في عملها، وقد تترك آثاراً على الأنظمة البيولوجية إذا لم يتم استخدامها بالطرق الصحيحة.

1-6-1 استخدامات المبيدات الحشرية

المبيدات تشمل :
- **المبيدات الحشرية.**
- **مبيدات الأعشاب.**
- **مبيدات القوارض.**
- **المُستدخِنات.**
- **مبيدات الديدان.**
- **مبيدات الرخويات.**
- **مبيدات الحَلَمات**

لقد كانت أمراض مفصليات الأرجل من أكبر المشاكل التي يواجهها الإنسان قبل تطور المبيدات الحشرية الأولى. الملاريا (داء البُرداء) والأمراض المرتبطة بالنواقل التي تقتل الملايين من الناس سنوياً (شكل رقم 6). كما أن المبيدات الحشرية، وعلم الصحة الوقائية ودراسات الصحة جميعها تستخدم كطرق للسيطرة على النواقل في برامج الصحة العامة على امتداد العالم. وقد تسببت العديد من المواد الكيميائية المستخدمة بحدوث مشاكل بيئية خطيرة، وتعتبر الآن ملوثات بيئية. ومن ناحية أخرى، تعتبر جيدة لأنها ساهمت في حماية ملايين الأرواح عبر التاريخ.
كذلك تستخدم المبيدات الحشرية في الزراعة والبستنة وفي التحريج وإنتاج المواشي. إن أكبر مصدر للتلوث بالمبيدات ناتج عن استخدامها في الزراعة والصحة العامة. إساءة استخدام المبيدات الحشرية يعتبر أمراً خطيراً جداً في الدول التي تكون فيها التعليمات والمراقبة غير كافية. فبعض المبيدات مثل الـ (DDT) (شكل رقم 5)، مُنع استخدامه أو حُدِّد في العديد من الدول، ولكنه ما زال متوفراً بشكل كبير في الدول الأخرى بالإضافة إلى ذلك، فإنه يشتمل تحضير معظم المبيدات الحشرية على مواد خاملة، بالإضافة إلى المكونات النشطة وكذلك المذيبات والمركبات التي تزيد من الامتصاص. وهذه "المكونات الخاملة" تشكل جزءاً كبيراً من منتجات المبيدات الحشرية التجارية، وقد يتجاوز تأثيرها تأثير المكونات النشطة. وكذلك قد تحتوي المبيدات على شوائب، مثل السُميات المستخدمة في مبيدات الأعشاب "Phenoxyacid" والتي قد تكون أكثر سمية من المبيدات نفسها.



شكل (5)
التركيب الكيميائي للـ DDT

2-6-1 تلوث الهواء والتربة والمياه بالمبيدات

يصبح الهواء ملوثاً بالمبيدات نتيجة عمليات الرش. وقد يسبب تبخر القطرات خلال عمليات رش المبيدات المستحلبة إلى تشكيل جزيئات صغيرة قابلة للحمل لمسافات بعيدة بواسطة التيارات الهوائية. وقد تأكد ذلك خلال الدراسات التي أظهرت وجود المبيدات في ضباب المدن. وهنالك سلوك معروف في سكان العديد من الدول وذلك برش منازلهم بالمبيدات لمكافحة نواقل الأمراض فتتبخر هذه المبيدات في المنزل وقد يتم استنشاقها من قبل القاطنين فيه وكميات أخرى تدخل عن طريق الجلد وذلك بملامسة السطوح المرشوشة بالمبيدات، أو عن طريق الجهاز الهضمي وذلك بتناول الأغذية التي تعرضت للرش.
قد يتم رش التربة بالمبيدات بقصد السيطرة على الحشرات والديدان الخيطية. بالإضافة إلى أن نسبة عالية من المبيدات التي تم رش المحاصيل بها أو التي تستخدم كمبيدات للأعشاب لا تؤدي الغرض المطلوب منها حيث لا تصيب هدفها لكنها تسقط على سطح التربة، وتبقى بعض المبيدات، مثل الكلورين العضوي في التربة لعدة سنوات، وقد تتلوث المياه نتيجة طرح المبيدات الزائدة بعد عمليات الرش أو تسرب المبيدات أثناء عملية تشكيلها أو من خلال طرح المبيدات في الأنهار والبرك للسيطرة على الأعشاب المائية الضارة فطرح المبيدات في المياه قد يؤدي إلى تلوث مياه الشرب.

شكل رقم (6): التوزيع العالمي للملاريا (البرداء)

3-6-1 تعرض الإنسان للمبيدات

تكون عمليات المكافحة والتحكم في بعض الدول في عمليات الرش ضعيفة، ففي العادة يتم رش المبيدات فقط في الأيام أو الساعات التي تسبق حصاد المحاصيل. ومثل هذه المحاصيل قد تحتوي على بقايا تؤدي إلى التعرض الكبير إذا تم استهلاك المحاصيل في وقت قليل بعد الحصاد. ويشكل هذا في بعض الدول مشكلة كبيرة لأن العديد من الخضروات تتم زراعتها على قطع أراضٍ قريبة من القرى وبالتالي يتم إرسال المحاصيل المعالجة بالمبيدات مباشرة إلى السوق بدون غسلها بشكل جيد. وفي بعض الأوقات يتم رش الخضروات وهي في السوق لمنع تراكم الذباب عليها.

من الضروري التذكر بأن المبيدات تستخدم لقتل أنواع عديدة من العضيات، وأن أي إهمال أو ابتلاع بالصدفة لها قد يكون قاتلاً.

وبعيداً عن التلوث المباشر الناجم عن رش المحاصيل الغذائية فإن هناك طرقاً أخرى متعددة يتلوث بواسطتها الغذاء فعلى سبيل المثال، قد تحتوي اللحوم على نسبة عالية من المبيدات لأنها مركزة في أنسجة معينة، ناتجة عن تغطيس القطعان أو معالجة النواقل بمياه ملوثة. كذلك قد يحتوي السمك الذي يتم اصطياده في مياه الأرز المعالج على نسبة عالية من المبيدات. إذ أن المعالجة باستخدام المبيدات لمنع الخسائر الغذائية خلال عمليات النقل والتخزين تؤدي إلى إحداث الخطر. كذلك فإن الخسائر التي تسببها الحشرات الفصلية والقوارض قد تكون كبيرة، والتصرف المعتاد هو معالجة الأغذية والقمح بالمبيدات وبأسلوب غير مميز لتجنب مثل هذه الخسائر. فإن الأغذية التي تتم معالجتها بهذه الطريقة قد تحتوي عل تركيز عالٍ من المبيدات وفي حالات نقص الطعام، هناك العديد من حالات تناول الحبوب والبذور المعالجة بالمبيدات من قبل الناس أو الحيوانات المنزلية بشكل عرضي أو متعمد مما ينتج عنه تسمم كبير.

لدى العديد من الدول تشريعات متعلقة بتلوث الغذاء ويتم تحليل الأغذية المستوردة والمحلية بانتظام وفي بعض الدول تكون مشكلة الحشرات فيها كبيرة، بسبب قلة التشريعات، إذ أن الشائع عندهم يكون برش المحاصيل بالمبيدات قبل حصادها بوقت قليل.

إن التسمم الحاد نتيجة المبيدات مشكلة منتشرة بشكل كبير، حيث يبلغ عدد الحالات التقريبي في العالم من 1-3 مليون/سنة. حيث ارتفع معدل الوفيات من 1-9% من الحالات التي تقدم للعلاج، وتعتمد على توفر مضادات السم وعلى نوعية الخدمات الطبية. كما أن التسمم المتعمد (محاولات الاعتداء أو الانتحار الناجح) شكلت نسبة كبيرة من حالات التسمم في دول معينة. إذ أن المبيدات متوفرة وبسهولة في البيوت، وقد تصبح إحدى خيارات طرق الانتحار لمن ينوون ذلك.

وغالبية حالات التسمم بالمبيدات توجد بشكل كبير بين العاملين في المزارع وعائلاتهم. ويتم التعرض بشكل رئيسي أثناء عملية خلط أو استخدام المبيدات، وكذلك يتم التعرض من خلال الرش باستخدام الطائرات أو دخول المناطق التي تم رشها مسبقاً. فالتعرض المهني الحاد قد يحدث أثناء عمليات التصنيع، التشكيل، تعبئة ونقل المبيدات. وتشتمل التأثيرات الحادة المتعلقة بالتعرض المهني العالي للمبيدات على حروق كيميائية في العيون، تلف في أنسجة الجلد، تأثيرات على الجهاز العصبي وتأثر الكبد. ويعتقد بأن التعرض المزمن يؤدي إلى مشاكل تناسلية وازدياد خطر السرطان وتأثيرات متأخرة على الأعصاب وتأثيرات سيكولوجية وتأثيرات على المناعة.

كما أن العديد من حالات التسمم بالمبيدات لدى الأطفال تكون أيضاً نتيجة عبثهم بعبوات المبيدات الموجودة في المنزل والعديد من حوادث التسمم تكون أيضاً نتيجة استهلاك الأغذية الملوثة بالمبيدات وتتسبب بحدوث الوفيات بأعداد كبيرة. وفي بعض الحالات، تتلوث الأغذية أثناء عملية التخزين والنقل، وفي حالات أخرى، يتم استهلاك البذور التي تمت معالجتها بالمبيدات الفطرية والتي من المفترض زراعتها.

7-1 المصادر الحضرية للتلوث الكيميائي

من المعروف منذ آلاف السنين أن النشاطات الإنسانية والتحضر أدى إلى تلوث الهواء (شكل 7). وفي الحقيقة، بدأ التلوث وبدون شك عندما بدأ الإنسان باستخدام النار للتدفئة والطهي. وتواجه العديد من دول العالم مشكلات تلوث الهواء التي سببها التحضر والصناعة. إذ تساهم اليوم العديد من المصادر بإحداث مشكلات تلوث الهواء في المدن في جميع أنحاء العالم. إن الأمور الرئيسة التي تساهم في تلوث الهواء تعتبر ذات أهمية بالغة وتتزايد بشكل كبير من مدينة لأخرى فالصناعات في المدن من الأمور الرئيسة التي تساهم في تلوث الهواء، بينما

تساهم الشوارع المزدحمة ومحركات المركبات غير المصانة بشكل واضح وغالباً المستويات العالية للرصاص في الوقود في إحداث مشكلات تلوث الهواء. ومحطات الطاقة الحرارية التي تقوم وبشكل متكرر بحرق الفحم المحتوي على كميات كبيرة من الكبريت أو الزيت تعتبر من الأمور التي تساهم في تلوث الهواء. ويستخدم الحطب والفحم كمصدر وقود في بعض المدن مما يسبب تلوث الهواء وبالتالي مشاكل تنفسية للكبار والصغار.

قد تكون حرائق الغابات مصدراً كبيراً لتلوث الهواء إن الحرائق واسعة الانتشار التي حدثت عام 1997م في جزيرتين في أندونيسيا تسببت بوجود الضباب الكثيف نتيجة الدقائق المعلقة بالهواء من الدخان والسناج (السُخام)، حيث أدى ذلك إلى إعتام السماء في ماليزيا وأندونيسيا وسنغافورة وبروناي وجنوب تايلاند وأجزاء من الفلبين.
وإن التلوث الذي نتج عن الحرائق تسبب في زيادة عدد الأشخاص الذين تطلبت حالاتهم زيارة المستشفيات أو دخولها، حيث تم تسجيل أكثر من 20,000 حالة في ماليزيا وحدها. كما أن الضباب ومحدودية الرؤية تسببت في تحطم طائرة وقتل 234 شخصاً.

1-7-1 المصادر الطبيعية لتلوث الهواء

تتشكل العديد من الملوثات المختلفة والكيميائيات التي تنبعث من قشرة الأرض نتيجة للعمليات الطبيعية. فعلى سبيل المثال تنبعث من البراكين الثائرة مواد وغازات ملوثة مثل ثاني أُكسيد الكبريت وكبريتيد الهيدروجين والميثان. وكذلك تساهم حرائق الغابات بتلوث الهواء عن طريق انبعاث الدخان والسناج (السُخام) والهيدروكربونات غير المحترقة وأول أُكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين والرماد. وكذلك تعتبر الدقائق الناتجة عن رذاذ البحر والأبواغ الجرثومية وغبار الطلع والغبار الناجم عن التربة جميعها تساهم طبيعياً في تلوث الهواء وكذلك أيضاً تعتبر النباتات والأشجار مصدراً للهيدروكربونات، فالضباب الأزرق فوق الجبال المغطاة بالغابات ناتج عن التفاعلات الجوية للمركبات العضوية الطيارة الناتجة عن الكساء الخضري.
في كانون ثاني عام 1986م تم تسجيل ما يزيد عن 96 حالة ربو في برشلونة (إسبانيا) 10% منهم كانوا يحتاجون إلى دعم متقدم للبقاء على قيد الحياة ووفاة 2% من الحالات. وبناءً على التحليلات الوبائية الواسعة، وجد بأن السبب وراء هذه الحالات هو الغبار الناتج عن فول الصويا الذي تأخر تحميله في ميناء برشلونة.

شكل (7) مثال على تلوث الهواء في أوروبا

1-7-2 الوقود الأحفوري كملوث للهواء

إن عمليات احتراق الوقود الإحفوري لغايات التدفئة المنزلية، وتوليد الطاقة والنقل في العمليات الصناعية، ملخصة في الجدول رقم (9) والتي تشارك جميعها المصادر الرئيسة للإنبعاثات الملوثة للهواء في المناطق الحضرية. كما أن أكثر ملوثات الجو شيوعاً في البيئة الحضرية تشمل أكاسيد الكبريت وبخاصة ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) وأكاسيد النيتروجين (NO_2 , NO) ويتم التعبير عنها بـ NOx) وأول أكسيد الكربون (CO) والأوزون (O_3) والمواد الدقيقة المعلقة (SPM) والرصاص (Pb).

جدول9. نشاطات الإنسان والنواتج الثانوية من احتراق الوقود الإحفوري

النشاط	ملوثات الهواء
محطات الطاقة المستخدمة لتوليد الكهرباء (مثل: محطات الطاقة التي تعمل على احتراق الفحم)	(NO_2 , NO) NO_x , SO_x الدقائق الأولية: رماد متطاير، سناج (السُخام) الدقائق الثانوية: ضبائب (ايروسولات) من الكبريت (SO_4) , نايتريت (NO_3)
احتراق المواد البترولية	SO_2^{-2}، سناج (السُخام)
حرق الوقود المنزلي الصلب (فحم، خشب)	SO_2، سناج (السُخام) (مثل الضباب الدخاني)، الرماد المتطاير
احتراق وقود الديزل	SO_x، سناج (السُخام)، NO_x.
الآليات التي تعمل على الوقود البترولي (الكازولين)	NO_x، CO، Pb (إذا استعمل وقود يحتوي على الرصاص)، هيدروكربونات.
تدخين السيجارة والباربيكيو	هيدروكربونات حلقية متعددة الحلقات ومواد أخرى.

1-7-3 الأوزون كمصدر لتلوث الهواء

على الرغم من أن تلاشي جزء من طبقة الأوزون في طبقات الجو العليا أمر مثير للقلق، إلا أن مشكلة عكسية على مستوى الأرض (زيادة مستويات الأوزون) قد تحدث في ظروف تلوث الهواء الحضري. إذ يتشكل الأوزون، وهو مؤكسد كيميائي ضوئي، في طبقات الجو الدنيا بوجود أكاسيد النيتروجين والهيدروكربونات والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs). ويتطلب تكونه درجات حرارة أكثر من 18 درجة مئوية بالإضافة إلى أشعة الشمس الكافية لتساعد على التفاعلات. فقد تنبعث المركبات العضوية المتطايرة من العديد من المصادر الاصطناعية مثل حركة السير وإنتاج واستخدام الكيميائيات العضوية (مثل المذيبات) والنقل واستخدام الزيت الخام واستخدام الغاز الطبيعي ومن أماكن التخلص من النفايات ومنشآت معالجة مياه الفضلات. وإن المدن المعرضة لحرارة الشمس وبوجود حركة سير مزدحمة فيها تساعد كل هذه الظروف على تشكل الأوزون والعديد من المؤكسدات الكيميائية الضوئية من الإنبعاثات السابقة. إن التركيز العالي للأوزون في الطبقات السفلية من الجو تكون سامة للنباتات (Phytotoxic) كما تسبب الربو ومشاكل في الجهاز التنفسي عند الكبار.

1-7-4 الاختلافات في تلوث الهواء

تختلف الإسهامات النسبية للمصادر الثابتة والمتحركة لتلوث الهواء بشكل ملحوظ بين المدن وتعتمد على مقدار الحركة وكثافة السير ونوع الصناعة الموجودة. وعلى سبيل المثال يوجد في مدن أمريكا اللاتينية كثافة سير أكبر من المناطق النامية الأخرى والتي يحتمل أن تساهم أكاسيد النيتروجين الناتجة عن محركات المركبات في زيادة عبء التلوث الكلي للمناطق الحضرية. وإن إسهام محركات السيارات في التلوث تكون قليلة نسبياً في المدن التي تُستخدم فيها المحركات على مستوى أقل من المدن التي تقع ضمن المناطق ذات المناخ المعتدل والتي تعتمد على الفحم ووقود الكتلة الحيوية لغايات التدفئة ولغايات منزلية أخرى (مثال على ذلك: بعض المدن في الصين وفي بعض أجزاء من شرق أوروبا). ومن الجدير بالملاحظة أن المركبات المستخدمة في النقل في بعض الدول تكون قديمة ولا تتم صيانتها بشكل جيد، وهذا عامل يزيد من اعتبار هذه المركبات كمصادر للتلوث.

بالإضافة إلى ملوثات الهواء الأكثر شيوعاً، يتزايد اكتشاف عدد كبير من الكيميائيات المسرطنة والسامة في الأجواء الحضرية، حتى وإن كانت بتركيزات قليلة. وتشتمل الأمثلة على فلزات (مثل بيريليوم والكادميوم والزئبق) والعضويات مثل (البنزين و Polychlorinated dibenzo-dioxins و dibenzo-furans والفلورمالديهايد وكلوريد

الفينيل و PAHs) والآلياف مثل (الإسبست). ومثل هذه المواد الكيميائية تنبعث من مصادر كثيرة وتشمل أفران إحراق القمامة ومحطات معالجة مياه الصرف الصحي والعمليات الصناعية والتصنيعية واستخدام المذيبات في (مؤسسات الغسيل الجاف "دراي كلين") ومواد البناء والمركبات المزودة بمحركات.

الزيت والبترول هي ملوثات دائمة في البيئة الحديثة.
في انجلترا وفي عام 1967م تسبب تسرب الزيوت من صهريج بموت ما لا يقل عن 100,000 طائر.
وكمثال آخر على حوادث التسرب الضخمة في المحيط تسرب زيت Exxon Valdez عام 1989م.
لقد طرح الصهريج ما مقداره 40 مليون لتراً من الزيت الخام في مضيق الأمير وليام في آلاسكا، حيث لوث 7000 كم^2 على طول الشاطيء وقدرت تكاليف إزالة التلوث بحوالي 250 مليون دولار أمريكي.

5-7-1 النفايات السائلة والصلبة

في العديد من مدن العالم، تذهب مياه الصرف الصحي مباشرة إلى التجمعات المائية بدون معالجة. وقد توجد الكيميائيات الخطرة والمستخدمة في المنازل والصناعات في البيئة المائية مسببة دمار النظام البيئي وتلوث مصادر مياه الشرب. وعلى سبيل المثال، ففي مدينة بوخارست/رومانيا، (عدد السكان 2 مليون نسمة) حيث لا يوجد لديها منشآت لمعالجة مياه التصريف. وجميع مياه التصريف يتم طرحها في نهر الدانوب.

إن النفايات الكيميائية الخطرة وهي من مصدر صناعي يتم طرحها في العادة في مواقع تكون غير معدة وغير مدارة بالشكل الصحيح حيث لا يتم فصل النفايات السامة أو قليلاً ما يتم فصلها. وهذا العمل المتكرر يؤدي إلى تلوث مياه الشرب والتربة والهواء. كذلك فإن التخلص من الفضلات السائلة مثل مياه الصباغة تعتبر مشكلة للعديد من الدول.

8-1 إطلاق المواد الكيميائية السامة بصورة عرضية

تساهم الحوادث التي تحدث في الإنتاج أو أثناء نقل المواد الخطرة في تلوث الماء والأرض والهواء وتؤدي إلى حدوث تأثيرات سلبية على صحة الناس. كما أن الحوادث مثل الانفجارات والحرائق واصطدام مركبات النقل تؤدي إلى انبعاث عوامل كيميائية خطرة في البيئة، ويتعرض لها العمال والسكان. كما أن تكرار مثل هذه الحوادث الخطرة ينذر بالخطر.

وتنتج معظم الحوادث الكيميائية عن الإهمال، ولكن المهندسين غير المهرة والعمال غير المدربين جيداً أو نقص الاتصالات قد تساهم جميعها في وجود نتائج قاتلة. ولتجنب الحوادث، فإنه من الضروري أن يتم تدريب الموظفين العاملين في الصناعات الخطرة جيداً. الجدول رقم (10) يسلط الضوء على أكبر الحوادث الخاصة بالكيميائيات.

جدول 10. الحوادث التي أثرت على حياة الإنسان والبيئة

السنة	طبيعة الحادث	الموقع	التأثير[1]
1974م	انفجار مصنع كيميائي وانبعاث مادة السايكلوهيكسين	فلاكسبورف (انجلترا)	قتل 28 شخصاً
1976م	انطلاق مادة 2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-p-dioxin	سيفسو (إيطاليا)	تأثر الكثير من الأشخاص بالكلور ونفوق كثير من الحيوانات البرية والمائية
1979م	خروج قطار عن خط سيره وانطلاق غاز الكلور	مسيسيوج (كندا)	إخلاء 200,000 شخصاً
1984م	انفجار/غاز بترولي مسال	مكسيكو (المكسيك)	قتل 500 شخصاً وإصابة 5000 شخصاً
1984م	تسرب كيميائي لمادة isocyanate	بوبال (الهند)	قتل 2500 شخصاً وإصابة 200,000 شخصاً
1986م	حريق في مصنع مبيدات	بازل (سويسرا)	أضرار في البيئة المائية لنهر الراين
1986م	انفجار في محطة طاقة نووية	تشيرنوبل (أوكرانيا)	قتل 1000 شخصاً وكارثة كبيرة في البيئة الأرضية

[1] هذه الأرقام مقدرة

مراجعة

بعد قراءة هذا الفصل يجب أن تكون ملماً بالتالي:

- تتواجد المواد الكيميائية إما بشكل طبيعي أو صناعي، وقد تكون المواد الكيميائية الطبيعية سامة بنفس سمية المواد الكيميائية الصناعية. وتعتبر الطبيعة قادرة على تكوين مجموعة ضخمة من المواد الكيميائية السامة.
- مصادر المواد الكيميائية التي نتعرض لها واسعة ومتنوعة. المواد الكيميائية موجودة في الهواء الذي نتنفسه والماء الذي نشربه وفي الطعام الذي نأكله. كذلك نتعرض إلى الأدوية والمبيدات والمذيبات والهيدروكربونات الموجودة طبيعياً ونواتج الاحتراق والميكروبات السامة والنباتات السامة والحيوانات السامة القليلة التي تم ذكرها.
- المواد السامة المرتبطة بالطعام يمكن أن تؤدي إلى الوفاة إذا تم تناول جرعة كبيرة منها.

2. طرق التعرض

يبين هذا الفصل ما يلي:

- الطرق الرئيسية الثلاث للتعرض.
- أكثر الطرق السامة للتعرض.
- تأثير الأنواع المركبة في التعرض.
- آثار المزيج الكيميائي.

1-2 مقدمة

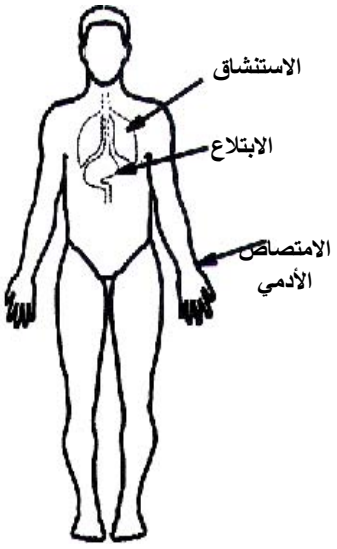
تسبب المواد الكيميائية الضرر للإنسان والكائنات الحية بطرق مختلفة، والعديد من هذه الطرق سيتم مناقشتها في الوحدة الثالثة. فقبل أن تكون المواد الكيميائية ضارة، يجب أن تكون هناك طريقة للتعرض. وطريقة التعرض هي الطريقة التي تدخل بواسطتها المواد الكيميائية إلى الجسم وإذا لم تتم ملامسة المادة الكيميائية، فلا توجد مشكلة في مقدار سميتها ولا تسبب الضرر. وهناك طرق مختلفة للتعرض، ونوع التعرض يؤثر على سمية المادة الكيميائية، وتوجد ثلاث طرق رئيسية للتعرض: الدخول من خلال الجلد (الامتصاص الأدمي)، الامتصاص من خلال الرئتين (الاستنشاق)، والامتصاص من خلال القناة الهضمية (الابتلاع)، وإن أكثر أشكال التعرض المهني شيوعاً هي الاستنشاق والامتصاص عن طريق الجلد، بينما حوادث التسمم والانتحار بالسم تكون في الغالب من خلال الفم. شكل (9) يبين طرق مختلفة تصل المواد الكيميائية الخطرة والقادمة من البيئة خلالها إلى عامة الناس.

طرق التعرض الرئيسية الثلاثة هي:

- **الامتصاص الجلدي.**
- **الاستنشاق.**
- **الابتلاع.**

2-2 التعرض عن طريق الامتصاص الجلدي

يعتبر الجلد أحد أكثر الأجزاء تعرضاً للمواد الكيميائية، ولكن لحسن الحظ أنه حاجز فعال للعديد من المواد الكيميائية. إذا لم تستطع المواد الكيميائية اختراق الجلد، فإنها في هذه الحالة لا تستطيع إحداث التأثير السمي من خلال الجلد. وإذا استطاعت المادة الكيميائية اختراق الجلد، فإن سميتها تعتمد على درجة الامتصاص، فكلما زاد الامتصاص زادت إمكانية التأثيرات السمية للمواد الكيميائية. ويتم امتصاص المواد الكيميائية من خلال الجلد المتضرر أو المكشوط أكثر من الجلد السليم. ويجب أن تمر المادة الكيميائية خلال عدد كبير من الطبقات في الجلد قبل أن تصل إلى الجهاز الدوراني. وعندما تخترق المواد الكيميائية الجلد، تدخل إلى مجرى الدم وتُحمل إلى جميع أجزاء الجسم. حيث أن قابلية المادة الكيميائية لاختراق الجلد تعتمد على كون المادة قابلة للذوبان في الدهن أم لا. فالمواد الكيميائية التي تذوب في الدهن تكون احتمالية اختراقها للجلد أكثر بكثير من المواد التي تذوب في الماء.



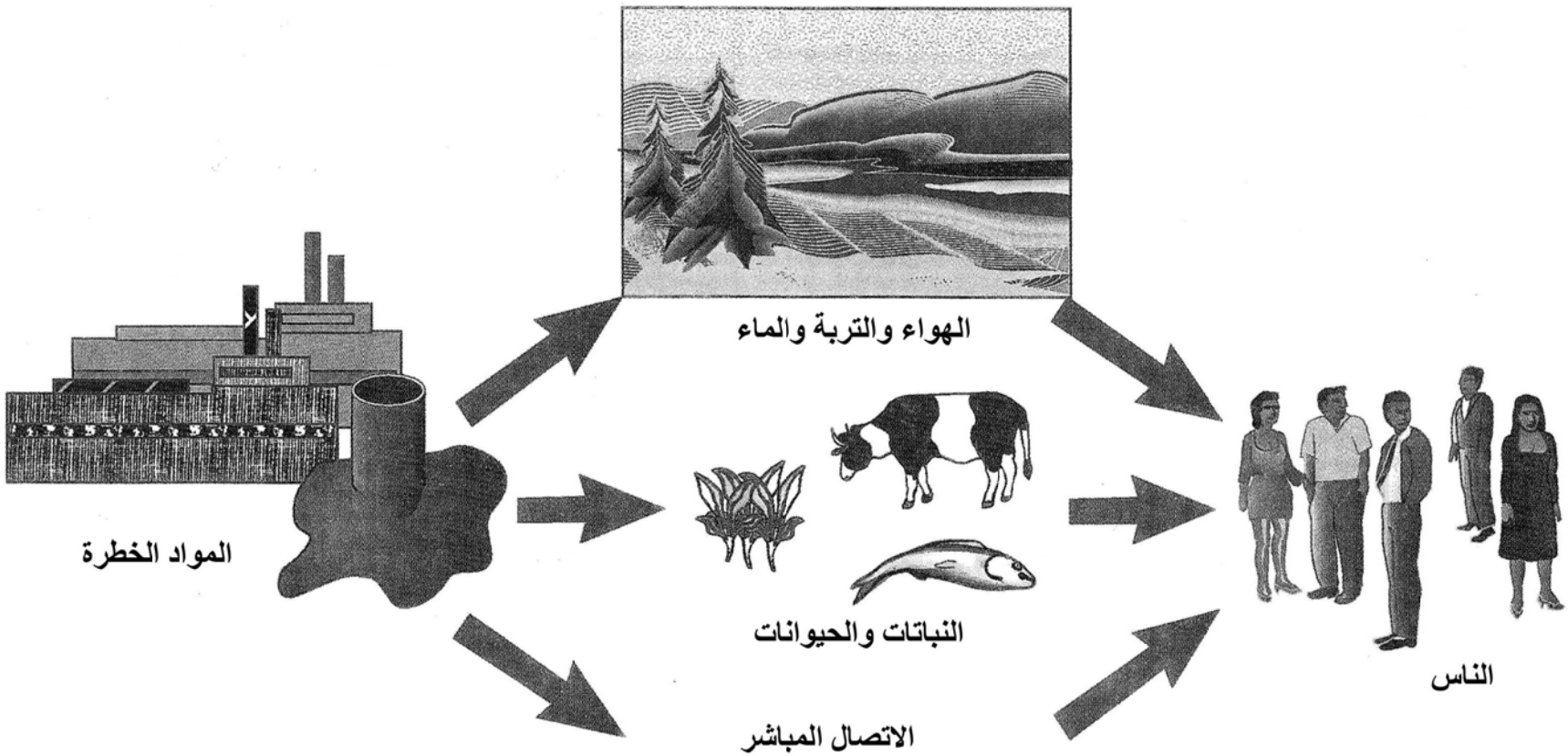
شكل (8) الطرق الثلاثة الرئيسية للتعرض

إن تهيج الجلد والحساسية من أكثر نتائج التعرض الجلدي شيوعاً في مواقع العمل في الصناعة الكيميائية. إذ أن تعرض العمال للمبيدات من خلال الجلد أثناء عمليات الخلط أو استعمال هذه المواد أمر ذو شأن خاص. فبعض المبيدات لها خطورة وبخاصة إذا كانت سامة وتحتوي على مذيبات قابلة للذوبان في الدهن، مثل البنزين والاكزايلين والمنتجات البترولية الأخرى التي تجعل من السهولة اختراق المبيدات للجلد. بعض التأثيرات المميزة للمبيدات على الجلد موضحة في الجدول رقم (11).

ينتج تهيج الجلد عن لمس بعض المواد الكيميائية لفترة طويلة. ويجف الجلد بعدها ليصبح حساساً ومُحمراً ومتشققاً. وهذه الحالة تسببها بعض المواد الكيميائية مثل المذيبات والأحماض والقلويات ومواد التنظيف والمبردات. وعندما يتوقف تلامس الجلد مع المادة الكيميائية، يلتئم الجلد. وبشكل عام، تحتاج عملية الالتئام لشهور عديدة. ويكون الجلد خلال فترة الشفاء أكثر عرضة للإصابة من الوضع الطبيعي وبالتالي يجب حمايته.

جدول 11. المبيدات وتأثيراتها المعروفة على الجلد

المبيد	التأثير
Paraquat, captafol, 2,4-D, mancozeb	**حكة في الجلد (التهابات)**
Beomy1, DDT, lindane, zineb, malathion	**حساسية الجلد، تفاعلات مفرطة الحساسية، طفح جلدي**
Hexachlorobenzene, benomy1, zineb	**تفاعلات الحساسية الضونية**
Organochlorine pesticides	**طفح المكلورات (عُدٌّ كلوري المنشأ)**
Hexachlorobenzene	**ندب عميقة، فقدان شعر، ضمور الجلد**



شكل رقم (9) الطرق التي تصل بواسطتها المواد الكيميائية الخطرة والقادمة من البيئة المحيطة إلى عامة الناس

إن التهاب الجلد الأرجي الناجم عن تلامس الجلد مع المادة الكيميائية هو من أمراض الجلد المتأخرة الظهور وسببها الحساسية العالية للمواد الكيميائية، حيث يؤدي تعرض الجلد لكميات قليلة من المادة الكيميائية (والتي لا تسبب أي تهيج في الوضع الطبيعي) إلى ضرر في الطبقة الجلدية نتيجة لفرط الحساسية. وتشتمل الأعراض الطفح الجلدي والورم وحكة وتحوصل الجلد. وتختفي الأعراض عندما يتوقف الجلد عن التلامس مع المادة الكيميائية لكن الأعراض تعود ثانية عند التلامس مرة أخرى. كما أن سبب التهاب الجلد الأرجي تكرار تلامس الجلد للمواد الكيميائية مثل الكروم (يوجد في الأسمنت، الجلود، المواد المانعة للصدأ، ... الخ) والكوبالت (يوجد في المنظفات، صبغات الألوان) والنيكل (يوجد في المواد المطلية بالنيكل مثل: الحلق، المفاتيح، العملة، بعض الأدوات). وقد يسبب المطاط وبعض الأنواع من البلاستيك والمواد اللاصقة نفس هذه التأثيرات. للمزيد من المعلومات حول الأرجية، أنظر القسم 3-6.

وتؤدي ملامسة المواد الكيميائية للعيون لحدوث أضرار تتراوح من عدم الارتياح والانزعاج المؤقت إلى التأثيرات الدائمة. ومن الأمثلة على المواد الكيميائية التي تسبب تهيج العيون، الأحماض والقلويات والمذيبات.

وعلى الرغم من أن تهيج الجلد غالباً ما يحدث بعد التعرض لمواد كيميائية معينة، تكون التأثيرات الجديرة بالاهتمام هي التأثيرات العامة. بعد امتصاص المواد الكيميائية من خلال الجلد ودخولها إلى النظام الدوراني، حيث أنها تنتقل في جميع أجزاء الجسم وتسبب الضرر لأعضاء الجسم وأنظمته (أنظر الوحدة 3).

3-2 التعرض عن طريق الاستنشاق

حدث في لندن في المملكة المتحدة، وذلك في ديسمبر/ كانون الأول من عام 1952م حادث مفاجيء وملحوظ ناتج عن الكيميائيات البيئية الموجودة في الهواء. توفي ما بين 3500-4000 شخصاً نتيجة لوجود مُركب الدخان والضباب (ضباب دخاني) والذي غطى المنطقة لمدة أربعة أيام لقد كانت الملوثات المعلقة بهذا الخليط ذات تركيز عالٍ وشملت دقائق معلقة وثاني أكسيد الكبريت. وبالنسبة للغالبية العظمى من الأشخاص الذين يتمتعون بصحة جيدة فقد انزعجوا قليلاً من الضباب، أما الذين يعانون أصلاً من مشاكل في الجهاز التنفسي والدوراني فقد تفاقمت أعراض مرضهم وكانت الوفيات أكبر ما يمكن لدى الأطفال وكبار السن.

تعتبر الرئة طريقة أخرى شائعة للتعرض، وبخلاف الجلد، لا تعتبر أنسجة الرئة حاجزاً واقياً جيداً للتعرض للمواد الكيميائية. ووظيفة الرئة الرئيسية تبادل الأكسجين ونقله من الهواء إلى الدم، ونقل ثاني أكسيد الكربون من الدم إلى الهواء. وتسمح أنسجة الرئة الرقيقة بمرور العديد من المواد الكيميائية بالإضافة للأكسجين إلى الدم. تصيب المواد الكيميائية التي تمر خلال سطح الرئة الأنسجة بالتلف وتتدخل بدورها الحيوي في التزود بالأكسجين، إضافة إلى ما تسببه من تلف عام.

وإذا لم تكن المواد الكيميائية في الهواء فإنها لن تستطيع الدخول إلى الرئتين، ولن تكون سامة عن طريق الاستنشاق. وتوجد الكيميائيات في الهواء بطريقتين، إما أن تكون دقائق صغيرة (مثل الغبار) أو غازات وأبخرة. ومعظم ملوثات الهواء التقليدية (ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون والأوزون والمواد المعلقة والرصاص) تؤثر مباشرة على الجهاز التنفسي (الرئتين) والجهاز الدوراني (القلب والأوعية الدموية). ويرتبط الانخفاض في أداء الرئتين وزيادة معدل الوفيات بالمستويات المتزايدة لثاني أكسيد الكبريت والدقائق المعلقة، كذلك يؤثر ثاني أكسيد النيتروجين والأوزون على الجهاز التنفسي ويؤدي التعرض الحاد إلى التهاب الرئتين وانخفاض أدائها. يرتبط أول أكسيد الكربون بهيموجلوبين الدم (يوجد في كريات الدم الحمراء التي تنقل الأكسجين في جميع أنحاء الجسم) وهو قادر على أن يحتل مكان الأوكسجين في الدم ويسبب ضرراً للقلب والجهاز العصبي. ويمنع الرصاص تكوين الهيموجلوبين في كريات الدم الحمراء، ويضعف عمل الكلى والكبد ويؤدي إلى تلف الجهاز العصبي.

تختلف الآثار الصحية للتعرض على الإنسان باختلاف مدة ومقدار التعرض، وكذلك الحالة الصحية للأفراد المعرضين للملوثات. وبعض الناس يكون تعرضهم أكثر خطراً إذا كان عن طريق الاستنشاق. فعلى سبيل المثال، الشباب وكبار السن، الذين يعانون مسبقاً من أمراض الجهاز التنفسي وأمراض القلب الرئوية، والأشخاص الذين يلعبون التمارين يكون تعرضهم أكثر.

قد يؤدي إطلاق الملوثات من الوقود والنار في الهواء وفي أماكن مغلقة إلى أضرار صحية خطيرة، وبخاصة نتيجة استنشاق الدخان. يشتمل الوقود الإحفوري على فحم وزيوت ويسبب التعرض المتزايد له تلوث الهواء بمواد مثل ثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون.

يحتوي وقود الكتلة الحيوية على خشب محترق ونشارة والمواد الخضرية مشتملة على العشب وأوراق ونفايات زراعية. وبشكل تقريبي يعتمد نصف سكان العالم وبشكل رئيسي

على وقود الكتلة الحيوية وذلك لاحتياجات الطاقة اليومية. وتحرق عادة في حرائق مفتوحة أو في أفران طينية أو معدنية، كما أن تركيبة الحرائق المفتوحة أو الأفران غير الفعالة، وعدم توفر المداخن وقلة التهوية كلها تؤدي إلى التعرض بواسطة الاستنشاق لملوثات الهواء غير المتجدد وكذلك التأثيرات السلبية على الصحة. وإن التأثيرات السلبية الرئيسية على الصحة تكون تنفسية، وفي المنازل التي تكون تهويتها قليلة، وبالأخص عندما يستخدم وقود الكتلة الحيوية مثل الفحم لتدفئة الغرف حيث ينجم خطر التسمم بأول أكسيد الكربون.
ويعتبر استنشاق المواد الكيميائية التي تكون على شكل غازات وأبخرة أو دقائق وامتصاصها خلال الرئة من أهم طرق التعرض في الصناعة. حيث أن العديد من المواد الكيميائية، والتي لا يمكن ذكرها، قد تكون موجودة في الهواء داخل أماكن العمل. وتكون الأخطار الصحية الناجمة عن التعرض المهني للملوثات الموجودة في الهواء أكثر في ورشات العمل الصغيرة، والتي تكون غير مشمولة بالتنظيمات الوطنية. وكمثال على ذلك، فإن إعادة تدوير وإصلاح بطاريات أكسيد الرصاص في المشاريع الصغيرة يؤدي إلى تعرض العمال بشكل كبير للرصاص الموجود في الهواء. كذلك ينتج عن استخدام الزئبق من قبل منجمي الذهب عند فصله عن الشوائب تسمم خطير بالزئبق وذلك بسبب تعريضه لدرجات حرارة عالية. ومن أجل التقليل من خطر التعرض عن طريق الاستنشاق، فإنه من الضروري توفير التهوية الجيدة، وارتداء الكمامات المحتوية على المرشحات المناسبة.

4-2 التعرض عن طريق الابتلاع

يعتبر الابتلاع الطريقة الرئيسية لدخول المركبات الكيميائية الموجودة في الأغذية والمشروبات. وتدخل المواد الكيميائية التي يتم هضمها إلى الجسم عن طريق امتصاصها في القناة الهضمية، وإذا لم يتم امتصاصها فإنها لا تؤدي إلى تلف هذه القنوات. ويحدث امتصاص المواد الكيميائية في أي مكان على طول القناة الهضمية، من الفم إلى المستقيم، لكن المكان الرئيسي للامتصاص هو الأمعاء الدقيقة لطبيعة عملها الفسيولوجي في امتصاص المغذيات (شكل رقم 10).

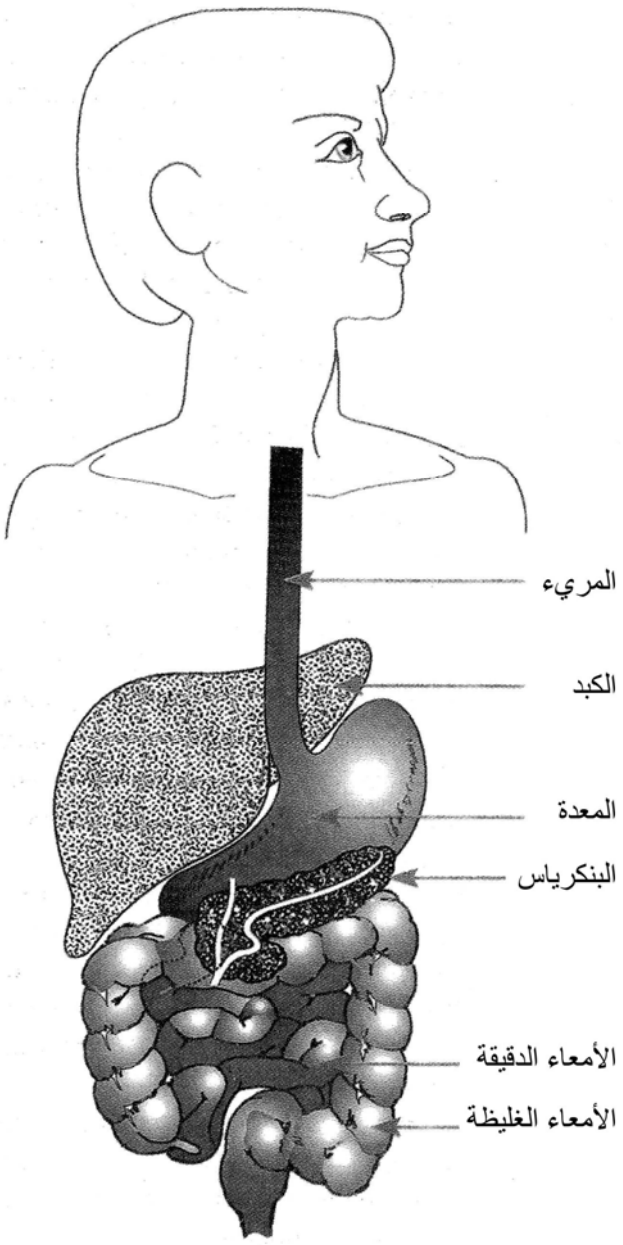
1-4-2 الغذاء

يسبب تناول الأغذية الملوثة بمستويات عالية من المواد الكيميائية الخطرة أضراراً جسيمة للصحة.
وتسبب مركبات الزئبق العضوي أوبئة تسمم كثيرة لدى السكان ويرجع ذلك إما لاستهلاك الأسماك أو تناول الخبز المحضر من القمح المرشوش بالمبيدات الفطرية التي تحتوي على زئبق قلوي. وإن لميثيل الزئبق (وهو أكثر أنواع الزئبق سُمية) تأثيرات خطيرة على الجهاز العصبي.

مثال آخر على التسمم نتيجة تناول الأغذية الملوثة، المرض الذي ظهر بشكل مفاجئ في إسبانيا في أيار عام 1981م وفي غضون أسابيع وصل المرض إلى القمة 20,000 شخصاً أصبحوا مرضى وتوفي أكثر من 340 شخصاً. وفي النهاية تم تشخيص المرض من خلال الأعراض، بأنه متلازمة الزيت السام وذلك للارتباط الكبير باستهلاك زيوت الطبخ الملوثة. بينما لم يتم تحديد عامل التسمم الحقيقي ولكن تم الإشتباه بمشتقات الانيلين في الزيوت.

2-4-2 المياه

لقد تم حصر الآلاف من المُركبات الكيميائية العضوية وغير العضوية في مياه الشرب في جميع أنحاء العالم، والعديد منها ذو تراكيز منخفضة. وهنالك القليل من المكونات الكيميائية في المياه والتي تؤدي إلى مشاكل صحية حادة باستثناء التلوث الكبير الذي قد يحدث، نتيجة حادث معين، لمصادر المياه، بالإضافة إلى ذلك فقد أظهرت التجارب أنه وفي بعض الحوادث فإنه في العادة تصبح المياه غير صالحة للشرب وذلك لمذاقها غير المقبول ورائحتها أو تغير لونها. وتزداد المشاكل المرتبطة بالمياه المحتوية على مواد كيميائية بشكل رئيسي نتيجة قدرتها على إحداث التأثيرات الصحية السلبية بعد فترات طويلة من التعرض. والجدير بالذكر أن الملوثات التي تكون لها خاصية التراكم السمي، هي المعادن والمواد المسرطنة.



شكل (10) الجهاز المَعِدي المِعَوي

أدى التعرض طويل الأمد للزرنيخ في بئر ماء في تايوان إلى ظهور 370 حالة إصابة بمرض القدم الأسود "BlackFoot" و428 حالة سرطان جلد. وإن مرض القدم الأسود مصطلح شائع لمرض الخلل الوعائي الذي ينتج عنه غرغرينا في الأطراف وبخاصة القدم. كما أن الأشخاص المتأثرين قد تعرضوا بشكل مزمن إلى مستويات منخفضة من الزرنيخ على مدى حياتهم، وبشكل متكرر لمدة تتراوح من 50-60 عاماً. وكنتيجة للتعرض التراكمي للزرنيخ ونتيجة لتناول مياه الشرب تتزايد الأعراض بتقدم العمر. ويظهر مرض القدم الأسود وسرطان الجلد بشكل خاص عند المراهقين والبالغين ولا يظهر عند الأطفال.

تم اكتشاف تلوث المياه الجوفية بالزرنيخ، (المصدر الرئيسي لمياه الشرب)، في ست مقاطعات في غرب البنغال (الهند) وفي العديد من القرى في بنغلادش والقرى المحاذية للهند. وإن المستويات التي تزيد 70 مرة عن المعايير الوطنية لمياه الشرب وهي 0.05 ملغم/لتر تم قياسها في كلتا الدولتين. مما أدى إلى حدوث تلوث طبيعي في المنطقة. بينما لم

يتم معرفة سبب انتشار المشكلة حتى الآن، وقُدر بأن 30 مليون شخصاً في العالم قد يكونوا معرضين للزرنيخ بمستويات مرتفعة. وفي غضون ذلك فإن ظهور سموم الزرنيخ المزمنة في الناس تراكمي ويشتمل على حوادث صبغ الجلد الأسود-البني غير الطبيعي، وتغلظ الكف وتغلظ قاعدة القدم وغرغرينا في الأطراف السفلية وسرطان الجلد. وفي غرب البنغال لوحدها تم تسجيل 200,000 حالة يعانون من أضرار جلدية نتيجة تعرضهم للزرنيخ. إن الأولوية في حل المشكلة تشمل تطوير مصادر مياه شرب بديلة، وتكنولوجيا جديدة لمعالجة المياه تكون مناسبة لإزالة الزرنيخ، ومعالجة المرضى وزيادة الوعي العام.
تم تسجيل تسممات حادة ناتجة عن شرب مياه الآبار التي تحتوي على مستوى مرتفع من النترات. إذ أن التأثير السمي للنترات في جسم الإنسان يعتمد على تحول النترات إلى مركب نترات سام. ويوجد هذا التحول وبشكل كبير عند الأطفال الرضع الذين تقل أعمارهم عن 3 شهور. لهذا السبب يتم اعتبار الأطفال الرضع كمجموعة خاصة معرضة للخطر. ويكمن الأثر البيولوجي الرئيسي للنترات على الإنسان في قدرتها على تحويل هيموجلوبين الدم الطبيعي الذي ينقل الأكسجين في الدم إلى ميثايموجلوبين والذي لا يستطيع نقل الأكسجين من الدم إلى الأنسجة والأعضاء.

5-2 التعرض متعدد السُبل

تـؤثر طريقـة التعـرض علـى سـمية المـادة الكيميائية .

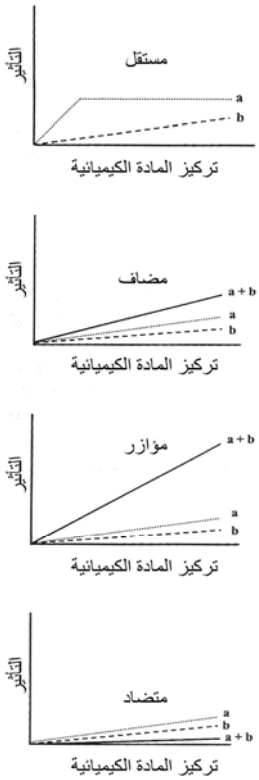
نادراً ما يتم التعرض للكيميائيات في النشاط الاعتيادي عن طريق الجلد أو الاستنشاق أو الفم. فعلى سبيل المثال، قد يأتي التعرض للرصاص من الطعام ومياه الشرب والهواء أو البيئة المنزلية.

أكبـر كميـة مـن الامتـصاص تـتم عـن طريـق التعـرض بالاستنشاق ثم التعرض عـن طريـق الجهـاز الهـضمي ثم عن طريـق الجلد .

القليل من الكيميائيات تكون متساوية السمية من خلال الطرق الثلاث للتعرض. وتم استثناء المبيد الحشري المسمى (باراثيون الفوسفات العضوي) لسهولة امتصاصه من خلال الجلد أو الرئة أو القنوات الهضمية وهو متساوي السمية من خلال الطرق الثلاث. وغالبية المواد الكيميائية لا تكون متساوية السمية من خلال الطرق الثلاث. وإذا تم إعطاء فيتامين (د) بجرعة كبيرة، فإن سميته تكون مرتفعة إذا ما تم إعطاؤه عن طريق الفم ولكنه لا يكون ساماً إذا كان التعرض عن طريق الجلد.
هنالك سببان لاختلاف السمية باختلاف طريقة التعرض. أحدهما يتعلق بكمية المادة الكيميائية الممتصة في الجسم والآخر الطريقة التي تسلكها المادة الكيميائية عندما تدخل الجهاز الدوراني. وأكثر طرق التعرض سمية هي الطريقة التي تسمح بامتصاص أكبر كمية من المادة الكيميائية. فالاستنشاق هو أكثر الطرق التي تسمح بامتصاص أكبر كمية من المادة الكيميائية يليه الامتصاص عن طريق القناة الهضمية ومن ثم الامتصاص عن طريق الجلد.
والطريق التي تسلكها المادة الكيميائية عند عبورها إلى الجهاز الدوراني هامة جداً لتحديد سمية المادة الكيميائية. والمواد الكيميائية الممتصة من خلال الجلد أو الرئتين تُرسل مباشرة إلى جميع أعضاء الجسم الأخرى قبل وصولها إلى الكبد. بينما تمر غالبية المواد الكيميائية الممتصة عن طريق الجهاز الهضمي، إلى الكبد قبل نقلها إلى جميع أجزاء الجسم. وهذا ضروري لأن الكبد هو العضو الرئيسي الذي يزيل سمية المواد الكيميائية من خلال عملية تدعى الاستحالة البيولوجية "Biotransformation". فالمواد الكيميائية الغريبة تتم معالجتها عن طريق الكبد. حيث تصبح المواد الكيميائية أقل سمية. فأحياناً قد يحول الكبد بعض المواد الكيميائية إلى مركبات أكثر سمية وبالتالي، على افتراض تساو الامتصاص من خلال طرق التعرض الثلاث، فإن المادة الكيميائية التي أُزيلت سميتها عن طريق الكبد ستكون أقل سمية إذا دخلت الجسم عن طريق الجهاز الهضمي مما لو دخلت عن طريق التعرض بالاستنشاق أو الجلد.

6-2 التعرض إلى المخاليط الكيميائية

عندما يتعرض الإنسان إلى مادتين أو أكثر من المواد الكيميائية فقد تتفاعل المواد مع بعضها البعض، وتتبدل سميتها. وتحدث التفاعلات الكيميائية بطرق مختلفة مثل تبادل الامتصاص أو التحول البيولوجي أو إفراز إحدى أو كل السمِّيات المتفاعلة. وهنالك أربعة أنواع من التأثيرات التي تحدثها المواد الكيميائية على بعضها البعض. وإعطاء مادتين كيميائيتين أو أكثر بشكل متزامن ينتج عنه تجاوب مستقل أو مضاف أو مؤازر أو متضاد. وهذه المصطلحات معرفة تالياً وموضحة بالشكل رقم (11).



شكل (11) التأثيرات التبادلية لخليط المواد الكيميائية

- **مستقل:** عندما ينتج عن المواد الكيميائية تأثيرات مختلفة أو تكون لها أنماط مختلفة الأداء، فإنها لا تتداخل مع بعضها البعض.
- **مضاف:** عندما يكون التأثير المركب الناتج عن مادتين كيميائيتين أو أكثر مساوياً لمجموع التأثيرات لكل مادة لوحدها. فعلى سبيل المثال تأثيرات مبيدات الفسفور العضوي في العادة مضافة. ورقمياً، يمكن تمثيلها بالمعادلة التالية (3+3=6).
- **مؤازر:** عندما تتصرف المواد الكيميائية بشكل مؤازر، فإن التأثير السمي الملحوظ أكثر من مجموع تأثير المواد الكيميائية كلاً على حده. إن تأثيرها أكثر من المضاف. فعلى سبيل المثال، تعمل ألياف الإسبست ودخان السجائر معاً على زيادة خطر سرطان الرئة أربعين مرة، لذا يعتبر خطر التعرض لمادة واحدة من هاتين المادتين أقل خطورة من التعرض للمادتين معاً. ويمكن توضيح ذلك بـ (3 **x** 3=9).
- **متضاد:** وهو معاكس للمؤازرة. إن تأثير المتضاد هو نتيجة تضاد المواد الكيميائية بتأثيرها المعاكس على المادة الأخرى؛ وبطريقة أخرى، فإن التعرض لمادتين كيميائيتين أو أكثر له تأثير أقل من تأثير كل مادة على حده. حيث أن تأثيرها أقل من الإضافة. فعلى سبيل المثال (3-2=1). وإن التأثيرات المتضادة في العادة تكون مرغوبة جداً في علم السموم وقاعدة للعديد من مضادات السموم. فعلى سبيل المثال يرتبط **(dimercaprol)** مع عناصر مختلفة مثل الزرنيخ والزئبق والرصاص، ويكون التأثير السمي أقل مما هو متوقع.

تتفاعل المواد الكيميائية مع بعضها البعض بطرق مختلفة.

هنالك آلية واحدة تسبب تأثيرات التآزر أو التضاد للمواد الكيميائية وهي في حال تداخل المادة الكيميائية مع الاستحالة البيولوجية لمادة كيميائية أخرى. وإذا عملت الاستحالة البيولوجية على تحويل المادة الكيميائية إلى شكل أكثر سمية، فإن إعاقة العملية عن طريق مادة كيميائية أخرى سيمنع هذا التحول وتكون السمية أقل مما هي متوقعة (المتضاد). وعلى العكس من ذلك، إذا نتج عن الاستحالة البيولوجية مُركب أقل سمية، فإن منع الاستحالة البيولوجية بواسطة مادة كيميائية أخرى سيمنع إزالة السمية ويكون التأثير السمي الناتج أكثر من الوضع الطبيعي (التآزر). هنالك القليل من المعلومات المتوفرة والتي تساعد على التنبؤ بالتأثيرات المحتملة لتفاعلات المواد الكيميائية الخطرة. ويتوقع في المناطق الأخرى التي تكون المعرفة فيها قليلة أن يوجد فيها مستوى منخفض من التعرض المستمر للمخاليط الكيميائية وتأثيرات الضغط المضاعف لهذه المناطق تشتمل على المواد الكيميائية والعوامل الفيزيائية مثل الحرارة والضوضاء والأمراض الموجودة مسبقاً أو الظروف الموجودة مثل سوء التغذية.

مراجعة

بعد قراءة هذا الفصل يجب أن تكون ملماً بأن:

- هنالك ثلاثة طرق للتعرض: الاختراق من خلال الجلد (البشرة) والامتصاص من خلال الرئتين (الاستنشاق) والامتصاص في الجهاز الهضمي (الابتلاع). وأكثر طرق التعرض المهني شيوعاً هي الاستنشاق ومن خلال الجلد.

- سببان لاختلاف السمية باختلاف طريقة التعرض. أحدهما يتعلق بكمية المادة الكيميائية الممتصة في الجسم والآخر الطريقة التي تسلكها المادة الكيميائية عندما تدخل الجهاز الدوراني.

- أكثر طرق التعرض سمية هي الطريقة التي تسمح بامتصاص أكبر كمية من المادة الكيميائية. فالإستنشاق هو أكثر الطرق التي تسمح بامتصاص أكبر كمية من المادة الكيميائية يليه الامتصاص عن طريق القناة الهضمية ومن ثم الامتصاص عن طريق الجلد.

- هنالك أربعة أنواع من التأثيرات التي تحدثها المواد الكيميائية على بعضها البعض. وإن إعطاء مادتين كيميائيتين أو أكثر بشكل متزامن ينتج عنه تجاوب مستقل أو مضاف أو مؤازر أو متضاد.
المستقل: عندما ينتج عن المواد الكيميائية تأثيرات مختلفة أو تكون لها أنماط مختلفة في الأداء، فإنها لا تتداخل مع بعضها البعض.
المضاف: عندما يكون التأثير المركب الناتج عن مادتين كيميائيتين أو أكثر مساوياً لمجموع التاثيرات لكل مادة وحدها.
المؤازر: عندما تتصرف المواد الكيميائية بشكل مؤازر، فإن التأثير السمي الملحوظ هو أكثر من مجموع تأثير المواد الكيميائية كُلاً على حده.
المتضاد: (وهي عكس المؤازرة) إن التأثير المتضاد يكون نتيجة تضاد المواد الكيميائية بتأثيرها المعاكس على المادة الأخرى، أي أن التعرض لمادتين كيميائيتين أو أكثر يكون له تأثير أقل من تأثير كل مادة على حدة.

3. التأثيرات السلبية للمواد الكيميائية على الإنسان

يبين هذا الفصل ما يلي:

- الآثار السلبية الأكثر شيوعاً والمرتبطة بالتعرض للمواد الكيميائية السامة.
- الفرق بين التعرض الحاد والتعرض المزمن.
- الفرق بين التأثيرات الموضعية والتأثيرات العامة.
- عملية إزالة السمية للمواد الكيميائية في الجسم.
- فسيولوجية أجهزة الجسم وتأثيرات المواد الكيميائية السامة على هذه الأجهزة.

1-3 مقدمة

يتعرض الإنسان إلى مجموعة من المواد الكيميائية سواءً أكانت على شكل دواء، أو مواد صناعية أو مواد كيميائية بيئية أو المواد الموجودة طبيعياً. ولجميع المواد المقدرة على إحداث التأثيرات الضارة والتي يشار لها بالآثار العكسية أو السامة. وتحدد الجرعة بالدرجة الأولى ما إذا كانت المادة سامة. فعلى سبيل المثال، تعتبر بعض المواد التي نتناولها وهي غير ضارة مثل السكر قاتلة أذا تم أخذ جرعة عالية منها وعلى العكس من ذلك فإن الجرعات القليلة لن يكون لها أثر سام (باستثناء المواد الكيميائية التي ليس لها حدود عتبية والتي ستناقش في الوحدة رقم 5). وحتى المواد الأساسية في أجسادنا، مثل الحديد، قد تكون سامة عندما تكون الجرعات عالية. وإذا لم يكن لدينا حديد كافٍ فإننا سنعاني من فقر الدم (الأنيميا)، ولكن زيادة الحديد تسبب عدم الكفاءة في أداء الكبد. ويمكن تعريف التأثير السلبي بأنه تغير غير طبيعي وغير مرغوب ومؤذٍ ينتج عن التعرض إلى المواد الكيميائية السامة. كما أن الأنواع المختلفة للتأثيرات السلبية المحتملة يصعب ذكرها هنا، ولكن حدة التأثير تتراوح ما بين طفح الجلد أو/و العمى إلى الإصابة بالسرطان مع وجود احتمالات أخرى. وبعض أعضاء الجسم تكون هدفاً لمواد كيميائية معينة أو أن هنالك عدداً من أجزاء الجسم قد تتأثر بشكل مباشر. إن التأثيرات السلبية (الضارة) الناتجة لا تعتمد على نوع المادة الكيميائية التي يتم التعرض لها ولكنها تعتمد على نوع التعرض ومستواه.

وهنالك ثلاثة أنواع من التعرض هي الحاد والمزمن وشبه المزمن. ويُعرف التعرض الحاد بأنه التعرض للمواد الكيميائية لفترة تقل عن 24 ساعة. وعادة ما يشار له بالجرعة الواحدة من المادة الكيميائية. والتعرض طويل الأمد يُعرف بالتعرض المزمن وينتج عن التعرض المتكرر أو المستمر للمادة الكيميائية ولفترة طويلة وينتج عن التعرض المزمن تأثيرات سلبية (ضارة) مختلفة تماماً عن التأثيرات الناجمة عن التعرض الحاد. والتعرض شبه المزمن هو أكبر من التعرض الحاد وأقل من التعرض المزمن. ويمكن استخدام التعابير "حاد" و"مزمن" لوصف التأثيرات السلبية (الضارة). وبعض المواد الكيميائية تؤدي إلى حدوث تأثيرات سلبية (ضارة) حادة بعد فترة وجيزة من التعرض، بينما ينتج عن مواد كيميائية أخرى تأثيرات مزمنة، مثل السرطان، يمكن أن لا يظهر إلا بعد 10-20 سنة من التعرض. ويختلف التعرض من جرعات قليلة جداً إلى جرعات عالية. وقد يكون التعرض لمادة كيميائية واحدة أو إلى عدد من المواد الكيميائية.

هنالك العديد من المصطلحات التي تصف التأثيرات السلبية (الضارة)، أو سمية المواد الكيميائية. وبشكل عام يمكن تعريف السمية بأنها المقدرة على إحداث أثر ضار للكائن الحي. فالمواد ذات السمية العالية تسبب تلف الكائنات الحية حتى ولو أُعطيت بكميات قليلة (مثل سُميات التسمم السَّجقي) أما المواد التي تكون ذات سمية منخفضة فلن ينتج عنها تأثير سلبي (ضار) إلا إذا كانت الكمية كبيرة (مثل كلوريد الصوديوم المعروف بالملح). وبناءً عليه فإنه لا يمكن تحديد السمية دون الرجوع إلى كمية (جرعة) المادة الكيميائية التي تم التعرض لها، وطريقة وصول هذه الكمية إلينا (مثل الاستنشاق، الابتلاع، الجلد) ومدة التعرض (مثل جرعة واحدة، جرعات متكررة) ونوع وحدة التأثيرات السلبية (الضارة) والوقت المطلوب لإحداث هذه التأثيرات.

إن الاستحالة البيولوجية وظيفة مهمة جداً للكبد والتي من خلالها يتم إزالة السمية من المواد الكيميائية وبالتالي يسهل طرحها مع البول.

تدخل المواد الكيميائية إلى أجسامنا بثلاثة طرق مختلفة تم التطرق إليها في الوحدة السابقة. سواء دخلت المادة إلى الجسم عن طريق الجهاز الهضمي أو الجهاز التنفسي أو الامتصاص من خلال الجلد، فإنها تسبب تأثيرات سلبية (ضارة) مختلفة. وإذا كان تأثير المادة الكيميائية مقتصراً على منطقة التلامس، فإنه يعرف بالتأثير الموضعي "Local Effect"، وإذا تم امتصاص المادة إلى الدورة الدموية فسيتم نقلها إلى أعضاء الجسم المختلفة وتسبب تأثيراً شاملاً "Systemic Effect".

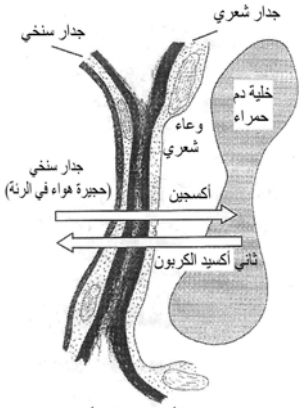
وليس من الضروري أن ينتج عن امتصاص المواد الكيميائية في الجسم تأثيرات سلبية (ضارة). حيث إن الجسم مزود بآليات متعددة لحماية نفسه من المواد الضارة. فبعض المواد يتم طرحها من الجسم دون إحداث أي تأثير على الأعضاء. وإن المواد التي يمتصها الجسم وتكون دهنية (لا تذوب في الماء، وتذوب في الدهن) يكون طرحها من الجسم أكثر صعوبة. وهذه المواد تخضع لعمليات إزالة التسمم في الكبد والتي تسمى الاستحالة البيولوجية والتي بدورها تحول المادة وتشكل المؤيضات. وإن هذه المؤيضات مشابهة للمادة الأصلية ولكنها قابلة للذوبان في الماء بشكل أكبر وبالتالي فإنه من السهل طرحها. وبوجه عام فإن سميتها أقل بكثير من المواد الأصلية. وفي بعض الأوقات تكون المواد المؤيضة أكثر سمية من المواد الأصلية.

وإذا نتج عن الجرعة الكيميائية تأثيرات سلبية (ضارة) فإن الضرر قد يكون قابلاً للانعكاس أو غير قابل للانعكاس. وتتميز التأثيرات القابلة للانعكاس بحقيقة هي أن التغير من البنية الطبيعية أو الوظيفة المحرضة من قبل المادة الكيميائية يعود إلى الحدود الطبيعية عند توقف التعرض. أما الضرر الناجم عن التأثيرات غير القابلة للانعكاس فإنه يبقى أو يزداد حتى لو توقف التعرض. فعلى سبيل المثال، يسبب التعرض للمذيبات التهاب الجلد والصداع أو الدوار، وهذه الأعراض تختفي بانقطاع التعرض. وتسمى هذه التغيرات إصابات منعكسة. وهنالك تأثيرات معينة للمواد الكيميائية السامة تكون غير قابلة للانعكاس، وتشتمل على الأمراض العصبية والسرطان وتليف الكبد أو انتفاخ حويصلات الرئة.
وستناقش هذه الوحدة التأثيرات السلبية (الضارة) لبعض المواد الكيميائية على بعض أجهزة الجسم الرئيسة إضافة إلى دور المسرطنات.

2-3 التأثيرات على الجهاز التنفسي

الاستنشاق أكثر الطرق أهمية للتعرض للمواد الكيميائية، وبخاصة في العمل. والمواد التي تدخل إلى الرئة إما أن تؤدي إلى تأثير مباشر على خلايا الرئة أو يتم امتصاصها من خلال الجهاز الدوراني. ومن الضروري التمييز بين التسمم عن طريق استنشاق السموميات "Inhalation Toxicology" وهي ببساطة طريقة التعرض، وبين التسمم عن طريق السموميات التنفسية "Respiratory Toxicology" وهي استجابة الرئة للمواد الكيميائية السامة. ويختلف التعرض بواسطة الاستنشاق عن التعرض بواسطة الجهاز الهضمي وذلك لأن المواد الكيميائية التي تدخل الرئتين عن طريق الاستنشاق يتم امتصاصها في الدم وتمر إلى القلب ثم تتوزع إلى الأعضاء الأخرى دون المرور بعملية إزالة السمية في الكبد. وذلك يختلف في الجهاز الهضمي حيث يتم إرسال المواد الكيميائية الممتصة بواسطة الدم إلى الكبد مباشرة حيث يتم تحويلها أيضياً إلى مركبات أقل سمية.

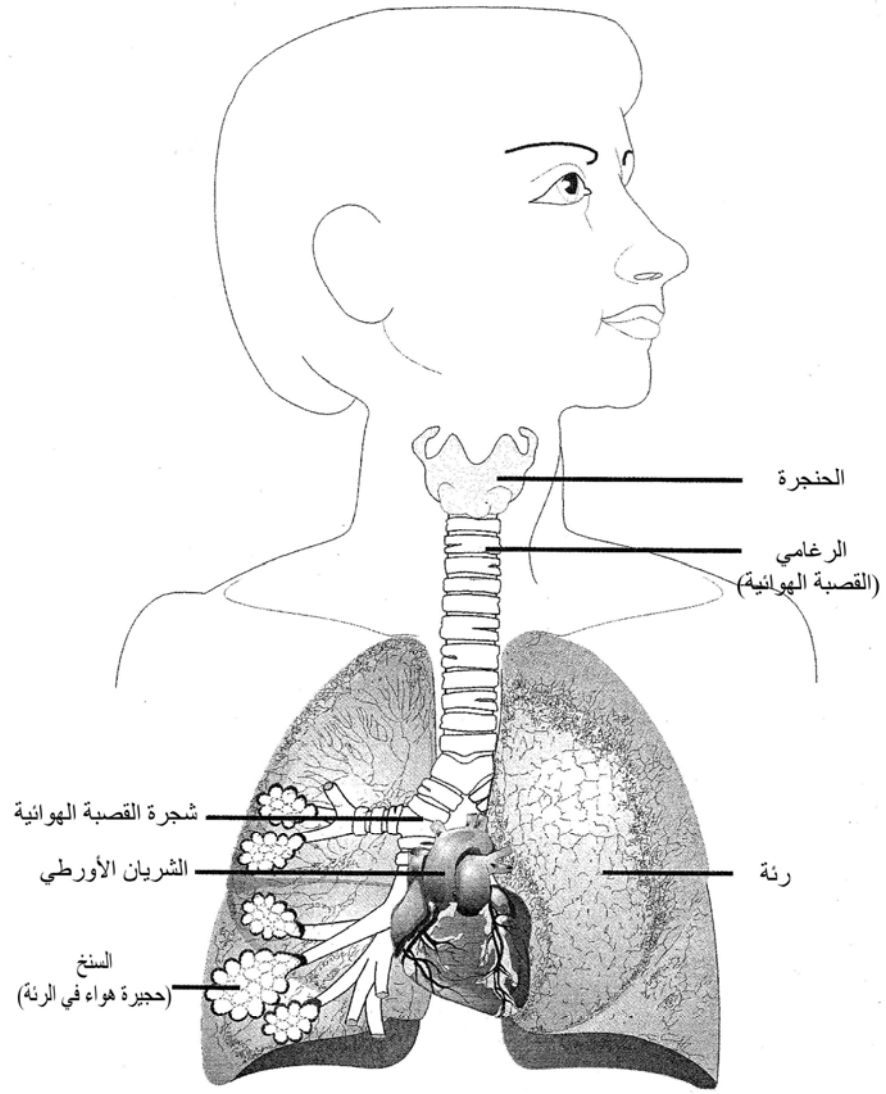
1-2-3 كيف يعمل الجهاز التنفسي



شكل (12) تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين السنخ والشعيرة

الغاية من الجهاز التنفسي تبادل الأكسجين وثاني أكسيد الكربون بين الأسناخ (وهي عبارة عن أكياس هوائية دقيقة في الرئة) وبين الدم.
ويتكون الجهاز التنفسي من الأنف والحنجرة والرغامي والقصبات الهوائية والرئتين والجَنَبة الرِّئوية (غشاء الجنب) (شكل رقم 13). حيث يدخل الهواء من خلال الأنف أو الفم ويمر من خلال الحنجرة إلى الرغامي والذي ينقسم إلى القصبات الهوائية اليسرى واليمنى، والتي تصل إلى الرئتين، فتتمدد وتنقبض الرئتان مع حركة القفص الصدري والحجاب الحاجز.
تتفرع القصبات الهوائية على شكل يشبه الشجرة وتسمى أدق الفروع بالقصيبات (شعيبات هوائية). وفي نهاية الشعيبات الهوائية يوجد العديد من أكياس الهواء الدقيقة تسمى الأسناخ، والتي يتم خلالها تبادل الهواء والغازات مع الدم من خلال الجدران السنخية.
ويتم امتصاص الأكسجين الذي نستنشقه من خلال كريات الدم الحمراء في الأوعية الدموية الموجودة في الجدار السِنخي، حيث يتم النقل عن طريقها، إلى القلب، ومن ثم إلى جميع أجزاء الجسم (شكل رقم 12).
والدم المستخدم (الدم الوريدي) والذي يحتوي على كمية كبيرة من ثاني أكسيد الكربون وكمية قليلة من الأكسجين، يعود من خلال الأوعية الرئوية، ويمر من خلال الجدران السنخية الدقيقة للتخلص من ثاني أكسيد الكربون من خلال الهواء الذي يخرج عن طريق الزفير.
وتكون الرئة على اتصال مباشر وثابت مع البيئة الخارجية فهي معرضة للعديد من الكائنات المعدية بالإضافة إلى الأعداد المتزايدة من الدقائق الخطرة المحتملة والغازات. ولدى الرئتين آليات دفاع، والتي تحت معظم الظروف تحميها بنجاح من التأثيرات السلبية (الضارة). وبشكل رئيسي تتم حماية الرئتين من المواد الخطرة بإزالة المواد من الجهاز التنفسي قبل أن تكون قادرة على إحداث الأضرار.
وجميع الممرات التنفسية من الأنف وحتى النهايات الشعيبية، تبقى رطبة من خلال طبقة من المخاط تغطي السطح كله. يعمل المخاط بالإضافة إلى إبقاء الأسطح رطبة على التقاط الدقائق الصغيرة من الهواء ويمنع معظمها من الوصول إلى السنخ. ثم يتم التخلص من المخاط في القناة التنفسية عن طريق الأهداب (وهي تراكيب صغيرة تشبه الشعر) الموجودة على سطح ممرات الجهاز التنفسي. وتقوم الأهداب بالتحرك باستمرار فتحرك المخاط ببطء خارج الرئتين.

بعد ذلك يتم ابتلاع المخاط والدقائق الموجودة عليه أو يتم سعاله للخارج. ويُعرف ذلك بالتنظيف المخاطي (الهدبي) "mucociliary clearance".
كذلك يتم حماية الجهاز التنفسي بواسطة جهاز المناعة والذي سيتم مناقشته بتفصيل أكثر في القسم 3-6.



شكل (13) الجهاز التنفسي

2-2-3 كيف تؤثر المواد الكيميائية على الجهاز التنفسي

للمواد الكيميائية الممتصة عن طريق الاستنشاق صفات معنية. فهي إما أن تكون:
(أ) غازات مثل ثاني أكسيد الكربون.
(ب) أبخرة مثل الطور الغازي للمادة التي تكون صلبة في طبيعتها أو سائلة مثل الزئبق.
(ج) الضبائب (الأيروسول) مثل الدقائق الصغيرة المعلقة في الجو.
فقد يتم استنشاق الغازات والأبخرة مباشرة في الرئتين أو قد يتم امتصاصها على سطح الضبائب وبعد ذلك يتم استنشاقها. فعلى سبيل المثال، هنالك العديد من العناصر مثل (الخارصين أو الزرنيخ) والتي تنطلق نتيجة حرق الفحم وتتركز على سطح الضبائب.

وإذا كانت الغازات والأبخرة قابلة للذوبان في الماء، بالتالي يمكن أن تذوب في المخاط الذي يغطي القناة التنفسية مسبباً تهيجات موضعية وقد لا تصل إلى مجاري الهواء السفلية والأسناخ (مثل ثاني أكسيد الكبريت). وبالنسبة للضبائب، فإن حجم الدقائق عامل هام لتحديد المسافة التي ستمر من خلالها الدقائق في القناة التنفسية، وبالتالي أي أجزاء الجهاز التنفسي ستؤثر فيه.

عند الشهيق يتم ترسب الدقائق الملتصقة بالضبائب على طول القناة التنفسية. وحيثما تترسب هذه الدقائق فإنها تؤثر وتعمل أضراراً في الأنسجة، وتعتمد على مقدار امتصاص المواد السامة في الجهاز الدوراني العام، وقدرة الرئتين على التخلص من هذه الدقائق. فكلما قل حجم الدقائق كلما زادت مسافة دخولها إلى القناة التنفسية، فالضبوب الذي يتراوح حجمه من 5-30 ميكروميتر يتم ترسيبه بشكل رئيسي في أعلى القناة التنفسية (الأنف والحنجرة). ويزداد عمق الاختراق بصغر حجم الرذاذ، أما الرذاذ الذي يتراوح حجمه من 1-5 ميكروميتر، فإنه يترسب في القنوات السفلية من الجهاز التنفسي (الرغامي والقصبات الهوائية والشعيبات الهوائية). يتم تنظيف الدقائق المترسبة من خلال التنظيف المخاطي (الهدبي) الذي ذُكر في القسم 3-2-1. كما أن الدقائق التي يتم التخلص منها بهذه الطريقة يتم ابتلاعها أو امتصاصها في القنوات المعدية المعوية. وأما الدقائق التي يكون حجمها 1 ميكروميتر أو أقل فتستطيع الوصول إلى الأسناخ. حيث يتم امتصاص الدقائق الموجودة في الأسناخ عن طريق الدم أو يتم التخلص منها بواسطة خلايا المناعة (البلاعم) التي تهضم الدقائق ويوضح (شكل رقم 14) نقل الدقائق عبر القناة التنفسية.

شكل (14) نقل الجسميات خلال قناة التنفس

يستطيع الجهاز التنفسي بطرق عديدة الاستجابة إلى الغازات الخطرة والدقائق غير المزالة عن طريق التنظيف المخاطي (الهدبي) وخلايا المناعة. والتغيرات الملحوظة في الرئة نتيجة استنشاق الغازات الخطرة أو الدقائق تعتمد على تركيز المادة المستنشقة ومدة التعرض وطبيعة المادة الكيميائية والجدول (12) يبين قائمة المواد السامة الموجودة في الهواء وتأثيرها على صحة الإنسان.

جدول رقم 12. بعض السُميات الموجودة في الهواء وتأثيرها على صحة الإنسان

المادة الكيميائية	التأثير
أكسيد النيتريك	تهيج العيون، خفض كفاءة نشاط الجسم
الألدهايد	تهيج العيون
الرصاص	تأثير على الجهاز العصبي المركزي
الدقائق المعلقة	تهيج في شعبتا القصبة الهوائية
ثاني أكسيد الكبريت وحمض الكبريتيك	تهيج في شعبتا القصبة الهوائية، تشنج شعبي (قصبي)، قابلية العدوى التنفسية
الهيدروكربونات الحلقية المتعددة الحلقات	سرطان الرئة
ثاني أكسيد النيتروجين	نوبات الربو
الأوزون	نوبات الربو
أول أكسيد الكربون	تقليل قدرة الدم على حمل الأكسجين

التغيرات الحادة للرئة تشمل التضيق القصبي والوَذْمة التنفسية وضعف آليات الدفاع مثل التنظيف المخاطي (الهدبي). والتضيق القصبي هو ضيق المجرى التنفسي مسبباً الأزيز. كما يتسبب التعرض الحاد لثاني أكسيد الكبريت لمدة 3 دقائق على الأقل إلى التضيق القصبي والوَذْمة (مصطلح عام لتجمع السوائل مسبباً التورم). وإن الوَذْمة الرئوية أو الوَذْمة للمجاري التنفسية هو امتلاء الأسناخ والأنسجة المحيطة بها بكميات كبيرة من السوائل وسبب ذلك المواد الضارة مثل الكلور وثاني أكسيد الكبريت. وكلاً من هذه الغازت قد تتلف الأوعية الدموية (الشعيرات) في الرئتين مسببة رشح السوائل وملء الأسناخ بها. والحالات الصعبة للوَذْمة الرئوية تكون قاتلة. إن الضعف في التنظيف المخاطي يسمح للمواد الخطرة بالبقاء داخل الرئة لفترات طويلة، وهذا التعرض طويل الأمد يزيد من خطر التأثيرات السلبية (الضارة). ويعتبر ضعف آلية الدفاع هذه واحد من العديد من التأثيرات السمية عند تدخين السجائر. ويسبب الأوزون وحمض الكبريتيك تأثيرات مشابهة. وعلى الرغم من دفاعات الرئة إلا أن الإصابة المزمنة تحدث عندما لا تستطيع عمليات الإصلاح والعمليات الدفاعية منع أو إصلاح التلف الناتج عن التعرض الحاد للمواد السامة ذات التركيز العالي أو تكرار التعرض المزمن لمستويات منخفضة من المادة وتشمل أنواع التلف المزمن أمراضاً منها السرطان والتليف وأمراض أخرى مثل النُفاخ والتهاب القصبات المزمن.

3-2-3 الأمراض التنفسية الناجمة عن المواد الكيميائية

على الرغم من تغطية موضوع السرطان بشكل كامل في القسم 3-7، إلاّ أنه من الضروري مناقشة المواد الكيميائية التي تؤدي إلى تطور سرطان الرئة. ففي الدول الصناعية، يكون سرطان الرئة أحد الأسباب الهامة المؤدية للوفيات. ومعظم الوفيات الناجمة عن سرطان الرئة تتركز ضمن الفئة العمرية 40-70 سنة. ويعتبر التدخين السبب الرئيسي الأول لسرطان الرئة و80% من حالات سرطان الرئة هي بين المدخنين. وكذلك التعرض لمواد كيميائية معينة في مواقع العمل مرتبط وبشكل واضح بزيادة سرطان الرئة. كما أن التزايد في حالات سرطان الرئة يعاني منه العمال المعرضون لمواد كيميائية مثل النيكل والكروم والإسبست.

ويستخدم الإسبست على نطاق واسع في الصناعات الإنشائية وتشمل الاستخدامات صفائح الإسمنت الإسبستية والأنابيب والمواد العازلة ومركبات التوصيل وبلاط الأرضيات والأسقف. وإن تلوث الهواء داخل المباني وبالأخص المدارس أمر ذو أهمية كبيرة في العديد من الدول لذلك تم منع استخدام الإسبست في المباني أو أُمر بإزالة مثل هذه المباني.

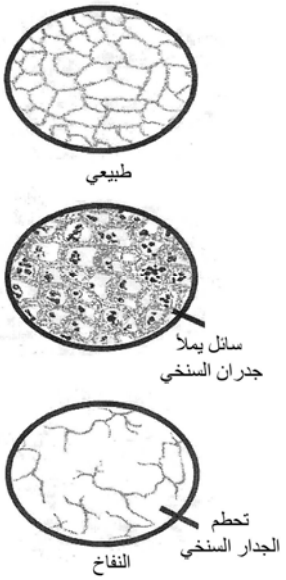
كما تشمل أمراض الجهاز التنفسي نتيجة التعرض للإسبست أمراض (داء الإسبست وسرطان الرئة وورم المتوسطة). وترتبط سرطانات أخرى بالتعرض للإسبست منها (سرطان الحنجرة وسرطان البلعوم وسرطان المريء وسرطان المعدة وسرطان القولون المستقيم وربما سرطان البنكرياس).

وداء الإسبست يعني التطور البطيء لتليف الرئة الناجم عن استنشاق تراكيز عالية من غبار الإسبست أو التعرض طويل الأمد لهذا الغبار. ويعتمد داء الإسبست على المدة الزمنية من بدء التعرض وشدته أيضاً. ويرتبط داء الإسبست في الغالب بسرطان الرئة وخاصة بين المدخنين.

إن مرض ورم المتوسطة نوع نادر من سرطان الجَنَبَة. وتزايد حالات الإصابة بسرطان الجَنَبَة متعلق باستنشاق ألياف الإسبست في البيئة المهنية، وعلى الرغم من وجود أعراض مبدئية قليلة، إلا أن ورم المتوسطة يتم تشخيصه كمرض عضال، ومقدار الوقت بين التعرض الأول للإسبست والعلامات السريرية للأورام تتراوح ما بين 20-50 سنة لهذا المرض. لوحظ تزايد معدل حدوث ورم المتوسطة لدى السكان غير العاملين والذين يعيشون في نفس المنازل التي يعيش فيها عمال الإسبست أو بالقرب من مصادر إنبعاث قوي للاسبست. وحتى إذا لم يتم استخدام الإسبست لمدة طويلة لغايات العزل فإنه يبقى ذو شأن يثير القلق وذلك لطول الفترة الزمنية بين التعرض والتأثيرات وكذلك بسبب الخطر الموجود في البنايات والتي استخدم فيها الإسبست كعازل مسبقاً.

ويرتبط النُّفاخ بشكل واضح بكثرة التدخين ويحدث عادة مع التهاب القصبات المزمن. كما أن النُّفاخ مرض شائع يتميز بتحطيم جدران الأسناخ. وهذه التغيرات تتقدم ببطء على مدى سنوات عديدة مسببة الأزيز أثناء التنفس والسعال وتناقص القدرة على تبادل الغازات مما يقلل من مقدرة الرئتين على تزويد الدم بالأكسجين والتخلص من ثاني أكسيد الكربون.

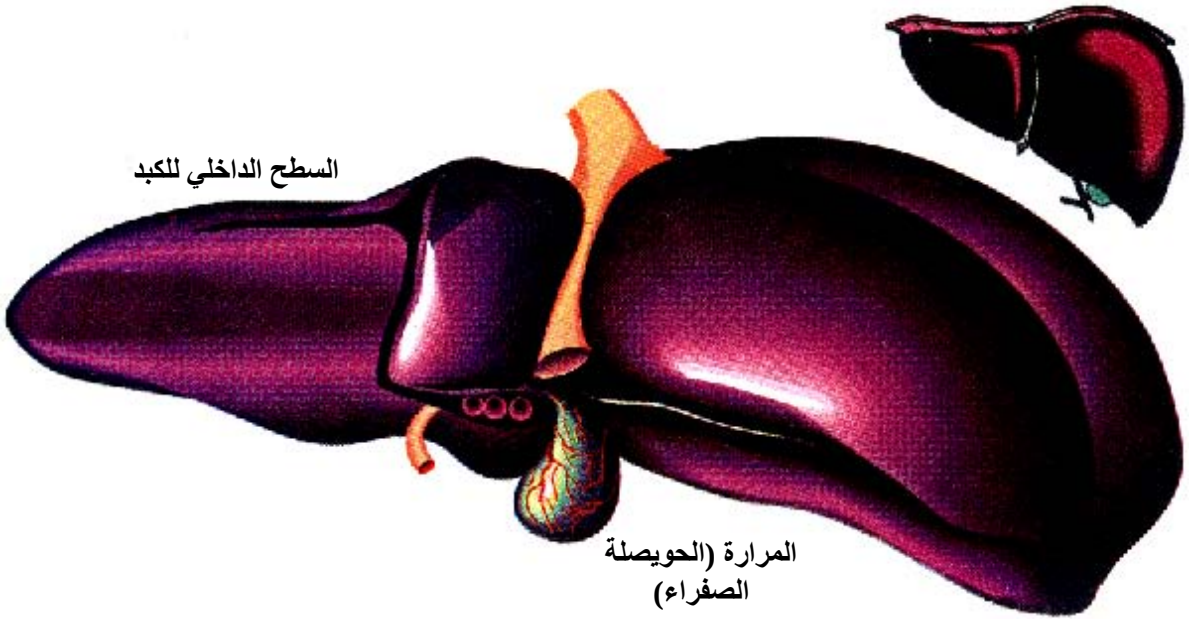
وسبب التهاب القصبات هو الإفراز المفرط للمخاط في القصبات والشعيبات الرئوية. وإن التهيج المزمن الناتج عن استنشاق مواد مثل تلك التي تلوث الهواء يؤدي إلى الإصابة بالتهاب القصبات. هناك بعض الأمثلة على الأنسجة الطبيعية والتالفة للرئة موضحة في (شكل رقم 15).



شكل (15) أمثلة على نسيج رئة طبيعي ونسيج رئة تالف

3-3 التأثيرات على الكبد

للكبد العديد من الوظائف المختلفة (الشكل رقم 16). فالكبد معني بالهضم والأيض وتركيب المغذيات المطلوبة للجسم. ويلعب دوراً هاماً جداً في إزالة سمية العقاقير والمواد الكيميائية. وهذا ليس مدهشاً لأن الدور الرئيسي للكبد هو استقبال ومعالجة المواد الكيميائية الممتصة من القناة المعدية والمعوية قبل أن تنتشر في الأنسجة الأخرى. وبعد امتصاص المغذيات والمواد الكيميائية في القناة الهضمية، فإن الدم الغني بالمغذيات يمر مباشرة إلى الكبد. فتزيل خلايا الكبد الأحماض الأمينية (كتل بناء البروتين) والدهون والجلوكوز والمواد السامة من الدم بهدف معالجتها. والكبد هو الموقع الرئيسي لأيض الدهون ويخزن الجلايكوجين، الذي يتحول إلى طاقة عند الحاجة. كذلك فإن المرارة الصفراء الموجودة في الكبد تحتوي على الكوليسترول والبروتينات مثل الزلاليات وبروتينات التجلط.



شكل (16) الكبد

إن خلية الكبد (Hepatocyte)، هي المكون البنائي الرئيسي للكبد، وهي شبيهة بالمصنع (يعمل على صنع المركبات الكيميائية)؛ كذلك يعتبر كمخزن (يخزن الجلايكوجين والحديد وفيتامينات معينة)، ويعتبر كمنشأة للتخلص من الفضلات (حيث تطرح الصفراء واليوريا ومختلف ما ينتج عن عملية إزالة التسمم)؛ وأخيراً يعتبر منشأ الطاقة (حيث ينتج حرارة كبيرة خلال تحليل الجزيئات المعقدة).

ويختلف الكبد عن العديد من أعضاء الجسم، حيث يتم حماية الكبد من التلف الدائم بطريقتين. الأولى استمرار عمل الكبد بشكل طبيعي حتى بعد تلف جزء كبير منه. ثانياً، يستطيع الكبد أن يُجدد نفسه بسرعة وبسهولة. ومع هذا فإن ذلك لا يعني أن الكبد لا يمكن إتلافه بشكل دائم بسبب المواد الكيميائية.

قد يكون سبب تلف الكبد العديد من المواد الكيميائية (سموم الكبد Hepatotoxicants) ويتم تمييزها بطريقتين: تجمع الدهون أو موت خلايا الكبد (الجدول رقم 13). ويعتبر تجمع الدهون في الكبد (تَنكُّس دُهني Steatosis) العلامة الشائعة لتسمم الكبد وينتج عن المواد الكيميائية السامة، بما فيها الكحول. مع ذلك، وبشرط عدم موت الخلايا، فلا يؤثر التَنكُّس الدُهني على عمل الكبد. وينتج النَّخر الكبدي (موت خلايا الكبد) عن التعرض إلى العديد من العوامل الكيميائية، التي تشمل الأفلاتوكسين ورابع كلوريد الكربون والكلوروفورم وحمض التنيك. وفي حالة تليف الكبد وهي حالة معروفة، إذ يتلف عدد كبير من خلايا الكبد وتتبدل بأنسجة ندب دائمة. وسبب تليف الكبد الإفراط في شرب الكحول والتهاب الكبد الحموي أو العوامل الكيميائية التي تهاجم خلايا الكبد. وأورام الكبد التي يمكن أن تكون حميدة أو خبيثة مرتبطة بالتعرض للزرنيخ و ثنائي الفينيل المعالج بالكلور (Polychorinated biphenyls) (PCBs) والثوريوم وبشكل خاص كلوريد الفينيل، مع العلم أنه إذا قتل الكثير من خلايا الكبد، فإن الكبد لا يستطيع تبديلها. ويؤدي ذلك في النهاية إلى فشل الكبد وبالتالي الموت.

إن سموم الكبد تتلف الكبد بطريقتين:

- **تَـنكُّس دُهنـي: تجمع الدهون.**
- **النَّخـر: مـوت خلايا الكبد.**

جدول رقم 13. أمثلة على المواد الكيميائية التي تعمل على تسمم الكبد الحاد

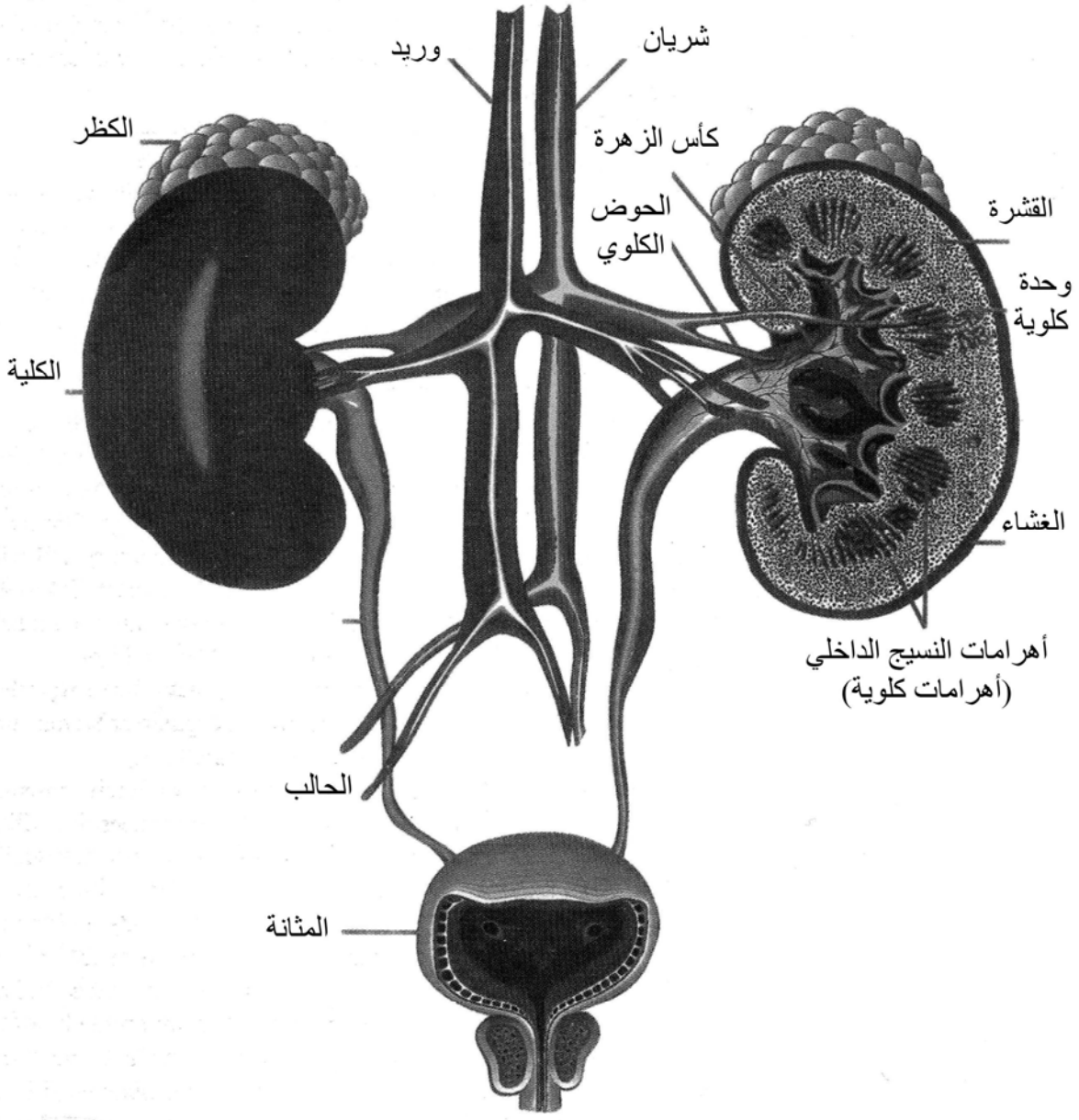
المادة الكيميائية		النَّخر (necrosis)	تَنكُّس دُهني (steatosis)
كحول أليلي	Allyl alcohol	+	
فورمات أليلي	Allyl formate		+
أفلاتوكسين	Aflatoxin	+	+
بريليوم	Beryllium	+	
بروموبنزين	Bromobenzene	+	
برومو ثلاثي كلورو ميثان	Bromotrichloromethane	+	+
رابع كلوريد الكربون	Carbon tetrachioride	+	+
سيريوم	Cerium		+
كلوروفورم	Chloroform	+	+
أكسيمايد حلقي	Cycloheximide		+
ثنائي ميثيل أمينوزو بنزين	Dimethylaminoazobenzene	+	+
ثنائي ميثيل نايتروزماين	Dimethylnitrosamine	+	+
ايثانول	Ethanol		+
ايثانونين	Ethionine		+
كلاكتوزماين	Galactosamine	+	+
مايثرومايسين	Mithramycin	+	
فوسفور	Phosphorus	+	+
بيرومايسين	Puromycin		+
البيرولزداين شبه القلوي	Pyrrolizidine alkaloids	+	+
حمض التنيك	Tannic acid	+	+
رباعي كلورو إيثان	Tetrachoroethane	+	+
اسيتاميد كبريتي	Thioacetamide	+	
ثلاثي كلورو ايثيلين	Trichloroethylene	+	+
يوريثان	Urethane	+	

بينت الدراسات الكثيرة بأن كلوريد الفينيل يسبب نوعاً نادراً من سرطان الكبد يدعى الغرن الوعائي (Angiosarcoma). وعلى الرغم من ذلك، فإن الغالبية العظمى من سرطانات الكبد تكون ناتجة عن انتقال خلايا السرطان من الأجزاء الأخرى من الجسم (النَّقيلة Metastasis) والأكثر شيوعاً سرطان الثدي والرئة والقولون، وهذه التحولات ناتجة عن الأذى الذي تسببه المواد الكيميائية.
لمزيد من المعلومات عن السرطان، انظر القسم 3-7.

4-3 التأثيرات على الكلى

الكليتان عبارة عن عضوين لونهما (بني - ارجواني) بشكل الفاصولياء، يقعان خلف التجويف البطني، واحدة على كل طرف من العمود الفقري. والكلية عضو معقد. فبالإضافة إلى تكوين البول لتخليص الجسم من الفضلات، تلعب الكلية دوراً هاماً في تنظيم حجم محتويات سوائل الجسم. وبالنسبة إلى الماء والكَهارل (electrolytes) الموجودة في الجسم مثل (الكالسيوم والبوتاسيوم والصوديوم) فإن التوازن بين الداخل والخارج يتم عن طريق الكليتين كذلك فإن الكلية تعتبر موقعاً كبيراً لتكوين الهرمونات وتكوين الأمونيا والجلوكوز وتفعيل فيتامين (د). وتؤثر الأضرار السمية على الكلية في أي أو كل من هذه الوظائف. وعلى الرغم من ذلك، ففي العادة يكون التأثير الذي يلي التعرض لمادة كيميائية سامة، التقليل من إزالة الفضلات.
الوحدة الوظيفية للكلية (الشكل رقم 17) يطلق عليها كُليون (وحدة كُلوية) "nephron". وكل كلية تحتوي على أكثر من مليون كُليون. ولا تستطيع الكلية تجديد الكُليونات. ولكل كُليون ثلاثة مكونات (أ) مخزون دم كبير (ب) كبيبه (مزودة بشعيرات كبيبية) تعمل على إزالة كميات كبيرة من السوائل والمواد الذائبة من الدم. (جـ) نُبيب طويل حيث يتم تحول السائل المرشح إلى بول. ويصل إلى الكلية ما يقارب 21% من الدم عن طريق الشريان الكلوي والذي يدخل عبر أوعية دموية أصغر تسمى شعيرات كبيبية. وتوجد الشعيرات الكبيبية في الكبيبات حيث يتم بشكل انتقائي إزالة كميات كبيرة من السوائل والجزيئات الصغيرة من الدم. إذ تقوم النبيبات بإعادة

امتصاص معظم السوائل والمواد التي أزيلت عن طريق الكبيبات لتعيدها إلى الدم لحاجة الجسم لها. وعلى أية حال، فإن المواد غير المرغوبة والسوائل الزائدة التي تكون في البول تتجمع في النبيبات ويتم إخراجها من الجسم. علاوة على ذلك، فتفرز النبيبات المواد (الفضلات) في البول لإخراجها من الجسم. وبهذه الطريقة تكون الكليونات انتقائية جداً في ما تزيله من الدم وكميته. وإذا كان في الجسم ماء زائد، فإنه سينتج عن الكلية بول مخفف جداً، في حين، إذا حاول الجسم الاحتفاظ بالماء، فإنه سينتج عن الكلية كمية بول قليلة ومركزة جداً. ويقوم الحالب بنقل البول من الكلية إلى المثانة، حيث يتم تخزينه إلى أن يتم تفريغه.



شكل (17) الكلية

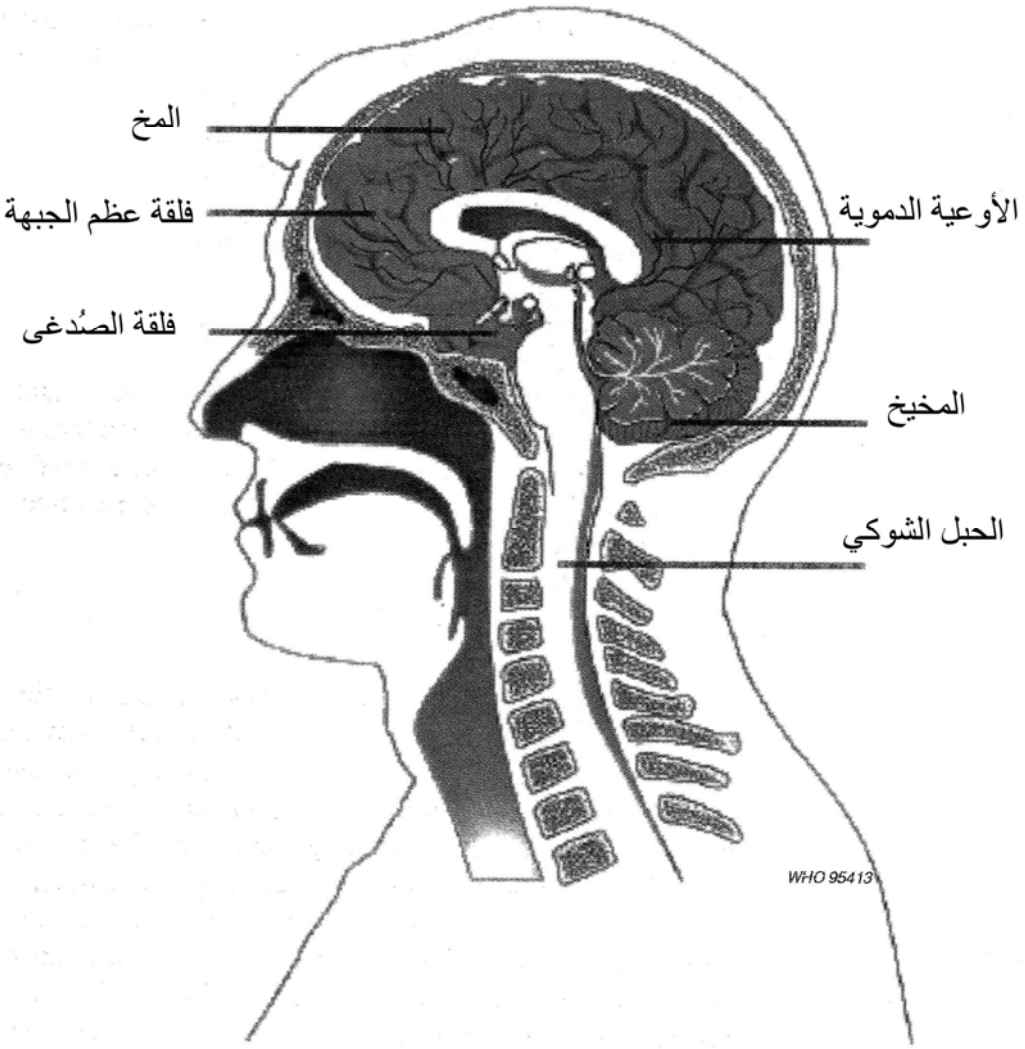
السُميات التي تؤثر على الكلية تسمى السميات الكلوية (nephrotoxicants) ويمكن تمثيلها بأية طريقة من الطرق الأربعة:

(أ) تناقص جريان الدم إلى الكلية يؤدي إلى نقصان مدى ترشيح الكبيبة وفي النهاية نقص في تكوين البول، كذلك فإن تناقص جريان الدم يؤدي إلى حدوث أضرار في نسيج الكلية.
(ب) تؤثر على الكبيبة مباشرة وتعيق مقدرتها الإختيارية على ترشيح الدم.
(ج) تأثر وظيفة الإفراز وإعادة الامتصاص للنبيبات.
(د) انسداد الأنبوب الصغير، ومنع تدفق البول.

إن التناقص الذي يحصل في عدد الكُليونات العاملة يؤدي إلى تناقص الإفراز الكلوي للماء والمواد المذابة وفقدان 70% من الكُليونات يؤدي إلى احتباس الماء والكهارل (electrolytes) والسوائل، ومن ثم الموت. وتعود قابلية الكلية للتأثيرات السُمية للمواد الكيميائية إلى الخواص المميزة التي تملكها. فعندما يتم إعادة امتصاص الماء والكهارل (electrolytes) في الدم عند النبيب، يصبح البول وأي مواد سامة محتمل وجودها فيه مركزة. فالجرعة غير السامة للمادة الكيميائية في الدم قد تصبح سامة في الكلية وذلك لتركيزها مع البول. كذلك فإن الكلية تقبل هذه المواد بدرجة عالية وذلك لتدفق الدم الكثير الذي يصلها. وأي عقار أو مادة كيميائية في الدم ستصل بكميات كبيرة نسبياً إلى الكلية.
معظم المعادن تعتبر مواداً سامة للكُليونات. ويكون تلف الكلية نتيجة نقص تدفق الدم الناجم عن قلة إنتاج البول وتلف الأنسجة، وسمية المعادن في النبيبات نتيجة انسداد النبيب. ويعتبر الزئبق أحد المعادن السامة للكُليونات. والجرعة الحادة من ملح الزئبق تؤدي إلى تلف النبيبات وتؤدي إلى فشل الكلى خلال 24-48 ساعة بعد التعرض. والعناصر الأخرى التي تتلف الكلية هي الكادميوم والكروم والزرنيخ والذهب والرصاص والحديد.
وقد تم تسجيل تلوث الكلية الحاد والمزمن بعد التعرض إلى الهيدروكربونات المهلجنة والمذيبات العضوية والمبيدات الحشرية (مثل ثلاثي كلوريد الإيثيلين وميثيل الباراثون).
وقد يكون بعض الأشخاص، وبسبب وراثي أو عوامل بيئية، لهم القابلية للتأثر بشكل غير اعتيادي للمواد السامة والتي تؤثر على الكلية وعلى سبيل المثال، فبعض الأشخاص قابليتهم للتأثر بسموم النحاس الكُليونية غير اعتيادي وذلك لعدم مقدرتهم على الحفاظ على التراكيز الطبيعية للنحاس في الجسم (مرض ولسون). والأشخاص الذين يعانون من تلف في الكلية بسبب السكري أو الإنحطاط الطبيعي في عمل الكلية المرتبط بالتقدم في العمر فإن سمية الكادميوم الكُليونية تظهر في جرعات الكادميوم والتي لا تؤثر طبيعياً على الناس. وهناك بعض العوامل تسبب زيادة حساسية الناس لتأثيرات هذه المواد، وتشمل النظام الغذائي، شرب الكحول والتدخين والخلفية الوراثية والعلاجات.

5-3 التأثيرات على الجهاز العصبي

ينقسم الجهاز العصبي إلى قسمين هما الجهاز العصبي المركزي والجهاز العصبي الطرفي. ويشتمل الجهاز العصبي المركزي على الدماغ والحبل الشوكي (الشكل رقم 18) والذي يترجم المعلومات الحسية ويصدر التعليمات بناءً على خبرة سابقة. ويحتوي الجهاز العصبي الطرفي على تراكيب الجهاز العصبي الموجودة خارج الجهاز العصبي المركزي، والتي تحمل الإشارات من وإلى الدماغ والحبل الشوكي. وتعمل الأعصاب كخطوط الاتصالات. حيث تربط جميع أجزاء الجسم. وتحمل الإشارات من المستقبلات الحسية إلى الجهاز العصبي المركزي والأوامر من الجهاز العصبي المركزي إلى الغدد والعضلات المناسبة.



شكل (18) الدماغ والحبل الشوكي العلوي

الجهـــاز العـــصبي المركزي: الدماغ والحبل الشوكي. الجهاز العصبي الطرفي: جميع الأعصاب الموجودة خارج الجهاز العصبي المركزي.

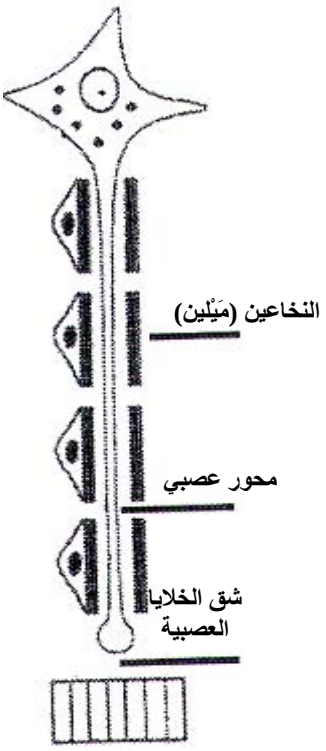
يستقبل الجهاز العصبي ملايين المعلومات من مختلف الأعضاء الحسية ويعمل على تكاملها لتحديد الاستجابة التي سيقوم بها الجسم. وتتم مدخلات الجهاز العصبي بواسطة المستقبلات الحسية والتي تكشف هذا الإحساس مثل اللمس والصوت والضوء والألم والبرد والسخونة ... الخ. وتؤدي هذه الخبرة الحسية إلى رد فعل مباشر أو يتم تخزين ذاكرتها في الدماغ ومن ثم تساعد في تحديد ردود الفعل الجسدية في المستقبل. وأخيراً، يُنظم الجهاز العصبي النشاطات الجسدية المختلفة من خلال السيطرة على العضلات في الجسم. ويدعى ذلك بالاستجابة الحركية. ويشمل ذلك العضلات الهيكلية، المسؤولة عن الحركة، والعضلات الملساء للأعضاء الداخلية مثل الأمعاء. وهناك وظيفة أخرى للجهاز العصبي وهي السيطرة على إفراز المواد الكيميائية من الغدد.

والوظيفة الرئيسية للجهاز العصبي المركزي معالجة المعلومات الحسية الواردة بنفس الطريقة التي تتم بها الاستجابة الحركية المناسبة. وبعد اختيار المعلومات الحسية المناسبة يتم توجيهها إلى المنطقة المناسبة في الجهاز العصبي المركزي للقيام بالاستجابة المرغوبة. وبالتالي، فإذا وضع شخص يده على فرن ساخن، فإن الاستجابة المرغوبة هي رفع اليد.

1-5-3 كيف يعمل الجهاز العصبي

تسمى الوحدة الوظيفية للجهاز العصبي العصبون (شكل رقم 19) والعصبونات خلايا متخصصة جداً وهي التي توصل أو ترسل الرسائل (الإشارات العصبية) من جزء إلى آخر في الجسم. ولدى العصبونات ألياف تمتد خارج جسم الخلية تدعى المحاور العصبية. وتمر الرسائل على طول المحور إلى نهاية السليف المشبكي، والتي تفرز مواداً كيميائية تدعى الناقلات العصبونية "neurotransmitters". وتمر هذه المواد من خلال الفلج المشبكي كي تتم الاستجابة في جسم العصبون الآخر أو ألياف العضلة. ومعظم المحاور العصبية مغطاة بمادة دهنية تدعى النخاعين (مَيْلين) "myelin". ويعمل النخاعين (مَيْلين) على حماية وعزل الألياف ويزيد من معدل إرسال السيالات العصبية. وهذه العملية مستمرة من عصبون لآخر أو لخلية عضلية حيث تمرر الرسالة بنجاح من منطقة لأخرى.

واختلافاً عن معظم خلايا الجسم، فالعصبونات لا يمكن أن تنشأ مرة ثانية. وبالتالي، إذا تلف العصبون فلن يتم تبديله، مما يجعل الجهاز العصبي معرضاً بشكل خاص إلى التضرر نتيجة المواد الكيميائية لإبطال عدم مقدرته على إبدال الخلايا التالفة، ويقلل الحاجز الدموي الدماغي "blood brain barrier" من تعرض الجهاز العصبي للمواد الكيميائية. وعلى الرغم من حاجة الجهاز العصبي، كغيره من أعضاء الجسم إلى الدم للبقاء، إلا أن هناك حاجزاً وقائياً بين الجهاز العصبي وباق الجسم يحدد دخول بعض المواد. ويُغطي الدماغ والحبل الشوكي والأعصاب الطرفية بشكل كامل ببطانة من الخلايا المتخصصة والتي تسمح للمغذيات الضرورية بالمرور من خلالها ولكنها تحدد دخول المواد السامة. وحتى بوجود الحاجز الدماغي الدموي، فقد تؤدي بعض المواد السامة إلى تلف الجهاز العصبي. ومن الجدير بالذكر أن الحاجز الدماغي الدموي لا يكون مكتملاً عند الولادة. وبالتالي فإن حديثي الولادة وبخاصة الأجنة وأطفال الخداج يكونون أكثر قابلية للتعرض للسُميات العصبونية. فعلى سبيل المثال تكون الأجنة قابلة للتعرض للكحول (ايثانول) بشكل خاص إذا شربت المرأة الحامل الكثير من الكحول، فإنها تسبب مرضاً يُدعى (متلازمة الكحول الجَنينية).



شكل (19) خلية عصبية (العصبون)

2-5-3 كيف تؤثر المواد الكيميائية على الجهاز العصبي

السمية العصبية هي مقدرة العوامل الكيميائية أو البيولوجية أو الفيزيائية على إحداث التأثيرات السلبية في الجهاز العصبي. يبين الجدول رقم (14) المركبات السامة للجهاز العصبي.

جدول 14. المركبات السامة للجهاز العصبي

الألمونيوم	**كناميسين kanamycin**
الرصاص	**كاينيت kainate**
البزموت	**المنغنيز**
أول أكسيد الكربون	**الكحول الميثيلي**
رابع كلوريد الكربون	**ميثيل بروميد**
السيانيد	**ميثيل الزنبق**
ثنائي كلورو ثنائي فينيل كلورو ايثين	**الثاليوم**
كبريتيد الهيدروجين	**ثلاثي ميثيل القصدير**
أزايد azide	

بالإضافة إلى الملوثات التي تؤثر مباشرة في الجهاز العصبي، فإن الجهاز العصبي يتأثر بشكل كبير بأية تغيرات في الدورة الدموية. وجميع الخلايا تحتاج إلى الأكسجين ولكن بالنسبة للجهاز العصبي فالتزويد الثابت ضروري. وأي نقصان في تدفق الدم يؤدي إلى إحداث التأثيرات السلبية على الجهاز العصبي قبل أن تتأثر الأجهزة الأخرى.

وبعض المواد السامة محددة للعصبونات (السُميات العصبونية)، أو جزء معين من العصبون، وتؤدي إلى إصابة العصبونات أو موتها (النَّخر)، وفقدان العصبون يعتبر غير معكوس وتؤثر السُميات العصبونية على المحور العصبي (مَيْلين الوقائي) أو إرسال التدفع العصبي. وتسبب العصبونات التالفة انقطاع الاتصال بين الجهاز العصبي وباقي الجسم. ويعتمد مقدار النقص الوظيفي الناجم عن تلف الجهاز العصبي على عدد العصبونات التالفة بشكل دائم ومكان وجودها. فبعض العصبونات قد تكون متضررة بشكل بسيط ولكن ليس دائماً وبعد وقت معين يمكنها العودة إلى عملها المعتاد. أما التلف الدائم فيسبب فقدان الحس والشلل. وقد تؤدي إلى تأثيرات أخرى مثل التوهان حيث لا يستطيع الشخص أن يميز يساره من يمينه أو الأسفل من

الأعلى. لأن الجهاز العصبي يسيطر على العديد من وظائف الجسم يمكن لأي وظيفة مثل الكلام والرؤية والذاكرة وقوة العضلات والتنسيق أن يثبط عملها نتيجة لسُميات العصبون.
وقد وجدت السمية العصبونية للزئبق العضوي، مثل ميثيل الزئبق، بشكل مأساوي في المواد السامة في اليابان والعراق. كما تعرض المقيمون في خليج مياماتا في اليابان والذين معظم غذائهم من سمك الخليج إلى جرعات كبيرة من ميثيل الزئبق عندما تم إلقاء الفضلات الصناعية المحتوية على كميات كبيرة من الزئبق في الخليج. وحتى في العراق فقد أصيب العديد من السكان نتيجة تعرضهم لميثيل الزئبق. توفي أكثر من 400 شخص وتم إدخال 6000 شخص للمستشفيات بعد تناولهم لحبوب الذرة المغطاة بميثيل الزئبق. ومثال آخر للتسمم بالزئبق موجود في لندن ففي القرن التاسع عشر كان الزئبق يستخدم في صناعة القبعات لمنع الفطريات من النمو في القبعات، وسبَّب التعرض المتكرر للزئبق الرعاش للعمال وتلفاً في الدماغ وأدى ذلك إلى إخراج مصطلح "مجنون كصانع القبعات "as mad as a hatter". كما يؤدي تعرض البالغين للزئبق إلى فقدان التناسق ويتبعه الرعاش ومشاكل في السمع وضعف العضلات وحتى الاضطرابات العقلية.

ومن سُميات العصبون أيضاً، ثاني كبريتيد الكربون (CS_2) حيث يؤدي إلى إتلاف المحاور العصبونية. وهذه المادة الكيميائية تستخدم في صناعات متعددة، وبخاصة في إنتاج المطاط والحرير الاصطناعي، ومنذ اكتشافه عام 1776م، فهناك الأمثلة الكثيرة على سُميته. والعديد من حالات التسمم البشري بثاني كبريتيد الكربون تشتمل على تأثيرات عصبية وسلوكية. ففي البداية، تظهر أعراض حسية وحركية لكن يكون هنالك تغييرات شخصية وتهيج وضعف الذاكرة وأرق (عدم النوم)، وأحلام سيئة وإجهاد.
ومعلوم منذ قرون بأن معدن الرصاص سام للجهاز العصبي. فمن خلال إتلاف النخاعين (المَيْلين) يقوم الرصاص بإبطاء إرسال السيالات بين العصبونات وقد يعمل على إيقافها في النهاية. كما يتعرض الإنسان للرصاص مهنياً، إذا عملوا في منشآت صهر الرصاص، أو في المنزل من خلال أنابيب الرصاص والطلاء الأساسي الحاوي على الرصاص. والأطفال بشكل خاص لهم قابلية للتسمم بالرصاص حتى في حال وجود جرعات قليلة فإنها تؤثر على ذكاء الأطفال.
والفوسفات العضوي صنف من المبيدات المستخدمة على نطاق واسع في الوقت الحاضر وهي سامة للأعصاب لدى الإنسان. وهذه المبيدات تؤثر على المشبك حيث يتم إفراز النواقل العصبية. طبيعياً، وبعد إفراز الناقل العصبي عن طريق المحور العصبوني، فإنه يمر من خلال المشبك، ويحفز العصب الآخر وبعد ذلك يتلف. ويمنع الفوسفات العضوي تلف الناقل العصبي بحيث يتم حث العصبونات بشكل ثابت ونقل الرسالة بشكل متكرر من العصبون إلى الذي يليه. وبالاعتماد على موقع العصبون المتأثر، فإن الفوسفات العضوي يسبب تغيراً في معدل ضربات القلب وارتعاشات وضعف العضلات أو الشلل والتململ والاختلاط الذهني وفقدان الذاكرة والتشنج والغيبوبة. والفوسفات العضوي المتوفر حالياً كمبيد أقل سمية بكثير من الذي كان يستخدم سابقاً والذي استخدم في الحرب الكيميائية.

6-3 السمية المناعية

جهاز المناعة هو جهاز دفاع متطور جداً وهو الذي يحمي أجسامنا من العضيات التي تهاجمه وخلايا الأورام والعوامل البيئية. وتتعرض أجسامنا إلى العديد من الجراثيم والفيروسات والفطريات والطفيليات والتي تكون قادرة على التسبب بالأمراض الخطيرة مثل التهاب الرئة والملاريا (داء البُرداء) وحمى التيفوئيد. ولحسن الحظ، فلدى أجسامنا العديد من الأجهزة المختلفة بما فيها جهاز المناعة الذي يهاجم العضيات التي تغزو أجسامنا. وتدعى المواد الكيميائية البيئية أو العقاقير التي تؤثر على جهاز المناعة سُميات المناعة "Immunotoxicants". ولدى سميات المناعة ثلاث طرق للتأثير على جهاز المناعة: الطريقة الأولى تعمل على كبت جهاز المناعة والطريقة الثانية تجعل جهاز المناعة حساساً جداً والطريقة الثالثة تجعل جهاز المناعة يهاجم نفسه (مناعة ذاتية).

الكريضات (خلايا الدم البيضاء) تحمي الجسم من العدوى.

ويتكون الدم من ثلاثة أنواع من الخلايا: كريات الدم الحمراء، وهي التي تنقل الأكسجين إلى أعضاء الجسم المختلفة وكريات الدم البيضاء (أيضاً تدعى كريضة Leukocytes) وهي أكبر مكون لجهاز المناعة لدينا والصُفيحات الدموية وهي مسؤولة عن تجلط الدم. هنالك أنواع عديدة من كريات الدم البيضاء وستناقش هذه الوحدة أهم ثلاثة أنواع: الكريات المصبوغة بالأصباغ

المتعادلة (العَدِلات) (Neutrophils)، البَلاعم (Macrophages) والكريات الليمفاوية. وجميع كريات الدم البيضاء هذه لديها آليات مختلفة لحماية الجسم.

تعمل الكريات المصبوغة بالأصباغ المتعادلة والبلاعم على حماية الجسم من العضيات التي تغزوه مثل الجراثيم والفيروسات والدقائق الغريبة الأخرى عن طريق ابتلاعها، كما أنها تستطيع ابتلاع الأنسجة التالفة أو الميتة في الجسم. وعملية ابتلاع العضيات تدعى البلعمة (Phagocytosis)، ويتم تصنيف الكريات المصبوغة بأصباغ متعادلة والبلاعم من ضمن البلعميات. فبالإضافة إلى البلعمة، وبعد ابتلاع البكتيريا تقوم الكريات المصبوغة بأصباغ متعادلة والبلعمة الكبيرة بهضمها. ومن الواضح بأن البلعميات يجب أن تكون انتقائية فيما يتعلق بالمواد القابلة للبلعمة، وإلا سيتم ابتلاع بعض الخلايا الطبيعية والتراكيب في الجسم. والخلايا الغريبة والدقائق (مُسْتَضِدات) لا يتم تمييزها بالذات مما يجعلها محتملة الابتلاع أكثر.

وعندما تكون الجراثيم داخل الجسم تكون موسومة بـ "جسم مضاد" "antibody"، وتجعلها قابلة بشكل خاص للبلعمة. وتستطيع الكريات المصبوغة في العادة التهام 5 إلى 20 جرثومة قبل أن تصبح الكريات المصبوغة نفسها غير فعالة وتموت. لكن البلاعم أقوى بكثير حيث تستطيع ابتلاع ما مقداره 100 جرثومة. وكذلك فإن لديها المقدرة على التهام الدقائق الأكبر بكثير مثل طفيليات الملاريا (البُرداء) وأنسجة الجسم التالفة، بينما لا تستطيع الكريات المصبوغة التهام الدقائق الأكبر من الجراثيم بكثير.

وهناك صنفان من الكريات اللمفاوية، T و B. ينتج (B) مركبات كيميائية تدعى أجساماً مضادة. وكل سَّم له مركب كيميائي خاص يرتبط به ويختلف عن جميع المركبات الأخرى. وهذه المركبات تدعى مُستضدات. وكل جسم مضاد محدد له مُولد ضد معين. وعندما يتم التعرف على مولد الضد، فإن صفائح (B) تنتج جسماً مضاداً معيناً والذي سيرتبط بمولد الضد. وللأجسام المضادة دوران، فقد تؤثر مباشرة في العضيات التي تغزو الجسم وتعمل على تثبيطها، أو تعمل على دعم جزء آخر من جهاز المناعة. فعلى سبيل المثال تعمل الأجسام المضادة على تنشيط البلعميات متسببة في بلع الجراثيم المرتبطة بالجسم المضاد من قبل الكريات المصبوغة والبلعميات.

تؤثر المواد الكيميائية على جهاز المناعة بثلاث طرق مختلفة:
*** كبت المناعة.**
*** الحساسية العالية.**
*** المناعة الذاتية.**

ويتم نقل الكريات الليمفاوية والكريات المصبوغة والبلعميات بواسطة الدم إلى المناطق التي تحتاجها.

ووظيفة جهاز المناعة التعرف وإزالة العوامل التي تؤذي المضيف. وعندما يعمل جهاز المناعة بشكل صحيح يجري التخلص من العوامل الغريبة بسرعة وبفاعلية. وإذا توقف جهاز المناعة بأي طريقة كبت مناعي (immunosuppression) فإنه سيتسبب بزيادة قابلية الجسم للجراثيم والطفيليات والفيروسات وتزايد السرطان. كما أن العضيات التي يكون جسمنا قادراً طبيعياً على حمايتها ستكون قادرة على تلويث الأنسجة مسببة أمراضاً مميتة. ولأن جهاز المناعة متنوع جداً، فإن كبت المناعة توجد بطرق مختلفة. فقد تمنع العوامل الكيميائية عملية البلعمة أو قد تؤثر على الليمفاويات وانتاجها للأجسام المضادة. والكثير من المواد الكيميائية مثل المعادن (الرصاص والزئبق) والمبيدات تُميز بأنها تستطيع إيقاف عمل جهاز المناعة. وهي تشمل (Polychlorinated biphenyls)، والذي استخدم لأكثر من نصف قرن في الملدنات والمحولات والهيدروكربونات العطرية متعددة الحلقات والتي تتشكل أثناء احتراق الوقود الإحفوري. وهذه المواد الكيميائية تعمل على إيقاف الاستجابات المناعية، مسببة النقص في الخلايا المنتجة للأجسام المضادة، الجدول (15) يحتوي على قائمة بالمواد الكيميائية الكابتة للمناعة.

جدول 15. أمثلة على الكيميائيات الكابتة للمناعة

كبت المناعة	**الرصاص**	**ثنائي بنزودايوكسين**
	الزئبق	**الهيدروكربونات الأروماتية المتعددة الحلقات**
	الايثانول	**يوريثين**
	البنزين	**المبيدات** (carbamates, organochlorines, organophosphates)
	بولي كلورونيتيد ثنائي فينيل	
	بولي بروموئيتيد ثنائي فينيل	
الحساسية العالية	**الفورمالديهايد**	**النيكل**
	انهيدريد الافثاليك	**كروميوم**
	المبيدات	**ذهب**
	ايثيلين ثنائي امين	**زئبق**
	مضافات الغذاء Azodyes BHT BHA	**بيريليوم**
	مضاد الميكروبات EDTA mercurials	**الراتنجات والملدنات** (toluene diisocyanate, trimellitic anhydride)
	مركبات البلاتين	
مناعة ذاتية	**ثنائي ألدرين**	**فوق كلورو الايثيلين**
	فينيل كلورايد	**راتنجات الأيبوكسي**
	ثلاثي كلورو ايثيلين	**هيدرازين**
	الكوارتز	

أحياناً يستجيب جهاز المناعة عكسياً للعوامل البيئية حيث ينتج عنه تفاعل الأرجية (allergic reaction). وقد تسبب الأرجيَّة العديد من التأثيرات المختلفة حيث تشمل الحمى والأزمة والتهاب المفاصل الرثياني والتهاب الجلد (أرجي الجلد). وسبب الأرجية يعود إلى الاستجابة شديدة الحساسية والتي تحدث بعد التعرض لبعض العوامل المهنية والبيئية. أما مولدات التضاد التي تؤدي إلى استجابة الأرجية فتدعى مولدات الاستهداف. وبدلاً من البدء بإنتاج أجسام مضادة، تحث مولدات الاستهداف الكريات الليمفاوية B لإنتاج "الأجسام المضادة المحسسة" والتي تسمى عوامل ضدية. وعندما ترتبط العوامل الضدية مع الأرجيات فإنها تؤدي إلى تفاعل الأرجية. وقد تحرض العديد من المواد الكيميائية الصناعية والعقاقير الاستجابات الأرجية. وأكثر أنواع الاستجابات الأرجية شيوعاً والناجمة عن التعرض المهني أو الاستهلاك هي الأزمة والتهابات الجلد. حيث تتميز الأزمة بانقباض العضلات في القصبات الهوائية للرئة والتي تجعل التنفس صعباً. وتستخدم بعض مواد التشطيب مثل الفورمالديهايد في صناعة النسيج لتحسين مقاومة التجعد وقدرة تحمل الأقمشة. ولدى استخدام الفورمالديهايد في الصناعة سابقاً، كان العاملون يعانون من الأزمة نتيجة الفورمالديهايد الحر. أما الآن فأصبحت الأقمشة خالية من الفورمالديهايد الحر أو يتم غسلها قبل استخدامها. وتؤدي المعادن مثل البلاتين وبعض المبيدات إلى وجود الأزمة لدى الأشخاص المتعرضين لهذه المواد.

وتظهر أعراض التهابات الجلد خلال أيام من التعرض ولكنها في العادة تظهر بعد عدة سنوات من التعرض المنخفض للمادة حيث تسبب الطفح الجلدي والتورم والحكة وربما تحوصل الجلد. كذلك فإن العديد من المواد مثل مواد التجميل وبعض المعادن والعديد من المواد الكيميائية قد تسبب التهاب الجلد. فعلى سبيل المثال مادة البيريليوم والتي استخدمت سابقاً لتغطية لمبات الفلورسنت تؤدي إلى التحسس الكبير للجلد عندما تدخل قطع اللمبات المكسورة تحت الجلد. كما تحتوي مواد التجميل على مواد كيميائية مضادة للميكروبات والتي تسبب التهابات جلدية لدى بعض الناس. وهذه المواد الكيميائية تشمل مركبات فينولية ومركبات زئبقية عضوية ومركبات الأمونيوم والفورمالديهايد. فبعض الأشخاص المتعرضين للنيكل عند ارتداء المجوهرات لديهم حساسية عالية ضدها. وتشمل آلية التهاب الجلد نتيجة التعرض للنيكل انتشار النيكل خلال الجلد الذي يرتبط مباشرة بالكريات الليمفاوية، وينشطها. كذلك يصاب الأشخاص الذين يلمسون الفضة والنحاس وأملاحهما بالتهاب الجلد.

وكما نوقش مسبقاً، فإن لدى جهاز المناعة طرقاً لتمييز خلايا المضيف أو المواد التي تعتبر من خلايا غريبة، والتي تمنع جهاز المناعة من مهاجمة أجسامنا. فعندما يفقد جهاز المناعة قدرته على التمييز بين خلايا الجسم والخلايا الغريبة، فإنها ستهاجم وتقتل خلايا المضيف متسببة بتلف خطير للأنسجة. وهذه الحالة تسمى المناعة الذاتية. وعلى الرغم من أن التعرض المهني ليس شائعاً مثل كبت المناعة أو الأرجيَّة إلا أنه مرتبط باستجابات المناعة الذاتية. وتشمل ألدرين المبيدات وثنائي ألدرين وكلوريد الفينيل والمعادن مثل الذهب والزئبق. وفي معظم الحالات، فإنه إذا توقف التعرض توقفت المناعة الذاتية. وهذا هو الحال بالنسبة للأرجية.

ويختلف رد فعل جهاز المناعة للمواد السامة مقارنة مع استجابات الأجهزة العضوية الأخرى. ففي العادة تكون الاستجابة السمية للمادة مرتبطة بالجرعة، فمثلاً الجرعات الكبيرة جداً للمواد الكيميائية ستسبب تأثيرات سلبية لدى معظم السكان. ومن ناحية أخرى لا ترتبط الأرجيَّة والمناعة الذاتية بمقدار الجرعة. فعدد قليل من السكان سيتأثرون بغض النظر عن الجرعة التي تلقوها. بالإضافة إلى ذلك، ترتبط تأثيرات المواد الكيميائية على جهاز المناعة بتأثيرات تنشيط وتثبيط جهاز المناعة، أكثر من التأثير السمي المباشر.

7-3 السُمية الإنجابية للمواد الكيميائية

تشمل السمية الإنجابية التأثيرات السلبية على الوظيفة الجنسية وخصوبة الذكور والإناث بالإضافة إلى أي تأثير يتعارض مع التطور الطبيعي قبل وبعد الولادة (يُدعى كذلك السمية التطورية). وتختلف فسيولوجية الجهاز التناسلي عند الرجال عن النساء، ولكن في كلتا الحالتين تتم السيطرة على الجهاز التناسلي بواسطة مواد كيميائية تدعى الهرمونات (الهرمون هو مادة كيميائية تفرزها الغدد في الجسم وتسيطر على الخلايا الأخرى فيه). ويتحكم الجهاز العصبي المركزي في إفراز الهرمونات. تتحكم الهرمونات بتطور الأعضاء التناسلية وتكوين الحيوان المنوي لدى الذكور (الإنطاف Spermatogenesis). أما في الإناث فتتحكم الهرومونات في تطور الأعضاء التناسلية والدورة التناسلية للإناث وإعداد الرحم للحمل والإدرار.

كذلك تلعب الهرمونات دوراً رئيساً في الحمل وتطور الجنين. وفي الظروف الاعتيادية، قُدر بأن واحداً من كل خمسة أزواج لا يستطيعون الإنجاب (عقيمون) وأكثر من ثلث الأجنة يموتون في مراحل مبكرة، وما يقارب 15% من الحوامل يجهضن تلقائياً. وكذلك الأطفال حديثوا الولادة 3% تقريباً لديهم عيوب خلقية. وليس مفاجئاً أن تتدخل المواد الكيميائية (العقاقير) بعدد من العمليات البيولوجية للجهاز التناسلي في كل من الذكور والإناث.

وهنالك ثلاثة أهداف للسمية الإنجابية. حيث تستطيع التأثير مباشرة على الجهاز العصبي المركزي وتعمل على إبدال إفراز الهرمونات (مثل الستيرويدات الصناعية).

وكذلك تعتبر الغدد التناسلية (المبيض والخصية) هدفاً للعقاقير والمواد الكيميائية وبخاصة عقاقير المعالجة الكيميائية الخاصة بالسرطان. كما تعمل السموم الإنجابية على منع أو إبدال الإنطاف. وتشمل نتائج مثل هذه التأثيرات السامة العقم ونقص الخصوبة وزيادة موت الأجنة وزيادة موت الرضع وزيادة التشوهات عند الولادة. وتدعى المواد الكيميائية التي تسبب زيادة في التشوهات عند الولادة بالماسخات (teratogens).

وقد تنتج التأثيرات السلبية عند التعرض ما قبل الإخصاب (أي من الوالدين) وأثناء الحمل، أو منذ الولادة حتى النضج الجنسي. فقد يتم اكتشاف التأثيرات السلبية المتطورة في أية لحظة من مدى عمر العضو. وتشمل أكبر مظاهر السمية التطورية: (أ) موت العضو النامي. (ب) البنية غير الطبيعية. (جـ) النمو المتغير. (د) العوز الوظيفي. وقد ينجم عن التعرض للمواد الكيميائية أثناء الحمل النمو غير السوي للجنين. ويكون الجنين في طور النمو حساساً بشكل خاص للمواد الكيميائية السامة خلال فترات معينة، وبشكل عام الفترات المرتبطة بنمو الأنظمة العضوية أو أنواع معينة من الخلايا. ففي العادة تكون المرحلة الحرجة للتحريض على الخلل الوظيفي في الإنسان بعد 20-70 يوماً من الحمل.

وظهر تأثير المواد الكيميائية (أو العقاقير) على الجهاز التناسلي بشكل مأساوي عن طريق استخدام المهدئات في الستينيات. وقد جرى إعطاء امرأة حاملاً مسكنات كعقار مانع للغثيان. وليس لهذا العقار أية تأثيرات سلبية على البالغين ولكنه مولد ماسخ ويتعارض مع نمو الأطراف عند الأجنة. ونتيجة لذلك، فالأطفال الذين كانت أمهاتهم تستخدم هذا العقار أثناء الحمل ولدوا ولديهم تشوهات كبيرة في الأطراف أو بدون أذرع أو سيقان.

وجدت الدراسات الحالية في الولايات المتحدة بأن هنالك ارتباط ما بين التعرض لمواد خطرة معينة موجودة في مكاب النفايات وتشوهات الأطفال المقيمين بالقرب منها. إن التقرب من هذه المواقع مرتبط بازدياد الخطر الضئيل أو المتوسط لتشوهات الجهاز العصبي لدى الأطفال مثل الشفة المشقوقة والحنك (فلح حنكي) وتشوه القلب وقصر الأطراف.

وبالنسبة لبعض المواد الكيميائية أشارت الدراسات الوبائية ومعلومات التعرض المهني والمعلومات المتوفرة عن دراسة الحيوانات، إلى أن هناك ارتباطاً بين التعرض والتأثيرات التناسلية السلبية (الجدول 16).

جدول 16. السُميات البيئية والنتائج التناسلية السلبية

المادة الكيميائية		التأثير السلبي
ألدرين	Aldrin	**إجهاض تلقائي، مخاض قبل موعد الولادة**
الزرنيخ	Arsenic	**إجهاض تلقائي، تناقص وزن المولود**
البنزين	Benzene	**إجهاض تلقائي، وزن المولود قليل، اضطراب الدورة الشهرية**
الكادميوم	Cadmium	**وزن المولود قليل**
ثاني كبريتيد الكربون	Carbon disulfide	**اضطراب الدورة الشهرية، إجهاض تلقائي، تأثيرات سلبية للحيوان المنوي**
مركبات الكلور	Chlorinated ompounds	**خلل في العيون، الأذنين وشقوق الفم، اضطراب في الجهاز العصبي المركزي، وفيات الولادة، فقر الدم (اللوكيميا) عند الطفولة**
2,1 ثنائي برومو –3– كلورو بروبين	1,2-Dibromo-3-chloropropane	**تأثيرات سلبية للسائل المنوي، عقم**
ثنائي كلورو ايثيلين	Dichloroethylene	**أمراض قلبية خَلقية (عند الولادة)**
ثنائي ألدرين	Dieldrin	**مخاض قبل موعد الولادة، إجهاض تلقائي**
سداسي كلورو سايكلوهكسين	Hexachlorocyclohexane	**اختلاف التوازن للهرمونات، مخاض قبل موعد الولادة، إجهاض تلقائي**
الرصاص	Lead	**ولادة جنين ميت، وزن المولود قليل، إجهاض تلقائي، ضعف في السلوك العصبي، إعاقة عقلية، تأخر النمو، ضرر في الدماغ.**
الزئبق	Mercury	**اضطرابات في الدورة الشهرية، إجهاض تلقائي، عمى، فقدان السمع، إعاقة عقلية، تأخر النمو، ضرر في الدماغ**
الهيدروكربونات الأروماتية المتعددة الحلقات	Polycyclic aromatic hydrocarbons	**تناقص الخصوبة**
بولي كلورنيتيد ثنائي الفينيل	Polychlorinated biphenyls	**ولادة ضعيفة، وزن المولود قليل، ضعف محيط الرأس، عجز في النمو، تأثيرات في السلوك العصبي**
ثلاثي كلورو ايثيلين	Trichloroethylene	**أمراض قلبية خَلقية (منذ الولادة)**

وتشير العديد من الدراسات الوبائية إلى أن الزرنيخ غير العضوي يسبب تأثيرات على النمو لدى الإنسان. والجنين حساس بشكل خاص لميثيل الزئبق، وأظهر تعرض المرأة الحامل إلى الرصاص تدخله في النمو العقلي للأطفال. وتتزايد قائمة التأثيرات التناسلية السلبية، وهنالك الكثير من المؤشرات التي تدل على أن النساء الحوامل والأجنة والأطفال الرضع والأولاد هي المجموعات المعرضة للخطر بشكل كبير والتي يكون لديها قابلية للتأثيرات السلبية للمواد الكيميائية أكثر من الآخرين.

وتوجد لدى الرضع ميزات بنيوية ووظيفة مختلفة عن الأطفال الأكبر والبالغين. وجميعها تمثل مراحل النمو الطبيعي والتطور، وقد تؤثر على قابليتهم للتأثر الحساس عند تعرضهم للمواد الكيميائية. وبشكل عام نقول إن المواد الكيميائية، العضوية وغير العضوية، يتم امتصاصها لدى الرضع بسهولة أكثر من امتصاصها لدى البالغين. فالمركبات العضوية التي تخضع للتحول البيولوجي تكون أقل سهولة لدى الرضع لكون الكلى غير ناضجة ومقدرتها أقل من مقدرة كلى البالغين على التخلص من المواد الكيميائية. وبالتالي، فمن المحتمل أن تتراكم الجرعة المتساوية للمادة الكيميائية لوحدة الوزن في الجسم وتمتد في أجسام الأطفال الرضع أكثر من الأطفال الأكبر منهم أو البالغين وبناءً عليه فمن المحتمل أن يكونوا أكثر تأثراً بالمواد السامة.

وتشير جميع هذه الخصائص إلى حاجة خاصة لحماية هذه الشرائح الحساسة من المجتمع من الأخطار الصحية الناجمة عن التعرض للمواد الكيميائية.

8-3 المواد الكيميائية المسببة للسرطان

يعتبر السرطان أحد الأسباب الثلاثة المؤدية للموت في معظم الدول. ففي الظروف الاعتيادية، تنشأ خلايا الجسم ثانية بطريقة منظمة، بحيث يتم إبدال الأنسجة التالفة وإصلاح الإصابات ونمو عائدات الجسم. وتحت بعض الظروف فإن بعض الخلايا تعاني من تحول غير مفهوم يغيرها. ويحدث هذا التحول بسبب تلف خلايا الحمض الديوكسي رايبو DNA (deoxyribonucleic acid) (الحمض النووي منقوص الأكسجين) المادة الوراثية الموجودة في نواة الخلية. ففي العادة تستطيع الخلايا إصلاح التلف الحاصل في الـ (DNA)، أو ربما يستطيع جهاز المناعة التمييز بأن هذه الخلية تالفة وبالتالي يقوم بقتلها وتصبح غير موجودة لتسبب السرطان. وإذا لم تحدث أيٍّ من هذه العمليات، فإن الخلية التالفة تستمر بالانقسام والنمو، منتجة العديد من النسخ التالفة لنفسها. وتتلف الخلية بشكل مستمر عندما يتلف الـ (DNA)، وبخاصة الخلايا التي تفقد في البداية المقدرة على إصلاح نفسها، وسيستمر في العادة تراكم الخلايا المحطمة (التالفة) وإذا لم يتم قتل الخلايا المحطمة (التالفة) سيجعل الخلايا تبدو كأنها تعمل بطريقة تختلف عن الخلايا الطبيعية.

ولدى الخلية الصحيحة ملامح تميزها عن جميع أنواع الخلايا الأخرى لأن كل نوع خلية يؤدي وظائف خاصة في الجسم. فعلى سبيل المثال تختلف الخلية المكونة للعظم كثيراً عن الخلية العضلية. وتظهر الخلايا مختلفة لأن أعمالها مختلفة. ففي العادة تفقد الخلايا السرطانية ملامحها الخاصة عندما تتعرض للتلف. ولا تستطيع الخلايا أداء وظائفها لمدة طويلة. وتنشأ الخلايا مرة ثانية بمعدل منتظم ولكن خلايا السرطان تنشأ ثانية بالمعدلات غير الطبيعية، مسببة نمو خلايا غير مسيطر عليه. ويشار إلى النمو الجديد أو الورم الناتج عن تجمع الخلايا النامية بشكل سريع ضمن منطقة محددة بالورم (التَنشُؤ) Neoplasm.

هنالك نوعان من الأورام:
*** أورام حميدة وهي ليست سرطانية.**
*** أورام خبيثة وهي سرطانية.**

وبشكل عام، فالأورام التي تبقى في موقع أو عضو واحد ولا تغزو الأنسجة المجاورة تدعى أوراماً حميدة "Benign" وهي لا تهدد الحياة، وعلى العكس من ذلك فبعض الأورام تنتشر إلى المناطق المختلفة في الجسم وتغزو الأعضاء الأخرى والأنسجة مسببة تلف الأنسجة الطبيعية. وتدعى هذه الأورام بالأورام الخبيثة "malignant" وهي تهدد الحياة. والسرطان مصطلح شائع يستخدم للأورام الخبيثة. وتسبب الأورام الخبيثة نمو الأوعية الدموية باتجاهها بحيث تستطيع الحصول على المغذيات من التيار الدموي والتي تحتاجها لتنمو، ويدعى ذلك تَولد الأوعية.

النقيلة هي عملية انتشار خلايا السرطان من الورم الرئيسي إلى أجزاء الجسم الأخرى.

وعندما تتشكل هذه الأوعية حول الورم، فإن بعض الخلايا أو كتل الخلايا ستُطرح من الورم الرئيسي وتغادر المنطقة باتجاه الأوعية الدموية الجديدة. وتدعى هذه العملية بـ (النقيلة) metastasis. ومن ثُم تغادر الخلايا الورم الرئيسي وتنتشر في الأجزاء الأخرى من الجسم، مشكلة أوراماً ثانوية. وفي النهاية يكون المرض قاتلاً لأن وظائف الجسم تتم إعاقتها من خلال الأورام الثانوية. كذلك تستهلك الأورام كمية كبيرة من مصادر الجسم حيث تُضعف الشخص المصاب وتُسهم في انحطاط صحة مريض السرطان.

و بشكل عام فإن السرطان في الإنسان يشتمل على ثلاثة أطوار منفصلة:

ثلاث عمليات ضرورية لنمو السرطان:
*** الابتداء.**
*** التعزيز.**
*** التقدم.**

(أ) الابتداء: وهي عملية سريعة وليست عكسية وواضحة وتتسبب في وجود خلايا بديلة بشكل دائم. وتفقد هذه الخلايا السيطرة على تنظيم النمو الطبيعي. ويعتقد بأن التعاقب الدائم للخلايا يسبب تلفاً لخلايا الـ DNA.

(ب) التعزيز: في الظروف المناسبة، تكون الخلايا المبدئية قادرة على النمو على شكل أورام "neoplasms".

(ج) التقدم: وتشمل الانتقال من الورم الحميد إلى الورم الخبيث الذي يغزو الأنسجة وينتشر.

بعض المواد الكيميائية (المسرطنات) تسبب السرطان للإنسان، ولكن قد يكون سبب السرطان الفيروسات والإشعاع (الإشعاع المؤين والأشعة السينية والضوء فوق البنفسجي). ولا يوجد نمط واحد لعمل المسرطنات التي ينتج عنها السرطان. ومع ذلك فإن تأثير المواد المسرطنة واحد، وجميعها تؤدي إلى نمو الأورام. وقد قررت الوكالة الدولية لبحوث السرطان (IARC) بأن ما يقارب من 35 مادة كيميائية تسبب السرطان لدى الإنسان. ومعظمها مواد كيميائية صناعية أو عقاقير والغالبية مواد تسمى مُطفّرات "mutagens" تستطيع إتلاف الـ DNA. فمثل هذه العوامل لا تؤخذ بالحسبان لمعظم السرطانات البشرية. والعديد من الدراسات تدل على أن خيارات الطرق التي يعيش بها الناس وبخاصة استخدام السجائر واستهلاك الأغذية والكحول جميعها تشارك في غالبية السرطانات. ويبين الجدول (17) قائمة بالمواد المسرطنة المعروفة والمشتبه بها.

جدول 17. بعض المواد الكيميائية التي تعتبر مسرطنة للإنسان حسب الوكالة الدولية للبحوث السرطانية

2-aminonaphthalene	**2-امينو نفثالين**
4-aminobiphenyl	**4-امينو ثنائي فينيل**
5-azacytidine	**5-ايزيزكايدن**
Aflatoxins	**افلاتوكسين**
Alcohol	**الكحول**
Arsenic	**الزرنيخ**
Bnzene	**البنزين**
Benzidine	**بينزايدن**
Chromium compounds	**مركبات الكروميوم**
Coal tars	**قطران الفحم**
Mineral oils	**زيوت معدنية**
Nickel compounds	**مركبات النيكل**
Nitrogen mustard	**الخردل النيتروجيني**
Shale oils	**الزيوت الحجرية**
Soot	**السُخام (السناج)**
Sulfur mustard	**الخردل الكبريتي**
Tobacco smoke	**دخان التبغ**
Treosulphan	**تريسلفين**
triethylenethiophosphoramide	**تراي ايثلين ثايو فسفورامايد**
Vinyl chloride	**كلوريد الفينيل**

إن المسرطن النمطي المؤكد هو كلوريد الفينيل، المستخدم في صناعة الـ PVC (Polyvinyl chloride) حيث يتم استخدام الأخير في صناعة أنابيب البلاستيك. وتستخدم أنابيب الـ PVC بشكل كبير في سباكة المواسير. وكلوريد الفينيل مرتبط بأورام الكبد والدماغ والرئة والجهاز الليمفاوي. ففي عام 1974م، وبعد أكثر من 40 عاماً من إدخال كلوريد الفينيل في الصناعة، تم تسجيل الارتباط بين التعرض لهذه المادة الكيميائية وبين السرطان عند الإنسان. حيث تم تسجيل ثلاث حالات من سرطان الكبد لدى الرجال العاملين في صناعة راتنج الـ PVC في منشأة وحيدة في الولايات المتحدة الأمريكية، وبمراجعة السجلات الطبية تأكد الارتباط بين التعرض لكلوريد الفينيل وأورام الكبد. وعندما يتم تصنيف المادة الكيميائية كمادة مسرطنة، فإن العديد من الدول تعمل على وضع تحديدات لاستعمالها في مواقع العمل أو إلقائها في الطبيعة.

وإنتاج الألمنيوم حالة أخرى من الحالات التي أقرتها الوكالة الدولية لبحوث السرطان على أنها مسرطنة للإنسان. وهنالك أخطار متزايدة للإصابة بسرطان الرئة بين العاملين في إنتاج الألمنيوم. وفي كندا، تم تسجيل تزايد في إصابات سرطان المثانة وهي مرتبطة بالعمل في إنتاج الألمنيوم. وللتقليل من خطر السرطان، فقد عرضت الشركات استخدام طرق معالجة مختلفة مثل تحسين التهوية، وكمامات الحماية المطلوبة، وبدأت برامج مراقبة البول وذلك لغايات الكشف المبكر عن سرطان المثانة.

وتأتي معظم المسرطنات من مصادر طبيعية. والعديد من الأنواع المختلفة من المسرطنات تصدر عن المنشآت. وأكثر هذه المسرطنات معرفة، وتسببت بـ 30% من حالات السرطان في الولايات المتحدة الأمريكية، المواد الموجودة في التبغ. حيث يحتوي التبغ على مسرطنات معينة مثل نيتروسونورنيكوتين (nitrosonornicotine). والتبغ الموجود في الدخان عبارة عن خليط كيميائي معقد ويحتوي على العديد من المسرطنات المختلفة، مشتملة على الهيدروكربونات العطرية متعدد الحلقات (PAHs).

مراجعة

بعد قراءة هذا الفصل يجب أن تكون ملماً بأنه:

- إذا كانت الجرعة مرتفعة بشكل كافٍ فإن أغلب المواد الكيميائية سوف تنتج تأثيرات ضارة. والتأثير الضار يمكن تعريفه بأنه تغير غير طبيعي وغير مرغوب ومؤذٍ والذي ينتج عن التعرض إلى المواد الكيميائية السامة.

- التعرض الحاد يُعرف بأنه التعرض لمادة كيميائية لأقل من 24 ساعة وأنه غالباً ما يشير إلى الجرعة الواحدة للمادة الكيميائية، وكذلك التعرض الطويل الأمد يُعرف بأنه التعرض المزمن ويشير إلى التعرض المتكرر أو المستمر للمواد الكيميائية لأكثر من 3 شهور. والتعرض المزمن يمكن أن يُنتج تأثيرات ضارة مختلفة تماماً عن التأثيرات الناجمة عن التعرض الحاد.

- إذا كان تأثير المادة الكيميائية مقتصراً على منطقة التلامس، فهذا يُعرف بالتأثير الموضعي. ومن ناحية ثانية فإذا كانت المادة قد امتصت من قبل الدورة الدموية فإنها سوف تُنقل إلى الأعضاء المختلفة في كل مكان في الجسم مسببة تأثيراً شاملاً.

- المواد الممتصة في الجسم والتي تُعنى بحبها للدهون **(lipophilic)** (قابلة للذوبان في الدهون، وغير قابلة للذوبان في الماء) تكون صعبة الإفراز. ولأجل تصريفها من الجسم، بهدف حماية الجسم من المواد الكيميائية السامة تخضع هذه المواد لعمليات إزالة التسمم في الكبد بعملية تسمى التحول الحيوي أو البيولوجي، الذي سوف يبدل المادة كيميائياً، ومُشكلة بذلك المؤيضات والنواتج تسمى الأيض. والأيض غالباً ما تكون إذابته في الماء أكبر من المادة الأصلية ولذلك تكون أسهل عند الإفراز. وبشكل عام فهذا الأيض يكون أقل بكثير سُمية من المادة الأصلية. وأحياناً قد يكون الأيض أكثر سُمية من المادة الأصلية.

- المواد المسرطنة، وهي عبارة عن نوع خاص من المواد السامة وتتضمن تأثيرات معقدة متعددة المراحل وتحدث السرطان بعد سنوات من التعرض الأولي.

- الأجهزة الخاصة تتضمن جهاز التنفس والكبد والكلية والجهاز العصبي وجهاز المناعة والجهاز التناسلي وكلها تتأثر بطرق معينة بواسطة المواد المسرطنة والمواد السامة.

4. تقييم المخاطر الكيميائية على صحة الإنسان

يبين هذا الفصل ما يلي:

- العلاقة بين الخطر والتعرض للخطر المتوقع وأهمية تخفيض التعرض لأجل تخفيض الخطر.
- جميع المواد قد تكون سامة والجرعة الصحيحة هي التي تميز بين السم والمادة الآمنة أو الدواء.
- مفهوم **(NOAEL)** يعني: مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ.
- مفهوم **(TDI)** يعني: المدخول اليومي المحتمل للمواد الكيميائية.
- مفهوم **(ADI)** يعني: المدخول اليومي المقبول.
- الفرق بين المدخول اليومي المحتمل للمواد الكيميائية والمدخول اليومي المقبول.
- الاتفاقية الدولية لتقدير احتمالية تأثير المواد الكيميائية وتسببها للسرطان على الإنسان.
- المصادر الكامنة وطرق التعرض للإنسان وتسممه عندما تكون القيم الإرشادية للسُميات غير وقائية للسكان بشكل كامل.

الخطر = المخاطر × التعرض. عند زيادة التعرض تزيد احتمالية الضرر والتقليل من التعرض يعني تقليل الخطر.

تقييم الأخطار الصحية على الإنسان والناجمة عن المواد الكيميائية أمر ضروري للتخطيط لحماية الإنسان والاستخدام المفيد للمادة الكيميائية.

والخطر مفهوم رياضي يشير إلى احتمالية التأثيرات غير المرغوبة والناتجة عن التعرض للملوثات. ويمكن التعبير عن الخطر إما بمصطلح مطلق أو بمصطلح نسبي. فالخطر المطلق هو الخطر الزائد نتيجة للتعرض. والخطر النسبي هو المقارنة بين الخطر في السكان المعرضين والخطر في السكان غير المعرضين. والسلامة هي عكس الخطر، وهي المصطلح الذي يستخدم في العادة ولكن من الصعب تعريفه. فأحد تعريفات السلامة هي التأكيد العملي على عدم وجود التأثيرات السلبية عند استخدام المادة بالكمية والطريقة المقترحة لاستخدامها.

وتقييم الخطر هي العملية التي يتم من خلالها تحديد طبيعة ومقدار الخطر. وعند تقييم "مقدار الخطر"، فإن الشخص يحتاج لتأسيس علاقة بين الجرعة والتأثير "dose-effect relationship" في الأفراد وعلاقة بين الجرعة والاستجابة "dose-response relationship" في السكان. والعلاقة بين الجرعة والتأثير تزودنا بمعلومات عن كيفية زيادة الخطر كإقتران لزيادة التعرض.

وكل مادة كيميائية تكون سامة تحت ظروف معينة من التعرض. والنتيجة الطبيعية الهامة هي أن لكل مادة كيميائية طرق تعرض خاصة بها، قد تكون آمنة فيما يتعلق بصحة الإنسان والبيئة، بوجود استثناءات محتملة للمواد الكيميائية التي قد تسبب السرطان أو تسبب تغييرات دائمة في المادة الوراثية للخلية، والتي لا تكون آمنة في أي مستوى. والغاية الرئيسة من تقييم الخطر هي تحديد مستوى التعرض للمواد الكيميائية الذي لا يشكل خطراً على صحة الإنسان والأنظمة البيئية المعنية.

المعايير الأساسية لاختيار المواد الكيميائية لتقييم الخطر.
*** يحتمل أن تكون المواد الكيميائية خطرة على الإنسان والبيئة.**
*** من المحتمل أن يكون هناك تعرض معنوي للمواد الكيميائية.**
*** احتمالية وجود المواد الكيميائية في البيئة.**
*** احتمالية أن تكون المادة الكيميائية متراكمة حيوياً.**
*** احتمالية تعرض الأشخاص الحساسين وعامة الناس.**

وتقييم الخطر عملية علمية تُقيم احتمالية وطبيعة التأثيرات السلبية والتي قد تنتج عن التعرض للمواد الكيميائية. وإدارة الخطر تهتم بنتائج هذا التقييم العلمي مع العوامل التقنية والاجتماعية والتشريعية والمالية وذلك لتطوير البرامج الوطنية للوقاية من التلوث الناجم عن المواد الكيميائية والسيطرة عليه. وتدرك هذه البرامج أهمية المواد الكيميائية في المجتمع الحديث، بالإضافة إلى أخطارها المحتملة، وتبحث موضوع الحد من التعرض والتقليل من الخطر.

وتقييم الخطر هو مصدر مكثف. يتطلب بين الأشياء الأخرى اختبار السمية على حيوانات التجارب وتحليل التعرض ودراسات وبائية بين فئة الناس المعرضين. وقبل المباشرة بالتقييم الكامل لخطر مواد كيميائية معينة، يجب أن يكون هناك على الأقل مؤشراً بأن المادة الكيميائية "خطرة"، أي من المحتمل أن تسبب تأثيرات سلبية في ظل الظروف التي تُنتج أو تستخدم فيها.

وبعبارة أصح يجب أن يكون هناك على الأقل مؤشراً بأن التعرض للمادة الكيميائية ذا أهمية، وقد تحدث التأثيرات السلبية من هذا التعرض. حتى لو كانت المادة الكيميائية متأصلة الخطورة، فإذا لم يكن هناك تعرض لن يكون هنالك خطر. وضمن المجموعة الكبيرة للمواد الكيميائية التي قد تعتبر خطيرة على صحة الإنسان، يجب وضع أولويات لتقييم أخطار مثل هذه المواد الكيميائية. وليست جميع المواد الكيميائية الخطرة لها نفس الأهمية في جميع الدول، وذلك لعدم توفر مصادر كافية للتعامل مع جميع المواد الكيميائية التي يتم إنتاجها أو استخدامها في تلك الدولة، فيجب اتباع الأولويات بحيث لا يتم إجراء تقييم الخطر على المصادر المحدودة جداً للمواد ذات الأهمية الدُنيا نسبياً.

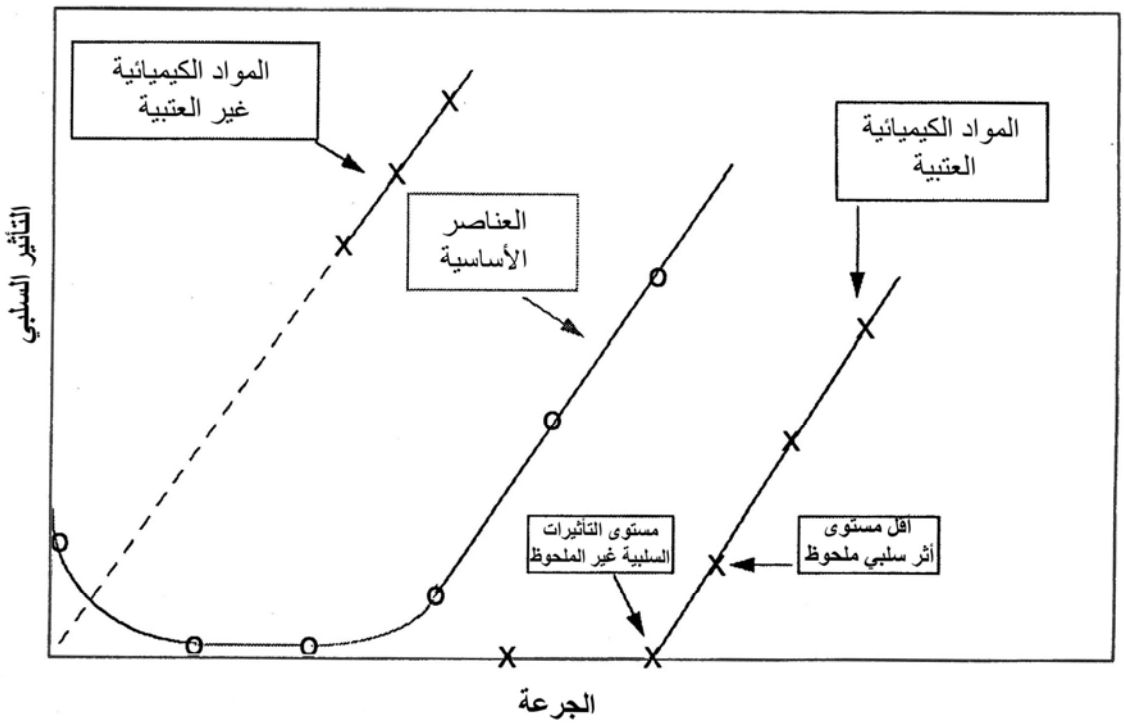
والمعايير الأساسية لاتباع الأولويات في اختيار المواد الكيميائية لإجراء تقييم للخطر هي: (أ) إشارة أو اشتباه وجود خطر على صحة الإنسان و/أو البيئة، ونوع وحِدَّة التأثيرات السلبية المحتملة. (ب) احتمالية أن التوسع في الاستخدام والإنتاج يمكن أن يوجد فرصة للتعرض. (جـ) احتمالية الوجود في البيئة. (د) احتمالية التراكم البيولوجي. (هـ) نوع وحجم السكان (الإنسان وكائنات أخرى) المحتمل تعرضهم. والمادة الكيميائية التي لها أولوية كبرى لتقييم الخطر ستُقدر بشكل كبير بناءً على جميع أو معظم هذه المعايير.

1-4 الطرق المستخدمة لتقييم المخاطر الصحية الناتجة عن تعرض الإنسان

يوجد مصدران رئيسيان للمعلومات عن التأثيرات الصحية الناجمة عن التعرض للمواد الكيميائية. يشتمل الأول الدراسات على السكان. والثاني والذي يستخدم في الغالب، يشتمل على دراسات السمية باستخدام حيوانات المختبر.

ومن الواضح أن المعلومات البشرية عن سمية المواد الكيميائية متعلقة أكثر بتقييم الخطر من تلك المعلومات التي نحصل عليها من تعرض حيوانات التجارب. ومع ذلك، فالتجارب المشتملة على

التعرض المسيطر عليه للمواد الخطرة أو المحتمل أنها خطرة محدود لاعتبارات أخلاقية، ويجب استخدام المعلومات التي يتم الحصول عليها عن البشر في حالات التعرض النموذجي (الدراسات الوبائية). وتكون قيمة الدراسات الوبائية في العادة محدودة وهي مدينة بنقص المعلومات النوعية عن التراكيز التي يتعرض لها السكان أو عند التعرض للمواد الكيميائية الأخرى والتي قد توجد في نفس الوقت وبذلك يصعب ترجمة التأثيرات. وعندما لا تتوفر مثل هذه المعلومات عن التأثيرات الصحية على الإنسان، كما هو حال جميع المواد الكيميائية الصناعية التي لم تستخدم بعد، يجب الحصول على المعلومات من الاختبارات على حيوانات التجارب والإجراءات المخبرية الأخرى في العديد من الحالات، ومثل هذه الدراسات التي تجري على حيوانات المختبرات تعتبر أساس التنبؤ بالتأثيرات السمية للمواد الكيميائية على الإنسان.
والشكل (20) يصف العلاقة بين الجرعة وقيمة التأثيرات السلبية التي تم الحصول عليها من الدراسات والتي تجرى في العادة على حيوانات التجارب ولعدة أنواع من المواد الكيميائية. ويستخدم مصطلح "جرعة" عادة لتحديد كمية المادة الكيميائية التي دخلت أو تم أخذها من العضو وفي العادة يُعَبر عنها بكمية المادة الكيميائية التي تُعطى لوحدة وزن الجسم في حيوانات التجارب. وتبين منحنيات التأثير – الجرعة - العلاقة بين الجرعة وسعة التأثير، سواءً في الأفراد أو الجماعات. ومثل هذه المنحنيات يمكن أن يكون لها أشكال متعددة.



شكل (20) علاقة الجرعة – التأثير للمواد الكيميائية

جميع المواد سموم ولا توجد مادة غير سامة. تفرق الجرعة الصحيحة بين السم والدواء.
باراسيلسس
1541-1493

العناصر الأساسية حالة خاصة لظاهرة الجرعة – التأثير - وهي موضحة بالشكل (20). وبالنسبة للعناصر مثل الحديد واليود، هنالك جرعة مرغوبة تلبي المتطلبات الغذائية للأفراد. وما دون هذه الجرعات، قد تظهر التأثيرات السلبية وتسمى حينئذٍ بالنقص الغذائي حيث تسبب فقر الدم في حالة الحديد وتضخم الغدة الدرقية في حالة اليود. وفوق هذه الجرعة، قد يصبح العنصر الأساسي سماً وينتج عنه تأثيرات سلبية مثل التضخم الدرقي مرة أخرى في حالة الأيوديد والتلون الدموي في حالة الحديد، والمرض الذي يدعى الزرب الشبهي [داء البول السكري البرونزي (bronze diabetes)] بسبب مرض السكري الناتج وإنصباغ الجلد نتيجة التعرض

المفرط للحديد. ووصف باراسيلسس "Paracelsus" (1493م-1541م) بدقة منحنى الجرعة – التأثير للعناصر الأساسية في هذه العبارة الموجودة في الصندوق أعلاه.

إن الـ NOAEL هو أكبر جرعة أو تركيز للمادة الكيميائية تنتج تأثيراً عكسياً غير ملحوظ لدى عينة السكان الإختبارية. وهي حجر الأساس لتقييم الخطر وإيجاد المستويات المحتملة للتعرض البشري.

وبالنسبة لمعظم المواد الكيميائية، فإن الجرعات التي دون حد العتبة قد لا ينتج عنها تأثيراً ساماً. وحد العتبة للتأثير السلبي للمادة الكيميائية يعرف بأنه التركيز أو الجرعة الذي يزيد عن التأثيرات العكسية القابلة للكشف ويقل عن ظروف التعرض. وحد العتبة هذا مشتق من مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ "NOAEL". ويُعبر عن مستوى التأثيرات العكسية غير الملحوظ بالملغم أو المايكروغرام لكل كيلوغرام من وزن الجسم في اليوم، وهو حجر الأساس لتقييم خطر عتبة المواد الكيميائية واشتقاق المستويات المسموح بها على أساس الصحة للتعرض البشري.

ويتم تحديد مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ بعد اعتبار جميع المعلومات السمية المتوفرة. وذلك يشتمل بشكل عام على دراسات جادة، ودراسات طويلة وقصيرة الأمد ودراسات بيولوجية كيميائية (مشتملة على الامتصاص وتوزيع الأنسجة والطرح والأيض ونصف العمر البيولوجي والتأثيرات على الأنزيمات). بالإضافة إلى ذلك، هنالك دراسات معينة عن تأثيرات الأمراض مثل السرطان والتناسل وتشوهات حديثي الولادة وسمية العصبونات. وكذلك يتم اعتبار الدراسات البشرية والمعلومات الأخرى إذا توفرت، مثل علاقات البنية – النشاط في بعض التجارب -، لأن اختيار مستويات الجرعة قد يكون مرتفعاً جداً كذلك يمكن تحديد أدنى مستوى تأثير عكسي ملحوظ "LOAEL" فقط. و "LOAEL" هي الجرعة الدنيا أو تركيز المادة الكيميائية، والذي وجد بالتجربة أو الملاحظة، وهو الذي يسبب التأثيرات العكسية في العضو تحت ظروف معينة من التعرض. وعندما لا يمكن تحديد مستوى التأثيرات العكسية غير الملحوظ. فإنه يمكن استخدام مستويات التأثيرات العكسية الدنيا الملحوظة لاشتقاق مستويات التعرض المسموح بها على أساس صحة الإنسان.

وقد تؤثر العديد من العوامل على قيمة مستوى التأثيرات العكسية غير الملحوظ والتي تشمل طريقة التعرض والأصناف وجنس وعمر الحيوانات التي تمت دراستها ومدة التعرض. بالإضافة إلى ذلك فينتج في الدراسات المخبرية، عن اختيار مستويات الجرعة المتباعدة بشكل كبير قيمة ملحوظة لمستويات التأثير العكسي غير الملحوظ والتي تكون قيمتها أقل بكثير من القيمة الحقيقية لمستوى التأثيرات العكسية غير الملحوظ.

إن الجرعة الآمنة افتراضياً هي جرعة المواد الكيميائية الخطرة وهي قليلة جداً بحيث لا تعتبر أنها تشكل خطراً على الإنسان حتى أثناء التعرض اليومي مدى الحياة.

وبالنسبة لبعض التأثيرات السمية مثل السرطان والطفرات الوراثية يُفترض في العادة بأن جزيئاً واحداً من المادة الكيميائية يكفي للبدء بعملية تؤدي إلى تأثيرات ضارة ومتقدمة مثل السرطان. وتعود نظرية الجزيء الواحد الكافي لإحداث التأثيرات السلبية في العادة إلى ما يسمى "نموذج الضربة الواحدة". ولهذا السبب ربما ليس من الممكن إظهار أن جرعة العتبة للمواد المسببة للسرطان (المسرطنات) أو المسببة للطفرات موجودة.

وتتم الدراسات التي أُجريت في العادة لتحديد ما إذا كان لدى المواد الكيميائية القدرة على التسبب بالسرطان على حيوانات التجارب المخبرية، مثل الفئران والجرذان، وذلك بجرعات أكبر بعدة أضعاف من مستويات التعرض المتوقعة تحت ظروف الحياة الحقيقية. والنماذج الرياضية يمكن استخدامها فيما بعد لتقدير الخطر على الإنسان من هذه المواد الكيميائية على مستويات التعرض الأقل بكثير والأكثر احتمالاً.

ويستخدم عدد من هذه النماذج لتحديد "الجرعة الآمنة افتراضياً" VSD للمواد المسرطنة للإنسان. ومع ذلك، فقد تنجم عن النماذج الرياضية المختلفة المتوفرة، عند تطبيقها على نفس المعلومات، قيم الجرعات الآمنة الافتراضية VSD والتي تزداد بمعاملات مضاعفة لآلاف المرات أو أكثر. ولا يوجد اتفاق بين خبراء علم السموم على "أفضل" نموذج رياضي متوفر اليوم.

1-1-4 الاشتقاق على أساس صحي لمستويات التعرض المحتملة للإنسان

1-1-1-4 المواد الكيميائية العتبية

إن الهدف من تقييم سلامة المواد الكيميائية في الغذاء والهواء والماء هو تحديد المدخول اليومي المحتمل [tolerable daily intake] وإن الـ (TDI) هو تقدير المدخول اليومي المحتمل للمواد الكيميائية والتي توجد مدى الحياة دون إحداث خطر صحي ممكن تقديره. لأنه في غالبية الحالات لا يوجد معلومات كافية من الإنسان لتسمح بحسابات الـ (TDI) لكن نتائج الدراسات على الحيوانات يجب قياسها على الإنسان.

4-1-1-2 معامل اللايقين

في حساب المدخول اليومي المحتمل للمواد الكيميائية، يتم تطبيق معامل اللايقين في العادة على مستوى للتأثير العكسي غير الملحوظ من الدراسة الأكثر تناسباً لتقييم الأخطار الصحية البشرية. وإن معامل اللايقين المستخدم يعكس الثقة في قاعدة المعلومات ودرجة الاهتمام بالتأثير السمي. ويعتبر ذلك صحيحاً وبشكل خاص بالنسبة للتأثيرات المسرطنة. وعندما يكون الخطر المتأصل للمادة الكيميائية كبيراً فإنه يحتاج إلى معامل اللايقين كبير جداً وخاصة إذا تم الاهتمام بسلامة الإنسان الذي يتعرض للمواد الكيميائية.

ولا توجد قواعد صعبة وسريعة يمكن عملها فيما يتعلق بقيمة معامل اللايقين هذا، لأن العديد من المظاهر يجب اعتبارها مثل الاختلافات في التحسس للتأثيرات السمية بين الأصناف المختلفة والتفاوت الفردي وعدم اكتمال المعلومات المتوفرة والعديد من العوامل الأخرى. ويجب الأخذ بالاعتبار حقيقة أن الناس في جميع أعمارهم وعلى مدى حياتهم، المرضى والأصحاء، بالإضافة إلى الأولاد، قد يتعرضون إلى المواد الكيميائية، وأن هنالك تفاوتات كبيرة في أنماط التعرض الفردي. وجميع هذه الاعتبارات تؤثر على اختيار معامل اللايقين. وبعض الاعتبارات في اختيار معامل اللايقين موضحة في القسم 4-1-3-1.

وقيمة معامل اللايقين في العادة هي 100 في حالة مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ NOAEL وهي مشتقة من دراسات الحيوانات المشتملة على التعرض اليومي مدى الحياة (عند الجرذان، تعرض "مدى الحياة" هو سنتان)، هذا المعامل يرتكز على الافتراض بأن الإنسان حساس بما مقداره 10 أضعاف من الحيوانات المخبرية وأن هنالك مدى 10 أضعاف للحساسية في السكان. وعندما لا تتم ملاحظة أية تأثيرات عكسية في الدراسات طويلة الأمد، فإن معامل اللايقين 100 يؤخذ على مستوى التأثيرات العكسية غير الملحوظ والمشتقة من الدراسات قصيرة الأمد والتي تستخدم فيها مستويات جرعة أعلى وتتم ملاحظة التأثير (أي الدراسات التي تبلغ مدتها 3 شهور). ومع ذلك، فهنالك أوقات عندما يكون معامل اللايقين 100 غير كافٍ. وبالتالي، فقد يتطلب وجود معامل اللايقين أعلى عندما تكون المعلومات غير كافية، وعندما تكون الدراسة عند مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ NOAEL – غير كافية (مثل وجود عدد قليل من الحيوانات)، عندها تكون التأثيرات غير سلبية وبخاصة عندما يتم الاشتباه بالتوالد والتأثيرات المتعلقة بالسرطان. ويستخدم معامل اللايقين بدرجة عالية تتراوح بين 5000-10000 من قبل بعض المنظمات الدولية في تقييم السلامة للمواد الكيميائية. ولا يستخدم معامل اللايقين للمواد الكيميائية المعروفة بتسببها بالسرطان من خلال تغيير المادة الوراثية لأنه لا يمكن تحديد مستوى سلامة متكاملاً للتعرض. كما تحتاج هذه المواد الكيميائية إلى تقييم خاص للسماح باستخدامها.

وعند توفر المعلومات المتعلقة بالإنسان، فإن معامل التفاوت بين الأجناس ليس ضرورياً ومعامل اللايقين بين الأجناس (عادة يكون 10) يمكن تطبيقه. ومع ذلك، فإن القليل من المتغيرات نسبياً تتم دراستها في الإنسان لتقييم سلامة المواد الكيميائية، والمعلومات عن السرطان، والتأثيرات الوراثية والتأثيرات طويلة الأمد تكون نادرة. وبناءً عليه فقليلاً ما يتم استخدام معامل اللايقين المتدني 10.

4-1-2 طبيعة المدخول اليومي المحتمل (TDI)

المدخول اليومي المحتمل (TDI) هو تقدير المدخول اليومي للمواد الكيميائية التي توجد طوال العمر بدون وجود أخطار تذكر على الصحة.

تعتبر الـ TDI جرعات المواد الكيميائية المسموحة يومياً على مدى الحياة، والمستويات التي يتم اختبارها بحيث تجتازها لفترة قصيرة من الزمن ولا تؤدي إلى مشاكل.

وعلى الرغم من أنه يمكن تجاوز الـ TDI لفترة قصيرة من الزمن، إلا أنه ليس من الممكن إجراء تعميم على مدة الإطار الزمني الذي يسبب بعض المشاكل. وتعتمد احتمالية وجود التأثيرات الضارة على العوامل التي تختلف من مادة كيميائية إلى أخرى. ونصف العمر البيولوجي للمادة الكيميائية أو المدة التي يحتاجها الجسم للتخلص من المادة الكيميائية وطبيعة السمية والمقدار الذي يتجاوز به التعرض الـ TDI هي جميعها حرجة.

ويستعمل معامل اللايقين الكبير عادة في إيجاد الـ TDI وكذلك للتأكد من أن التعرض الذي يتجاوز الـ TDI لفترة قصيرة من الزمن لا يمكن أن ينتج عنه تأثيرات ضارة على الصحة. ومن ناحية ثانية، يجب الحذر من المواد الكيميائية التي تتطلب تعرضاً واحداً لإحداث تأثيرات سمية حادة.

ويتم التعبير عن الـ TDI من صفر إلى الحد الاعلى والذي يعتبر نطاق المقبول.

1-2-1-4 المواد الكيميائية غير العتبية

بشكل عام تعتبر المواد الكيميائية المسرطنة المسببة للسرطان من خلال التفاعل مع المادة الوراثية، مواداً غير عتبية. وبعبارة أخرى، فإن هنالك إمكانية لوجود ضرر أو خطر على أي مستوى من التعرض. وبالتالي، فإن وجود الـ TDI يعتبر غير مناسب ويتم استخدام النماذج الرياضية لتقدير الخطر عند مستويات التعرض المتدنية جداً والتي قد توجد في الأوضاع اليومية. ومن ناحية أخرى، فإن هنالك مسرطنات قادرة على إحداث الأورام في الحيوانات أو الإنسان دون التفاعل مع المادة الوراثية، ولكنها تؤثر من خلال آلية غير مباشرة. ويعتقد العديد من العلماء أن الجرعة العتبية هي الجرعة التي تقل عن التأثيرات السلبية المتوقعة وموجودة في هذه المسرطنات غير السامة للجينات.

وتوجد المواد الكيميائية المسرطنة، الطبيعية أو التي من صنع الإنسان، في الطبيعة. ومن أجل البحث فيما إذا كانت هذه المواد الكيميائية مسرطنة للإنسان، تُجري في العادة العديد من الدراسات على الفئران والجرذان في المختبرات وتشتمل هذه الدراسات على التعرض اليومي لمعظم فترة حياتها (سنتان للجرذان و18 شهراً للفئران)، وتجري الدراسات على الفئران والجرذان على مستويات تعرض مرتفعة جداً، من أجل اختبار المواد الكيميائية تحت ظروف تعرض مُبالغ فيها. ومستويات الجرعة المرتفعة هذه ليس المقصود منها محاكاة التعرض البشري النموذجي. وبالأحرى فإن المقصود من هذه الجرعات المرتفعة زيادة الفرصة لظهور السرطان إذا كانت المادة الكيميائية قادرة على إحداث التأثير. وبعد ذلك يمكن استخدام النماذج الرياضية لتقدير الخطر على مستويات الجرعة أو على مستويات التعرض والتي هي نموذجية أكثر للتعرض البشري.

ومن أجل إيضاح ما يتعلق بالآلية الأساسية للسرطان، فكل مركب مسرطن يجب تقييمه على أساس كل حالة – بحالة، آخذين بالاعتبار دليل سُمية الجينات (genotoxicity) وعدد أنواع الأجناس المتعرضة للسرطان وعلاقة الإنسان مع الأورام الملحوظة بالحيوانات المخبرية. كذلك يجب عدم استخدام مركبات معينة ولا بأي حال إذا كانت تسبب السرطان لحيوانات التجارب وإذا كان من المتوقع وجود مستويات مرتفعة من التعرض البشري نتيجة الاستعمال النموذجي لهذه المواد الكيميائية.

ويُعتقد بأن الدراسات على الحيوانات لتحديد احتمالية تسبب المادة الكيميائية للسرطان في الإنسان يمكن الاعتماد عليها كثيراً. وجميع المسرطنات البشرية المعروفة والتي تمت دراستها بقدر كافٍ على حيوانات التجارب تم إثبات تسببها بالسرطان في صنف أو عدة أصناف من الحيوانات. وبالنسبة للعديد من العوامل (الأفلاتوكسين والتبغ وقار الفحم وكلوريد الفينيل)، فقد وُجد السرطان في حيوانات التجارب أو أُشتبه بوجوده بدرجة كبيرة حتى قبل الدراسات الوبائية التي أكدت على قدرة هذه المواد الكيميائية على التسبب بالسرطان عند الإنسان. وعلى الرغم من أن هذا الدليل لم يُثبت بأن جميع العوامل التي تسبب السرطان في حيوانات التجارب تسبب كذلك السرطان في الإنسان، ومع ذلك، فإنه يعُتقد وبشكل عام أنه (بغياب المعلومات الكافية عن الإنسان، من الفطنة اعتبار العوامل أو المواد الكيميائية التي تسبب السرطان في حيوانات التجارب كأنها تُحدث خطر السرطان في الإنسان). بالارتكاز على هذا المبدأ، قامت الوكالة الدولية لبحوث السرطان وفي تقييمها الكُلي لسرطنة المواد الكيميائية، بتقسيم المواد الكيميائية إلى المجموعات التالية:

من المتفق عليه بشكل عام في حال نقص المعلومات عن الإنسان، من الفطنة اعتبار المواد الكيميائية التي تسبب السرطان في حيوانات التجارب كأنها قادرة على تسبب السرطان في الإنسان.
(الوكالة الدولية لبحوث السرطان).

المجموعة 1: العامل مسرطن للإنسان، يستخدم هذا التصنيف عندما يكون هنالك دليل كافٍ على أن المادة مسرطنة في الإنسان (مثل الأفلاتوكسينات والزرنيخ ومركبات الزرنيخ والبنزين والسناج ودخان التبغ).

المجموعة 2أ: العامل ربما يكون مسرطناً للإنسان، يستخدم هذا التصنيف عندما يكون دليل السرطنة في السكان محدوداً ويكون هنالك دليل مقنع للسرطنة في حيوانات التجارب (مثل acrylonitrile وbenzo[a] pyrene والكادميوم ومركبات الكادميوم والفورمالديهايد وبولي كلورونيتيد ثنائي فينول وبروميد الفينيل).

المجموعة 2ب: العامل من المحتمل أن يكون مسرطناً للإنسان. يستخدم هذا التصنيف عندما يكون هنالك فقط دليل محدود للسرطنة في الإنسان ويكون الدليل أقل إقناعاً للسرطنة في حيوانات التجارب (مثل الاستلديهايد ورابع كلوريد الكربون و DDT وسداسي كلوريد البنزين و saccharin وurethane).

المجموعة 3: العامل غير مصنف على أساس السرطنة، يستخدم هذا التصنيف بكثرة عندما يكون دليل السرطنة في الإنسان غير كافٍ ويكون محدوداً في حيوانات التجارب (مثل الألياف الأكريليكية وألدرين والأنيلين والكابتان والكوليسترول وثنائي ألدرين و maneb وصناعة المصابيح والأوراق وبولي فينيل كلوريد وأسيتات الفينيل و zineb).
المجموعة 4: العامل ربما يكون غير مسرطن للإنسان، يستخدم هذا التصنيف عندما يتم فحص المادة الكيميائية بشكل كامل ولا يُعتقد بأنها قادرة على إحداث السرطان في كل من الإنسان وحيوانات التجارب (مثل caprolactam).

4-1-3 حالات دراسية

4-1-3-1 القيم الإرشادية الصحية للمواد الكيميائية في مياه الشرب

وزعت منظمة الصحة العالمية WHO في عام 1993م، نشرات حول نوعية مياه الشرب. وتم إعطاء الأولوية لاختيار 120 مادة كيميائية لتقييمها في النشرات، كما أن مستويات التعرض المرتكزة على الصحة من مياه الشرب تمت التوصية بها لـ 95 مادة من هذه المواد. والمواد التي تم اختيارها للتقييم تم تحديدها بثلاثة معايير:

- تسبب المادة خطراً محتملاً على صحة الإنسان.
- المادة معروفة بوجودها المتكرر وبتراكيز مرتفعة نسبياً في مياه الشرب.
- للمادة اعتبارات على المستوى الدولي (أي تحظى باهتمام العديد من الدول).

إن القيم الإرشادية لم يتم التوصية بها لمواد معينة لأنه وجد بأنها لا تشكل خطورة على الصحة، وذلك لعدم توفر معلومات كافية عن التأثيرات الصحية، أو لأن تركيز المادة الكيميائية الموجود عادة في المياه لا يشكل خطراً على صحة الإنسان. وتشمل الملوثات التي يتم تقييمها مجموعة واسعة من المواد الكيميائية المستخدمة في الصناعة والزراعة.
وبالنسبة للمواد الكيميائية التي تُظهر حداً عتبياً للتأثيرات السامة، فيتم اشتقاق القيم الإرشادية عن طريق استخدام المنهجية التالية:

- تطوير المدخول اليومي المحتمل (TDI) بالارتكاز على تفسير المعلومات المتوفرة عن السمية. وينشأ الـ (TDI) عن طريق تطبيق معامل اللايقين على مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ NOAEL أو أدنى مستوى للتأثير العكسي الملحوظ LOAEL.
- الافتراض بأن التناسب للتعرض اليومي الكلي للمادة الكيميائية ومن ثم الـ (TDI)، يأتي من تناول مياه الشرب. ويرتكز التوزيع النسبي على معلومات التعرض النسبي من خلال الطرق المختلفة (الهواء والغذاء والماء).

وهذه المنهجية يُعبر عنها بالمعادلتين التاليتين:

$$\frac{NOAEL}{UF} = TDI$$

$$\frac{(TDI)\ (bw)\ P}{C} = GV$$

حيث:

- NOAEL: هي مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ – أكبر جرعة للمادة الكيميائية تم الحصول عليها بالتجربة أو الملاحظة والتي لا تؤدي إلى وجود تأثير عكسي ملحوظ. وإذا لم يتوفر الـ NOAEL، يتم استخدام أدنى مستوى للتأثير العكسي الملحوظ (LOAEL) مع الزيادة المماثلة في معامل اللاّيَقين (UF). وإن الـ LOAEL هو أقل جرعة من المادة قد تسبب أثراً صحياً عكسياً ملحوظاً.
- معامل اللاّيَقين (UF) هو القيمة التي يُقسم عليها NOAEL أو LOAEL لاشتقاق المدخول اليومي المحتمل (TDI). وتعتمد قيمة معامل اللاّيَقين على طبيعة التأثير السمي وحجم ونوع السكان الذين تتم حمايتهم ونوعية المعلومات عن السمية، ويقرر معامل اللايقين بالارتكاز على مبدأ حالة بعد حالة (case – by – case). ويستخدم معامل اللاّيَقين من القيمة 1 إلى القيمة 10,000. وقواعد معامل اللاّيَقين تكون كالآتي:

مصدر معامل اللايقين	العامل
الاختلافات بين الأجناس (من الحيوانات إلى الإنسان)	1 – 10
الاختلافات بين الأجناس (التغير في عدم الحساسية بين أعضاء الجنس الواحد)	1 – 10
كفاية الدراسات أو قاعدة المعلومات	1 – 10
طبيعة وحِدّة التأثير	1 - 10

إذا أوصت المعلومات المتوفرة بأن معامل اللاّيَقين المطلوب أكثر من 10,000 فبالتالي سيكون الـ (TDI) غير دقيق وذلك لوجود نقص في المعنى. ومثل هذا الوضع يشير إلى الحاجة الماسة لمعلومات إضافية كما يشير إلى أنه لم يتم التقدير الموثوق بالاعتماد على المعلومات المتوفرة.

- TDI = المدخول اليومي المحتمل – وهو تقدير كمية المادة السامة في الغذاء وماء الشرب، يتم التعبير عنه على أساس وزن الجسم (ملغم أو مايكروغرام/كيلوغرام من وزن الجسم) والتي يتم تناولها يومياً على مدى الحياة بدون إحداث أية أخطار صحية تُذكر.
- bw = وزن الجسم (كغم) – في العادة يكون وزن البالغ 60 كغم. بينما عند الأطفال الرضع والأولاد المعرضين بشكل خاص للخطر، يتم استخدام وزن الجسم 5 كغم أو 10 كغم.
- P = النسبة المئوية للـ (TDI) المخصصة لمياه الشرب، ويعبر عنه بكسر. ويرتكز التخصيص على المعلومات عن التعرض النسبي من خلال الطرق المختلفة. وتُستخدم القيم التي تتراوح من 0.01 إلى 1 بالاعتماد على قيمة التعرض من الغذاء والهواء. عندما تكون المعلومات عن مصادر التعرض محدودة، ويُستخدم معامل التصحيح 10% للدخول اليومي المحتمل (TDI).
- C = الاستهلاك اليومي لمياه الشرب – 2 لتر للبالغين، 1 لتر للأطفال الذين يزنون 10 كغم و0.75 لتر للرضع الذين يزنون 5 كغم.
- GV = القيمة الإرشادية بالملغم أو المايكروغرام لكل لتر من ماء الشرب.

وبالنسبة للمواد الكيميائية التي ليس لها حداً عتبياً، مثل تلك المواد الكيميائية التي قد تسبب السرطان من خلال التفاعل مع المادة الوراثية (مسرطنات سامة للجينات)، ففي العادة يتم تبني نموذجاً رياضياً معتدلاً عند إظهار القيم الإرشادية. والأخطار التقديرية ارتكزت على شخص يزن 60 كغم ويشرب 2 لتر ماء في اليوم على مدار حياته 70 سنة. والقيمة الإرشادية هي التركيز في مياه الشرب والتي لا يتوقع أن تزيد من خطر السرطان مدى الحياة لأكثر من حالة واحدة بين 100,000 شخص ممن شربوا مياه الشرب التي تحتوي على المادة عند القيمة الإرشادية لـ 70 سنة. وهذا الإفراط في خطر السرطان على مدى الحياة هو قيمة مطلقة وهو يعود للدولة بمفردها لاختيار الزيادة المقبولة في خطر السرطان. إن التركيز المرتبط بالزيادة التقديرية لخطر السرطان على مدى الحياة لشخص واحد بين عشرة آلاف شخص وشخص بين مليون يمكن حسابها عن طريق ضرب وقسمة القيمة الإرشادية بـ 10 على التوالي.
ويجب التأكيد بأن القيم الإرشادية للمواد المسرطنة المحسوبة باستخدام النماذج الرياضية يمكن اعتبارها في أفضل الأحوال كتقدير تقريبي لخطر السرطان. وقد تنجم عن معامل اللايقين أخطاء تقدر بمئة ضعف أو أكثر. ومع ذلك، فإن استخدام النموذج الرياضي المعتدل يُغالي في تقدير الأخطار عند الجرعات القليلة المطابقة للتعرض البشري. وتعطي تقديرات أعلى لخطر السرطان من غيرها من النماذج، وقد يكون الخطر الفعلي صفراً. والتعرض قصير الأمد المعتدل للمستويات التي تتجاوز قيمة الإرشادات للمواد المسرطنة لا تؤثر بشكل كبير في الخطر الكلي على مدى الحياة.
ويوضح الجدول رقم (18) أمثلة على القيم الإرشادية للمواد الكيميائية الملوثة في مياه الشرب والتي توصي بها منظمة الصحة العالمية (WHO).

جدول 18. القيم الإرشادية (GV) لملوثات مختارة في مياه الشرب

المادة الكيميائية	القيمة الإرشادية (ملغم/لتر)	الملاحظات
الزرنيخ	0.01	عند الزيادة عن 6×10^{-4} تسبب خطر إصابة الجلد بالسرطان (قيمة إرشادية مؤقتة)
الكادميوم	0.003	-
الفلوريد	1.5	حسب الظروف الجوية، استهلاك حجم من المياه والمأخوذة من مصادر أخرى يجب اعتباره حسب المواصفات الوطنية الموضوعة.
الرصاص	0.01	يجب أن يُدرك بأنه ليس كل المياه تلائم القيم الإرشادية بصورة فورية، في الوقت نفسه كل القياسات الأخرى التي ينصح بها لخفض التعرض الكلي للرصاص يجب أن تحقق.
الزئبق (كلي)	0.001	-
النايتريت	50	مثل آيون النايتريت
1،2 ثنائي كلورويثين	0.03	تقدير الزيادة عن 10^{-5} المسببة لخطر الإصابة بالسرطان.
DDT	0.002	-
كلوروفورم	0.2	-

4-1-3-2 القيم الإرشادية الصحية للمواد الكيميائية في الهواء

إن التعرض للمواد الكيميائية والملوثات الكيميائية قد يوجد في الهواء والغذاء ومياه الشرب وفي العادة يوجد من خلال مجموع ما تم ذكره.

ينبعث العديد من المواد الكيميائية في الهواء من مصادر طبيعية أو من صنع الإنسان. وتصل كمية المواد الكيميائية من مئات إلى ملايين الأطنان سنوياً. وينشأ التلوث الجوي الطبيعي عن مصادر حيوية وغير حيوية (مثل المنشآت والتحلل الإشعاعي وحرائق الغابات والبراكين والمصادر الطبيعية الأخرى والإنبعاثات من الأرض والماء)، ويصل إلى التركيز الطبيعي والذي يتفاوت بناءً على المصادر المحلية أو ظروف جوية معينة. وُجد تلوث الهواء الناتج عن الإنسان منذ زمن تعلم الإنسان استخدام النار، ولكن التلوث ازداد بسرعة منذ بداية الصناعة. وجاءت الزيادة في التلوث الجوي نتيجة للتوسع في استخدام مصادر الطاقة الإحفورية والتطور في صناعة واستخدام المواد الكيميائية ورافقه حجم الوعي العام والاهتمام بالتأثيرات الضارة على الصحة والبيئة.

إن تأثير التلوث الجوي واسع. والمواد الكيميائية التي يستنشقها الإنسان عن طريق الرئة ويتم امتصاصها في الجسم قد تكون لها عواقب مباشرة على الصحة. ومع ذلك، قد تتأثر صحة الإنسان بطريقة غير مباشرة من خلال ترسب ملوثات الهواء في النباتات والحيوانات والأوساط البيئية الأخرى. حيث ينتج عن ذلك دخول المواد الكيميائية لسلسلة الغذاء أو تكون موجودة في مياه الشرب وبالتالي فإنها تمثل مصادر إضافية محتملة للتعرض البشري. بالإضافة إلى ذلك، فإن التأثيرات المباشرة لملوثات الهواء على النباتات والحيوانات والتربة تؤثر على بُنية ووظيفة الأنظمة البيئية، بما في ذلك مقدرتها على التنظيم الذاتي الطبيعي، وبالتالي فإنها تؤثر على نوعية الحياة.

وقد تسبب ملوثات الهواء العديد من التأثيرات التي تتطلب الاهتمام مثل التهيج والمضايقة من الروائح والتأثيرات الصحية قصيرة وطويلة الأمد (مشتملة على التأثيرات المسرطنة). ولقد أصدرت منظمة الصحة العالمية نشرات عن دلائل نوعية الهواء Air Quality Guidelines (AQG)، حيث قدمت قواعد حماية الصحة العامة من التأثيرات السلبية لتلوث الهواء. تبين القيم الإرشادية المعطاة في دلائل نوعية الهواء (AQG) المستويات المرتبطة بأوقات التعرض التي لا تحدث تأثيرات سلبية فيما يتعلق بنقطة المعايرة النهائية غير المسرطنة. وتقوم هذه النشرات بتقدير خطر السرطان المتزايد على مدى الحياة من تلك المواد التي ثبتت سرطنتها أو على الأقل مسرطنة بأدلة محدودة للسرطنة البشرية (أنظر القسم 4-1-2-1). ومع ذلك، فإن مطابقة القيم الإرشادية لا يضمن عدم وجود التأثيرات في المستويات التي تقل عن مثل هذه القيم. وعلى سبيل المثال، المجموعات الحساسة بدرجة كبيرة وبخاصة التي يضعفها المرض أو المحددات الفسيولوجية الأخرى قد تتأثر عند أو بالقرب من التراكيز الإرشادية والتي تعتبر في الوضع الاعتيادي آمنة لمعظم السكان. وقد تنتج التأثيرات الصحية التي تقل عن القيم الإرشادية عن التعرض المركب للعديد من المواد الكيميائية أو نتيجة التعرض لنفس المادة الكيميائية من عدة مصادر وطرق (الهواء والغذاء والماء).

ويبحث دليل نوعية الهواء (AQG) في مواد كيميائية مفردة. وتؤدي المواد الكيميائية التي يحتويها المزيج لإحداث تأثيرات إضافية أو مؤازرة أو مضادة. ومع ذلك، فإن المعرفة بهذه

التفاعلات قليلة بشكل عام. ومن الاستثناءات الموجودة التأثير المركب لثاني أكسيد الكبريت والدقائق الصغيرة في الهواء، حيث أن المعلومات غير كافية في الوقت الحاضر لعمل إرشادات عن المخاليط.

3-1-4-3 إجراءات عمل قيم إرشادية لنوعية الهواء

بالنسبة للمركبات التي ليس لها تأثيرات مسرطنة، نقطة البداية لاشتقاق القيم الإرشادية تكون بمعرفة التركيز الأقل الذي تتم عنده ملاحظة أدنى مستوى تأثير عكسي ملحوظ على الإنسان والحيوان والنبات، (LOAEL). وفي حالة التأثيرات المهيجة والتحسسية في الإنسان، يتم تحديد مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ (NOAEL). ويستخدم الحُكم العلمي لتحديد أدنى مستوى تأثير عكسي ملحوظ، (LOAEL) أو التأثير العكسي غير الملحوظ (NOAEL).

إن ظهور الاستجابة السمية هي معادلة معقدة للتفاعل بين مقدار التعرض وتكراره ومدة التعرض. وقد تؤدي المواد الكيميائية إلى وجود تأثيرات سلبية بعد مقدار قليل من التعرض وتأثيرات لاسلبية أو التأثيرات المسببة للعجز بعد فترة طويلة من التعرض. وبشكل عام، عندما يؤدي التعرض قصير الأمد إلى وجود تأثيرات سلبية، يُوصى بأخذ متوسط أوقات التعرض قصير الأمد. وسوف يكون استخدام متوسط التعرض طويل الأمد في نفس الظروف مُضللاً، لأن النمط النموذجي للتعرضات المرتفعة والمتكررة يتم أخذ متوسطها لفترة من الزمن ومسؤول الخطر قد يجد صعوبة في تقرير الاستراتيجيات الفعالة. وفي حالات أخرى، تكون المعرفة بالاستجابة للتعرض كافية للتوصية بالمتوسط طويل الأمد. وذلك يتكرر بالنسبة للمواد الكيميائية التي تتراكم في الجسم مع مرور الوقت، وبالتالي فإنها تؤدي لإحداث تأثيرات سلبية. وفي مثل هذه الحالات، يكون التعرض المتكرر حتى على المستوى المتدني مؤثراً أكثر من نمط التعرض المتكرر والمرتفع.

ومثل هذا الوضع يتمثل في التأثيرات على النبات. حيث تتعرض النباتات للتلف من خلال التعرضات قصيرة الأمد وبتراكيز مرتفعة بالإضافة إلى التعرضات طويلة الأمد بتراكيز منخفضة. وبالتالي، فإنه يُقترح اتباع الإرشادات قصيرة الأمد وطويلة الأمد لحماية النباتات (أنظر القسم 3-5).

وفي إرشادات نوعية الهواء (AQG)، يتم تقدير الخطر المرتبط بالتعرض مدى الحياة إلى تركيز معين من المسرطنات في الهواء عن طريق نماذج تفترض وجود خطر ما عند أي مستوى من التعرض.

ويعتمد اختيار النموذج الرياضي على الفهم الحالي لآليات تأثير السرطان ولا يوجد إجراء رياضي منفرد يمكن اعتباره مناسباً تماماً لتقدير الأخطار عند المستويات النموذجية لتعرض الإنسان. كما أن النماذج التي تفترض بأن كل مستوى من التعرض يسبب خطراً تستخدم على المستوى الدولي والمستوى الوطني أكثر من النماذج التي تفترض حد عتبة آمن فعلياً.

وتعطي الحسابات التي يُعبر عنها بوحدة تقديرات الخطر فرصة لمقارنة المسرطنات بمواد مختلفة وتساعد في وضع الأولويات للسيطرة على التلوث بناءً على وضع التعرض الموجود عن طريق استخدام وحدة تقدير الخطر ويتم تجنب أي مرجع آخر لاحتمالية الخطر. ويجب اتخاذ قرار إحتمالية الخطر من قبل السلطات الوطنية في إطار عمل إدارة الخطر.

وبعض الأمثلة على قيم الإرشادات لنوعية الهواء موضحة في الجدولين رقم (19) و(20).

جدول 19. القيم الإرشادية للمواد المستقلة في الهواء بناءاً على التأثيرات الناتجة غير السرطانية أو الرائحة والإزعاج

المادة	القيم الإرشادية	الوقت الجائز للتعرض
أول أكسيد الكربون	100 ملغم /م^3 60 ملغم /م^3 30 ملغم /م^3 10 ملغم /م^3	15 دقيقة 30 دقيقة ساعة واحد 8 ساعات
الرصاص	1-0.5 مايكروغرام/م^3	سنة واحدة
ثاني أكسيد النيتروجين	400 مايكروغرام/م^3 150 مايكروغرام/م^3	ساعة واحد 24 ساعة
الأوزون	200-150 مايكروغرام/م^3 120-100 مايكروغرام/م^3	ساعة واحد 8 ساعات
ثاني أكسيد الكبريت	500 مايكروغرام/م^3 350 مايكروغرام/م^3	10 دقائق ساعة واحد

جدول 20. خطر المواد المسرطنة والمُقدرة اعتماداً على الدراسات الإنسانية

المادة	خطر الوحدة ℵ	موقع الورم الخبيث
اكريلونايترايل Acrylonitrile	2×10^{-5}	الرئة
الزرنيخ	4×10^{-3}	الرئة
البنزين	4×10^{-6}	الدم (اللوكيميا)
الكروميوم (VI)	4×10^{-2}	الرئة
النيكل	4×10^{-4}	الرئة
كلوريد الفينيل	1×10^{-6}	الكبد ومواقع أخرى

ℵ تقدير خطر السرطان للتعرض خلال العمر بتركيز 1 مايكروغرام/م^3

4-1-4 تقييم السلامة للمواد الكيميائية في الغذاء

إن المدخول اليومي المقبول (ADI) هو تقدير أكبر كمية مدخول مسموح به للمواد الكيميائية على مدى الحياة والتي لا تؤدي إلى وجود تأثيرات سلبية في أية مرحلة من حياة الإنسان.

أصبحت منظمة الصحة العالمية ومنذ 40 عاماً طرفاً في تقييم سلامة المضافات إلى الأغذية والعقاقير السامة والعقاقير البيطرية والمبيدات المتبقية في الأغذية. وتبحث لجنة خبراء منظمة الصحة العالمية (WHO) ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة (FAO) في الأصناف الثلاثة الأولى الخاصة بمضافات الطعام (JECFA)، بينما يبحث الإجتماع المشترك لمنظمة الصحة العالمية ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة حول متبقيات المبيدات (JMPR)، وكما يشير عنوانه فإنه يبحث في بقايا المبيدات في الغذاء. وتقوم كلتا اللجنتين المتخصصتين بعمل تقديرات لأعلى نسبة مدخول يومي محتمل للمادة والذي لا يتسبب بوجود تأثيرات سلبية في أية مرحلة من حياة الإنسان، وهذه التقديرات، يطلق عليها مصطلح المدخلات اليومية المقبولة (ADIs)، وتُستخدم بعد ذلك من خلال السلطات النظامية الوطنية ومن خلال وكالة دستور الأغذية (Codex Alimentarius Commission) لوضع مستويات آمنة للمواد الكيميائية في المواد الغذائية.

وتتضمن المعلومات التي تستخدمها (JECFA) و (JMPR) لتقييم السمية للمواد الكيميائية في الغذاء بشكل عام الدراسات عن الحيوانات، مشتملة على الدراسات الجادة والدراسات قصيرة الأمد الخاصة بالمواد السامة التي تدخل في الغذاء (دراسات التغذية)، دراسات التغذية طويلة الأمد والدراسات الكيميائية الحيوية (مشتملة على الامتصاص وتوزيع الأنسجة والطرح والأيض ونصف العمر البيولوجي والتأثيرات على الأنزيمات). بالإضافة إلى ذلك، ففي العادة تكون الدراسات الخاصة بتأثيرات معينة ضرورية مثل السرطنة والتوالد وتشوه المواليد (teratogenicity)، وفي بعض المركبات تكون سمية العصبون في العادة ضرورية. كذلك يتم أخذ المعلومات عن الإنسان أينما توفرت.

يُستخدم مفهوم الـ (ADI) لمضافات الأغذية وبقايا العقاقير البيطرية وبقايا المبيدات الحشرية والتي لها غايات مفيدة لإنتاج الغذاء.
وتستخدم الـ (JECFA) مصطلح "التفاوت المسموح به" "tolerable" لتتبع الملوثات مثل الرصاص والزئبق والتي ليس لها وظائف ذات فائدة. ويدل استخدام مصطلح "tolerable" على السماحية أكثر من القابلية لدخول الملوثات كما هو الحال بالنسبة لـ (ADI).

إن الهدف الكلي للتقييم هو تحديد مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ (NOAEL)، بالارتكاز على دراسة معلومات السمية الكلية المتوفرة، وبعد ذلك يتم استخدام الـ (NOAEL) وبالارتباط مع معامل اللايَقين المناسب لتحديد الـ (ADI).

ويُعرف الـ (ADI) بأنه تقدير كمية المادة الكيميائية في الغذاء ومياه الشرب ويُعبر عنه بالارتكاز على وزن الجسم والتي يتم تناولها يومياً على مدى الحياة ودون إحداث تأثيرات صحية هامة. ويُستخدم مفهوم الـ (ADI) لمُضافات الغذاء والعقاقير البيطرية والمبيدات والتي لها غايات تكنولوجية وغايات إنتاج الغذاء الضرورية. والملوثات ذات الأثر مثل الرصاص والكادميوم أو الزئبق ليس لها وظائف مقصودة، لذلك تستخدم (JECFA) مصطلح مدخول "المحتمل"، والتي تدل على السماحية أكثر من القابلية لمدخلات الملوثات والمرتبطة بشكل لا يمكن تجنبه باستهلاك المواد الغذائية الأخرى المفيدة.

وفي هذا الاصطلاح، يتم التعبير عن المدخلات المحتملة على أساس أسبوعي، لأن الملوثات التي تُعطي هذه الدلالة قد تتراكم في الجسم في فترة معينة من الزمن. وفي أي يوم فإن استهلاك الغذاء الذي يحتوي على متوسط المستويات المذكورة سابقاً للملوثات قد تتجاوز الاشتراك التناسبي للمدخول الأسبوعي المحتمل.

وعندما يتم تحديد المادة وبثقة بأنها مسرطنة للإنسان، لا تقوم (JECFA) ولا (JMPR) بوضع الـ (ADI). وفي بعض الأوقات قد توصي (JMPR) بأنه يجب عدم استخدام مركبات معينة بسبب إمكانية وجود بقاياها في الغذاء أو لأنها مسرطنة (مثل سداسي كلوريد البنزين و captafol). والمشابه لذلك عندما تعتبر (JECFA) الانتقال من المستوى المنخفض للملوثات المسرطنة من مادة التغليف إلى الغذاء لا تعتبر أنه من المناسب إيجاد (ADI) لمثل هذه المواد. وقد أوصت بأن التعرض البشري للمتنقلات المسرطنة المعروفة (مثل كلوريد الفينيل) من المواد التي تلامس الأغذية تم تقييدها لأدنى المستويات الممكنة التحقيق تكنولوجياً.

ويقوم بالتقييم السنوي للمواد الكيميائية في الغذاء كل من (JECFA) و(JMPR). وحتى هذا التاريخ قامت (JECFA) بتقييم أكثر من 700 من مُضافات الطعام و60 عقاراً بيطرياً وأكثر من 20 مُلوثاً غذائياً، مثل الرصاص والكادميوم والزئبق والأفلاتوكسينات والستايرين. بينما قامت (JMPR) بتقييم 220 مبيداً. ويجب أن يعي مسؤولو الأخطار جيداً بهذه التقييمات للتأكد من أن الدخول المسموح به والمقبول لم يتم تجاوزه من قبل السكان نتيجة للإجراءات التنظيمية أو بسبب المستويات الزائدة لمثل هذه المواد في الأغذية.

مراجعة

بعد قراءة هذا الفصل يجب أن تكون ملماً بأن:

- كلاً من الخطر والتعرض هما المفتاح الرئيسي في تقدير الخطر. والمواد الكيميائية تأخذ وضعاً خاصاً فقط إذا كانت خطورتها قليلة لكن التعرض الدائم والمفرط يمكن أن يأخذ وضعاً أكثر خطورة مثل المواد الكيميائية التي تحتوي على درجة عالية من الخطورة عند التعرض المحدود فقط.

- يرتبط تخفيف الخطر بشكل مباشر بتقليل التعرض الفعّال للممارسة _ وكمثال، بعض المواد الكيميائية الزراعية ضرورية لأغراض إنتاج الغذاء التي ربما تسبب خطورة متلازمة، لكن استخدام هذه المواد بشكل قليل أو عدم خطورتها عند التطبيق إذا كانت استراتيجية تخفيض التعرض الفعال مفيدة.

- إن مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ **(NOAEL)** هو أعلى تركيز أو جرعة للمادة الكيميائية التي تسبب تأثيرات عكسية غير ملحوظة عند اختبار السكان.

- إن أدنى مستوى تأثير عكسي ملحوظ **(LOAEL)** هو أقل جرعة ينتج عنها التأثير العكسي عند اختبار السكان.

- الجرعة الآمنة فعلياً **(VSD)** هي تلك الجرعة للمواد الكيميائية الخطرة التي تكون قليلة جداً بحيث لا تعتبر بأنها تشكل خطراً على الإنسان حتى عند التعرض اليومي على مدى الحياة.

- إن تقدير المدخول اليومي المحتمل **(TDI)** هو عبارة عن تقدير كمية المدخول اليومي للمواد الكيميائية الملوثة والتي قد توجد مدى الحياة دون إحداث خطراً صحياً. ويطبق المفهوم العام لـ **(TDI)** على الملوثات غير المرغوبة والتي لا يمكن تجنبها وليس لها هدفاً مفيداً.

- المدخول اليومي المقبول **(ADI)** هو عبارة عن تقدير الجرعة اليومية للمواد المتوقعة دون إحداث خطراً صحياً على السكان عندما تؤخذ يومياً بشكل دوري مدى الحياة. والمفهوم العام لـ **(ADI)** يطبق على متبقيات المواد الكيميائية التي استعملت في إنتاج الغذاء أو التي ساهمت في تحسين إنتاج الغذاء.

- مفهوم تقدير الجرعة اليومية **(ADI)** أستعمل لمضافات الأغذية وبقايا العقاقير والمبيدات والتي لها غايات مفيدة في إنتاج الغذاء. والمصطلح المحتمل **(tolerable)** ومفهوم الـ **(TDI)** يُقصد به تتبع الملوثات للأغراض غير المفيدة. والمصطلح **(tolerable)** يدل على السماحية أكثر من القابلية لدخول الملوثات.

- غياب المعلومات عن السكان يفيد العكس، والمواد الكيميائية التي تستطيع أن تُحدث السرطان في حيوانات التجارب، يجب أن يؤخذ بعين الاعتبار قدرتها على إحداث السرطان في الإنسان.

- التعرض للملوثات الكيميائية مثل التلوثات التي ربما تحدث في الهواء الذي نستنشقه أو في متبقيات الماء والغذاء الذي نأكله. حيث أن التعرض يحدث بالطرق الثلاث. والقيم الإرشادية للملوثات الكيميائية ربما لا تكون ملائمة لحديثي الولادة والضعفاء وكبار السن وكذلك معاني الأمراض المزمنة أو القديمة جداً.

5. التأثيرات البيئية للمواد الكيميائية

يبين هذا الفصل ما يلي:

- كيف تؤثر المواد الكيميائية على البيئات البحرية والأرضية والمياه العذبة عند حدوث التعرض.
- كيف يكون لإنبعاث المواد الكيميائية في البيئة أثر عالمي. وكيفية انتقال هذه المواد خلال الجو حيث لا تربطها حدوداً سياسية.
- كيف تسبب المواد الكيميائية مشاكل مثل المطر الحمضي ونفاد الأوزون وتؤثر على ظاهرة البيت الزجاجي (الدفيئة).
- كيف تقلق ظاهرة الدفيئة العالمية العلماء والناس في أنحاء العالم.
- تلك الطرق المتوفرة لخفض انبعاثات الغازات المؤذية التي تسبب المطر الحمضي ونفاد الأوزون.
- كيف أوقفت المعاهدة الدولية المسماه بروتوكول مونتريال تجنب التنبؤ بالتأثيرات المفجعة بسبب نفاد طبقة الأوزون.

لا يقتصر ضرر المواد الكيميائية الخطرة على التأثيرات السلبية على صحة الإنسان ولكنها تحطم الأنظمة البيئية للأنهار والبحيرات والمحيطات والبحار ومصاب الأنهار والمناطق الرطبة والغابات والتربة. وإن اكتشاف الثقب في طبقة الأوزون الموجود في الستراتوسفير، دليل على إظهار تأثير ظاهرة البيت الزجاجي (الدفيئة GreenHouse) التي تؤدي إلى زيادة درجة حرارة الأرض والأمطار الحمضية التي تؤثر على البحيرات والضباب والغابات، ويدفعنا ذلك لأن نعرف بأن التلوث الكيميائي ليس مشكلة إقليمية فحسب ولكنه شأن عالمي. ويمكن أن تتأثر به جميع الأنظمة البيئية في العالم.

1-5 المواد الكيميائية والبيئة المائية

إن الملوثات التي تشكل الخطر الأكبر على البيئات البحرية هي مياه المجاري والمغذيات الفائضة ومركبات كيميائية صناعية ونفايات ومواد بلاستيكية ومعادن وزيت والهيدروكربونات وهيدروكربونات عطرية متعددة الحلقات (PAHs). والعديد من الملوثات تكون من مصادر أرضية مثل المبيدات والمعادن ولها شأن خاص كبير في البيئة البحرية لأنها سامة ولا تتحلل بسهولة وهي معروفة بتراكمها البيولوجي في السلسلة الغذائية.

2-5 المواد الكيميائية والأنظمة البيئية للماء العذب

إن مياه المجاري غير المعالجة وطرح المواد الكيميائية الصناعية السامة والاختيار غير الموفق لمواقع المنشآت الصناعية وأماكن طرح النفايات الصلبة والسلوك الزراعي الخاطىء في استخدام الأسمدة والمبيدات، جميعها قد تدمر الأنظمة المائية وتهدد مصادر المياه العذبة.

وإن وجود المغذيات التي تفوق مقدرة تحمل المياه، وخاصة النيتروجين والفسفور، تسبب ما يسمى التتريف للبحيرات والخزانات (eutrophication) من خلال تشجيع نمو النباتات المفرط (النوار الطحلبي) حيث يعمل النوار الطحلبي على نفاد الأكسجين المكون للماء عندما يتحلل. واحتواء الماء على الأكسجين المذاب بكميات كافية (DOC) يسبب خطراً عالمياً بالنسبة للحياه المائية.

ولقد تم وضع الإرشادات من خلال السلطات الوطنية لوقاية الحياة المائية. وكمثال على ذلك توصي إرشادات نوعية المياه الكندية بالتركيزات الآمنة للمواد الكيميائية في المياه لحماية الحياة المائية في المياه العذبة. وفي العديد من الحالات، تكون الحياة المائية للمياه العذبة معرضة أكثر من الإنسان للتأثيرات السلبية للمواد الكيميائية. وبعض الأمثلة على الإرشادات الكندية موضحة في الجدول (21).

جدول 21. الدلائل الكندية لجودة مياه البيئات المائية العذبة

المادة الكيميائية	الدليل مايكروغرام/لتر	التعليقات
المنيوم	**100 – 5**	**يعتمد على الـ pH، الكالسيوم وتركيز الأكسجين المذاب**
كادميوم	**1.8 – 0.2**	**يعتمد على عُسر المياه**
الكلور	**2**	**كمتبقي كلي للكلور**
النحاس	**4 – 2**	**يعتمد على عُسر المياه**
DDT	**0.001**	
اندرين Endrin	**0.002**	

3-5 التأثيرات على الأنظمة البيئية البرية

تُعرف النباتات بأنها بالوعة للملوثات الجوية. وتعرف غالبية ملوثات المناطق الحضرية مثل أكاسيد النيتروجين ومؤكسدات الأوزون مثل المؤكسدات الكيميائية الضوئية وأكاسيد الكبريت جميعها لها تأثيرات سلبية على النبات المتضمن محاصيل حتى في المستويات المنخفضة. وثاني أكسيد النيتروجين هو من أكثر أكاسيد النيتروجين سمية للنبات. وفي العادة يكون سبب إصابة أوراق النبات وجود مخاليط ثاني أكسيد النيتروجين مع ثاني أكسيد الكبريت أو الأوزون عند التراكيز العتبية والتي تكون أقل بكثير من الإصابات الناجمة عن الملوثات المفردة. والنتيجة الرئيسة للمخاليط الملوثة هي الحد من نمو النباتات. ومن بين الأنظمة البيئية البرية والتي تعتبر

مهددة أكثر من غيرها بمركبات النيتروجين هي الغابات الصنوبرية، وبخاصة تلك التي تكون على ارتفاعات عالية.
وأوصت منظمة الصحة العالمية بأنه، من أجل حماية النباتات الحساسة من التأثيرات المباشرة لثاني أكسيد النيتروجين (بوجود مستويات من ثاني أكسيد الكبريت والأوزون بمعدل لا يزيد عن 30-60 مايكروغرام/متر مكعب)، يجب أن لا يتجاوز تركيز ثاني أكسيد النيتروجين 30 مايكروغرام/ متر مكعب كمتوسط سنوي للقيم المتوسطية لـ 24 ساعة. ومع ذلك، تحديد مستوى متوسط سنة واحدة للملوثات لا يحمي البيئة بشكل فعال ضد القيم القصوى. وبالتالي يجب تحديد التراكيز القصوى. وتتم حماية النباتات الحساسة من التأثيرات السلبية لثاني أكسيد النيتروجين إذا لم يتجاوز متوسط التركيز خلال 4 ساعات 95 مايكروغرام/متر مكعب (بوجود تراكيز مماثلة لثاني أكسيد الكبريت).

4-5 التأثيرات البيئية العالمية للمواد الكيميائية

كما رأينا في الوحدة الأولى فإن ملوثات الهواء توجد في الجو. وللمواد الكيميائية في الجو تأثيرات بعيدة المدى وهي مسؤولة عن حموضة البحيرات والأنهار وغيرها من التجمعات المائية وهي معنية أيضاً بنفاد طبقة الأوزون والتفاعلات الجوية الأخرى. كما أن حموضة البحيرات والتجمعات المائية الأخرى واحتمالية نفاد طبقة الأوزون من خلال التلوث الجوي جميعها أمور تحظى بالاهتمام في الوقت الحالي.

1-4-5 المطر الحمضي

"المطر الحمضي" هو المطر الذي تكون درجة حموضته (pH) أقل من المطر الطبيعي، ودرجة حموضة المطر العادي هي 5.6 ويعود ذلك بشكل رئيسي إلى ذوبان ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الماء. وتصبح الأمطار حمضية عندما يذوب في المطر كل من أكاسيد الكبريت الغازية وأكاسيد النيتروجين الغازية (SO_x , NO_x)، حيث تعمل على تخفيض درجة الحموضة إلى أقل من 4. وأكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين أكثر قابلية للذوبان في الماء من ثاني أكسيد الكربون والحوامض القوية. والمطر الحمضي مشكلة إقليمية، لكن التأثيرات لا تحدها حدود. فيمكن أن يتم إنتاج الغازات الحمضية في دولة ما وبعد ذلك تنتقل إلى دولة أخرى بفعل دوران العوامل الجوية عبر مسافات بعيدة. ويتم بناء محطات الطاقة الكبيرة والحديثة والتي تستخدم الوقود الإحفوري في أماكن بعيدة عن المدن، وتستخدم مداخن مرتفعة (تسمى "super-stacks"، حيث يصل ارتفاعها إلى 500 متر) لإنتشار الملوثات الناتجة عن الاحتراق. وذلك يقلل من تعرض القاطنين بالقرب منها، ولكنها تدعم انتقال الملوثات إلى مسافات بعيدة. وبالتالي، فقد يحدث ترسب حمضي بعيداً عن نقطة انبعاث الملوثات. ويُعزى التدهور المأساوي في الغابات في العديد من أنحاء أوروبا (مثل الغابة السوداء في ألمانيا) إلى الهواء الملوث والمطر الحمضي.

1-1-4-5 مصادر أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين

إن المصادر الرئيسة لأكاسيد النيتروجين والكبريت التي تُنذر بالأمطار الحمضية هي:
(أ) احتراق الفحم: يحتوي الفحم طبيعياً على 2-3% كبريت (الكمية الفعلية تعتمد على نوع الفحم). عندما يتم إحتراق الفحم، يتحد الكبريت مع الأكسجين ليشكل أكاسيد الكبريت SO_x.
(ب) صهر خامات الكبريتيد (تتم عملية الصهر لاستخلاص المعادن من الخام).
(ج) احتراق الوقود (بترول، زيوت).

وأكثر من 90% من مجمل الإنبعاثات التي من صنع الإنسان لثاني أكسيد الكبريت في العالم تأتي في النصف الشمالي من الكرة الأرضية. وفي المناطق المدارية يُعتقد بأن الإنبعاثات الطبيعية تأتي من التربة والنباتات واحتراق الكتلة الحيوية والبراكين وجميعها مصادر سهلة لانبعاث ثاني أكسيد الكبريت.

2-1-4-5 التفاعلات الضرورية لتشكيل المطر الحمضي

(يوجد الحمض عادة في مياه المطر)	$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$	المطر العادي
(حامض ضعيف)	$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_3$	المطر الحمضي
	$SO_2 + ½O_2 \rightarrow SO_3$	
(حامض قوي)	$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$	

3-1-4-5 تأثيرات المطر الحمضي

- صحة الإنسان: تؤدي المستويات المرتفعة من المطر الحمضي لحدوث ضيق في التنفس.
- النباتات: إن أكاسيد الكبريت سامة للنبات وتؤدي إلى توقف النمو وذلك عندما يزيد التركيز عن 0.1 جزءً في المليون. والقليل جداً من النباتات تستطيع تحمل التربة الحمضية.
- الأبنية: تسبب الأمطار الحمضية تفتت البنايات المبنية من الحجارة الجيرية والرخام وكذلك يزداد معدل صدأ الحديد والمعادن عند تعرضه للأمطار الحمضية. والعديد من البنايات التاريخية تحطمت نتيجة الخصائص الآكالة للمطر الحمضي، مثل باراثينون (Parthenon) في (أثينا، اليونان) وكذلك الأهرامات في (مصر).
- المياه الطبيعية: قد تكون الأحياء المائية حساسة من تأثيرات المطر الحمضي. وحمضية البحيرات مشكلة المناطق التي يكون الصخر السفلي للبحيرات فيها عبارة عن جرانيت. والبحيرات الجيرية هي مخففات طبيعية لتأثيرات الأمطار الحمضية وكذلك قد تزداد مستويات الحمض للبحيرات خلال فصل الصيف عندما ينصهر الثلج. وبعض المناطق في جنوب أمريكا وأوروبا لديها بحيرات ذات درجة حمضية (pH) منخفضة بحيث أنهم لا يستطيعون تربية الأسماك والحياة البحرية الأخرى.
- زيادة تراكيز المعادن في الماء: تتشكل مركبات المعادن في العادة عندما تُشكل المعادن الموجودة في الصخور السفلية أملاحاً وحمض الكبريتيد. وهذه المعادن قد تكون سامة للإنسان والحيوانات.

4-1-4-5 المحاليل المخفضة للمطر الحمضي

لأننا نعتمد على الفحم والوقود الإحفوري للطاقة، فإن هناك القليل للقيام به لإبعاد المطر الحمضي بعيداً عن التوقف الكامل لاستخدام هذا الوقود. ونرجو أن تتوفر في المستقبل تكنولوجيات جديدة يطورها العلماء والمهندسون وتعمل على حل المشكلة. ونذكر تالياً فقط بعض الطرق التي يمكن استخدامها حالياً للحد من احتمالية المطر الحمضي.

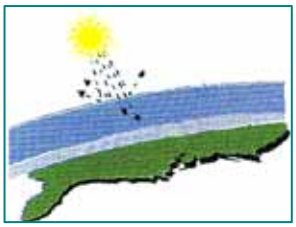
- التقليل من انبعاث أكاسيد الكبريت (SOx) وأكاسيد النيتروجين (NOx). ويمكن عمل ذلك من خلال وضع محولات مساعدة في أنظمة عوادم السيارات. وتساعد المحولات المساعدة على تحويل غازات العوادم إلى نواتج غير سامة.
- حرق الوقود الإحفوري الأنظف للتقليل من الكبريت المنبعث (مثل التحول إلى الغاز الطبيعي).
- تحويل أكاسيد الكبريت (SOx) إلى مواد يمكن استخدامها وتكون غير مؤذية (مثل حمض الكبريتيك).
- إزالة أكسيد الكبريت كيميائياً من الغاز المنبعث وذلك عن طريق تقنيات غسل الغاز (scrubbing). وغسل الغاز يعني استخدام قاعدة لمعادلة الغازات الحمضية وفي العادة يستخدم لهذه الغاية هيدروكسيد الكالسيوم.
- إزالة الكبريت من الفحم قبل الحرق باستخدام "طرق ترشيح الزيت".

2-4-5 نفاد الأوزون في طبقة الستراتوسفير

يُنتج الأوزون (O_3) ويتحطم باستمرار في طبقة الستراتوسفير من خلال تفاعلات كيميائية ضوئية معقدة. التوازن بين الإنتاج والتدمير ينتج عنه كمية ثابتة من الأوزون في طبقة الستراتوسفير في غياب تدخل الإنسان. وتلعب طبقة الأوزون دوراً كبيراً في امتصاص الضوء فوق البنفسجي الضار بيولوجياً والذي يأتي من الشمس. وهذا الامتصاص يحمي الأرض من كمية كبيرة من الإشعاع الذي يدمر الحياة إذا وصل إلى الأرض. وفي منتصف الثمانينات، أثبت العلماء وجود ثقب في طبقة الأوزون فوق القطب الجنوبي حيث وجد هذا الثقب في نهاية فصل

الشتاء حيث يوجد نفاد محلي للأوزون في طبقة الستراتوسفير بما نسبته 50%. وستتم مناقشة عواقب ذلك في القسم اللاحق.

5-4-2-1 تأثيرات نفاد طبقة الأوزون



شكل (21) الغلاف الجوي الأرضي. معظم الأوزون في الجو يوجد في طبقة الستراتوسفير حوالي 12-50 كم فوق سطح الأرض.

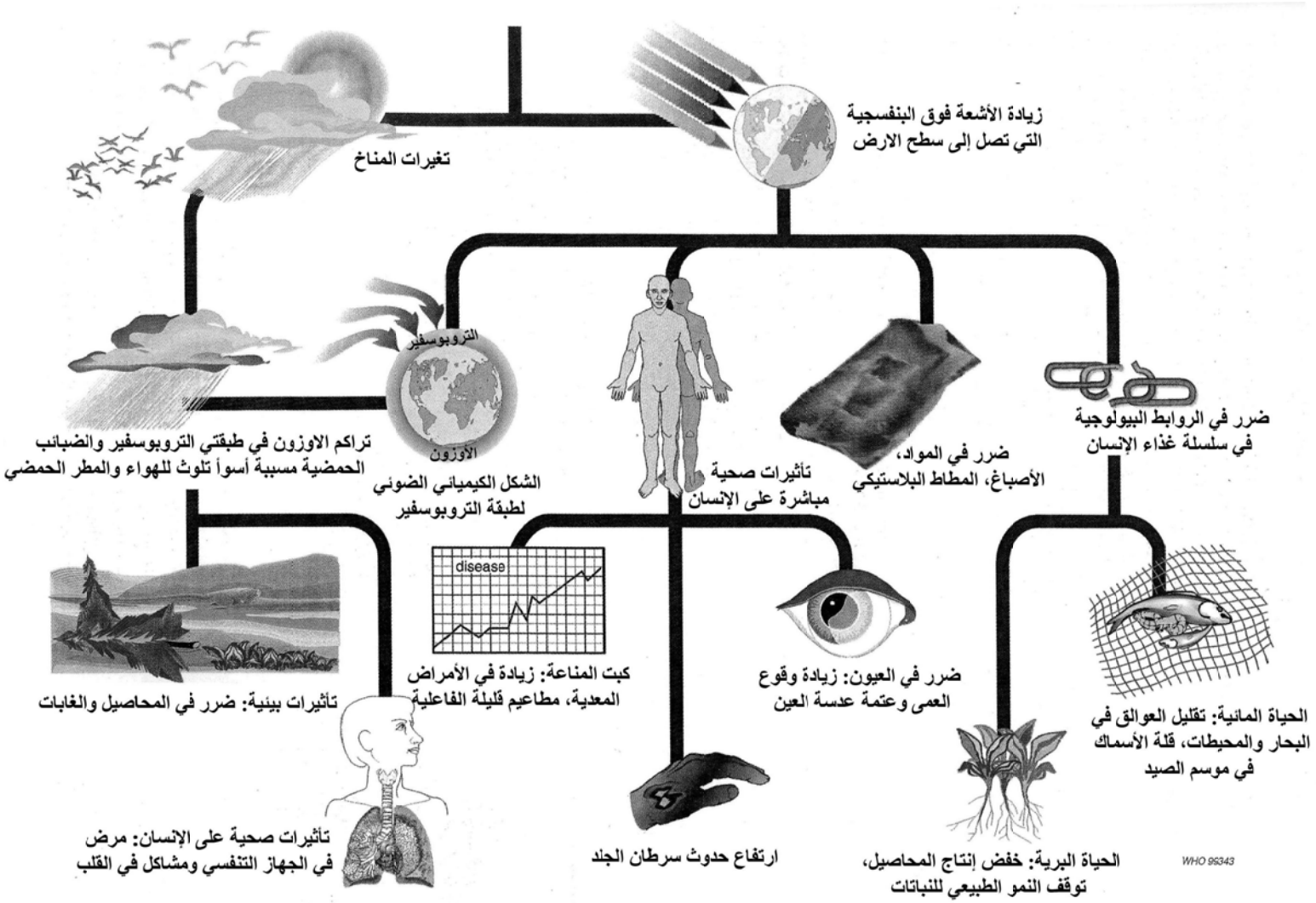
تشمل التأثيرات المحتملة الناتجة عن زيادة مستويات الضوء فوق البنفسجي الواصل إلى سطح الأرض مشاكل صحية على شكل سرطان الجلد وإعتام عدسة العين ونقص المناعة ضد الأمراض. وقد تؤدي كذلك إلى تدمير سلسلة الغذاء البحري والمحاصيل والمعادن مثل البلاستيك والطلاء المستخدم من الخارج. وهنالك تأثيرات أخرى ناتجة عن نفاد طبقة الأوزون وهي احتمالية زيادة درجة حرارة الأرض (الدفيئة) وتلوث الهواء، وحتى الطفرات الجينية. ويبين الشكل (23) كيفية تأثير زيادة الضوء فوق البنفسجي (ذات الطول الموجي من 280-315 نانوميتر) والتغير في المناخ الناجم عن نفاد طبقة الأوزون، سوف يؤثر على الحياة في الأرض.

5-4-2-2 مسببات نفاد طبقة الأوزون

إن سبب نفاد طبقة الأوزون هو انبعاث الكلوروفلوروكربون (CFCs)، والذي يستخدم بشكل كبير كسائل تبريد أو سائل دافع أو نافخ للفوم البلاستيكي أو مواد تنظيف للأجهزة الإلكترونية. وكذلك غازات مكافحة الحريق والمذيبات مثل رابع كلوريد الكربون (CCl_4)، كلها تشارك من خلال التفاعل الكيميائي الضوئي مع الأوزون في طبقة الستراتوسفير. ومعظم هذه المواد مستقرة وباقية في طبقات الجو السفلى وموجودة بشكل واسع في العالم. وعندما تنبعث في الهواء تنتشر هذه المواد في الجزء السفلي من طبقة التروبوسفير وفي الجزء العلوي من الستراتوسفير، حيث تتفاعل كيميائياً مع الأوزون وتدمره.

5-4-3 بروتوكول مونتريال

انعكس الوعي بمشكلة نفاد طبقة الأوزون بتوقيع "بروتوكول مونتريال حول المواد التي تسبب نفاد طبقة الأوزون" وذلك في عام 1987م. ووضعت هذه المعاهدة الدولية الأهداف للحد من إنتاج الكلوروفلوروكربون (CFCs) إلى 50% من مستويات الإنتاج في عام 1986م ولغاية عام 1998م. وتم إجراء تعديلات إضافية لتقوية الشروط الأصلية في بروتوكول مونتريال، بحيث تتم إزالة أكثر الفلوروكلوروكربون ضرراً مثل CFC-11، CFC-12، CCl_4 ورابع كلوريد الإيثان لغاية عام 1996م. ويعتقد العلماء بأن ثقب القطب الجنوبي قد يُستعاد قبل العام 2040م. وهذه الحالة هامة جداً لأن السياسيين قبلوا التوقعات العلمية لنفاد طبقة الأوزون في الستراتوسفير قبل ملاحظة أية عواقب سلبية. وذلك يشارك في مختلف غالبية المشاكل البيئية التي يجب على المجتمع أن يبحث فيها، وهي كمثال جيد على الاتصال الفعال بين العلماء والسياسيين. ومن المحزن أن تنفيذ وتحقيق الأهداف المرجوة لم تتم إدامته. حيث بقي الكثير من العمل للقيام به لتحقيق جميع أهداف بروتوكول مونتريال.



شكل (22) تأثيرات نفاد طبقة الاوزون

5-4-4 المؤكسدات التروبوسفيرية

إن النباتات بشكل خاص حساسة للمستويات المرتفعة من الأوزون في التروبوسفير وكذلك المؤكسدات الكيميائية الضوئية. والتأثيرات المحتملة للمؤكسدات على الأشجار التي تعيش لفترة طويلة والمحاصيل التي تنمو لفترة طويلة هامة جداً. وتدل الدراسات التي أُجريت في الولايات المتحدة على أن المؤكسدات الكيميائية الضوئية تقلل من إنتاج المحاصيل بما نسبته 12-30%. وتُتلف المؤكسدات الكيميائية الضوئية وبخاصة الأوزون التروبوسفيري أوراق وإبر النباتات الحساسة بشكل كبير وذلك من خلال تمزيق الأغشية. وتتأثر كذلك عمليات الأيض مثل التمثيل الضوئي. وقد تظهر علامات مرئية مثل اصفرار أوراق النبات والموت وتساقط الأوراق والتصلد المبكر. بالإضافة إلى التأثيرات المورفولوجية الملحوظة، فإن التأثيرات المزمنة والدقيقة في العمليات الفسيولوجية مثل التمثيل الضوئي قد تمنع انتاج وتوزيع الكربوهيدرات في النبات، وتقلل من حيوية كل من الأوراق والجذور وتقلل من نمو وانتاج المحاصيل. كذلك قد تقل مناعة النبات ضد الفطريات والجراثيم والفيروسات والحشرات والظروف المناخية (الصقيع، الجفاف). ويلعب الأوزون التروبوسفيري بالإضافة إلى العديد من ملوثات الجو دوراً هاماً في مشكلة إزالة الغابات.

وتوصي منظمة الصحة العالمية من أجل حماية النبات، بالقيم الإرشادية التالية للأوزون: 200 مايكروغرام/متر مكعب لكل ساعة، 65 مايكروغرام/متر مكعب لكل 24 ساعة و 60 مايكروغرام/متر مكعب لفصل النمو 100 يوم.

5-4-5 التغيرات المناخية وتأثير ظاهرة البيت الزجاجي (الدفيئة)

إن بخار الماء وثاني أكسيد الكربون (CO_2) والميثان (CH_4) وأكسيد النيتروز (N_2O) جميعها تدعى "غازات البيت الزجاجي" وجميعها مكونات طبيعية للجو وتساهم في تأثير ظاهرة البيت الزجاجي، وجميع هذه الغازات لها خاصية امتصاص الطاقة المنعكسة من سطح الأرض، بينما تكون شفافة للإشعاع الشمسي. وهي تعمل كغطاء للطاقة، وتعمل على حجز الحرارة في الجو والاحتفاظ بها. ووجود هذه الغازات هام للحفاظ على الحرارة الثابتة في الجو. وبالتالي، فإن تراكيز ثاني أكسيد الكربون وغازات البيت الزجاجي الأخرى تزداد بشكل مأساوي وهي أعلى نسبة من أي وقت مضى 160,000 سنة. كما وتؤدي الزيادة في غازات البيت الزجاجي إلى زيادة درجة حرارة الكرة الأرضية، والتي تدعى "تأثير ظاهرة البيت الزجاجي ". وقيمة هذا الإزدياد غير معروفة. وبالتالي، فإن استمرار انبعاث غازات البيت الزجاجي يعني أن معدل درجة حرارة الكرة الأرضية قد يزيد بمعدل 3 درجات مئوية قبل عام 2030م بمعدل 1.5-4.5 درجة مئوية.

غازات البيت الزجاجي تشتمل على بخار الماء وCO_2 والميثان وأكسيد النيتروز. وهذه مهمة في المحافظة على درجة حرارة الأرض.

وبدأت تراكيز ثاني أكسيد الكربون بالإرتفاع في الجو منذ القرن التاسع عشر، وذلك نتيجة لزيادة استخدام الوقود الإحفوري (الزيت والجازولين والفحم). وكذلك ازدادت انبعاثات أكسيد النيتروز (N_2O) بسرعة في هذا القرن. وأكبر مصدرين ناتجين عن النشاطات البشرية هما إحتراق الوقود الإحفوري والمواد العضوية واستخدام الأسمدة النيتروجينية. وكذلك ازداد تركيز الميثان في الجو، ويرتبط ذلك باتساع انتاج الأرز المقشور واستغلال الغاز الطبيعي وإحتراق الكتلة الحيوية وتعدين الفحم والمواد العضوية.

ونتائج مثل هذا الارتفاع في متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية غير مفهومة جداً في الوقت الحاضر. وتتنبأ النماذج المناخية الحالية بأن ارتفاع درجة حرارة المحيطات ينتج عنه تزايد في حجم مياهها، بالإضافة إلى انهيار الكتل الجليدية وبالتالي ستزيد من مستوى ارتفاع سطح البحر من 10-32 سم في حلول منتصف القرن القادم. ومن المتوقع أن يكون التأثير البيئي مدمراً للدول التي تكون عبارة عن جُزر، والتي في الوقت الحاضر لا تزيد عن سطح البحر إلا عدة أمتار قليلة في أعلى نقطة لها (مثل جزر المالديف) أو في المناطق المنخفضة والتي تكون فيها كثافة سكانية عالية مثل بنغلادش.

تكون التأثيرات الصحية غير المباشرة الناتجة عن تغير المناخ هامة جداً. وعمليات التبادل التزاوجي الزراعية والحيوانية قد تؤثر على إنتاج الغذاء. وقد تتهدد مصادر الغذاء نتيجة ازاحة المناطق المناخية ونتيجة التغيرات في انتاجية المحاصيل والمواشي والأسماك وقلة توفر مياه الري وفقدان الأراضي الصالحة للزراعة بسبب التصحر وارتفاع مستوى سطح البحر.

مراجعة

بعد قراءة هذا الفصل يجب أن تكون ملماً بأن:

- المواد الكيمائية الخطرة لا يقتصر تأثيرها على صحة الإنسان فقط، بل تعمل كذلك على تعطيل الأنظمة الإيكولوجية المتواجدة في الأنهار والبحيرات والمحيطات والمجاري والأراضي الرطبة والغابات والتربة.

- المواد الكيميائية تؤثر على كثير من البيئات مثل الأحياء المائية والمياه العذبة والأنظمة الاقتصادية للتربة.

- المطر الحمضي سببه احتراق الفحم وبعض المواد المحتوية على الكبريت. وهذه المشكلة تؤثر على نمو النباتات وصحة الإنسان والأبنية والمياه الطبيعية وتسبب الكثير من المشاكل البيئية.

- يوجد عدة طرق لخفض انبعاثات المطر الحمضي، تتضمن الحرق النظيف للوقود الاحفوري وتخفيف الملوثات في انبعاث المداخن وإزالة الكبريت من الفحم وأي وقود آخر. وكل واحدة من هذه الطرق لها فوائد وكلها تمتازبكلفة اقتصادية كبيرة وسوف تساعد التكنولوجيا الحديثة في المستقبل على تحسين المسعى في تخفيض انبعاثات الغازات الحمضية.

- نفاد الأوزون في طبقة الستراتوسفير العلوية مشكلة عالمية، وهي واحدة من الأمور التي تتطلب التعاون بين قادة العالم. وبروتوكول مونتريال عام 1987م كان عبارة عن معاهدة دولية وقعت عليها كثير من الدول، وكان هنالك تصميم على تخفيض انبعاثات الـ **(CFCs)** (مركبات الكلورو فلورو كربون)، والتي تُعرف حالياً بالمواد المحطمة لطبقة الأوزون. وعلى الرغم من عدم ملاحظة النتائج السلبية فعلياً إلا أن السياسيين وافقوا على تنبؤات العلماء بالتأثيرات الفاجعة.

6. الإدارة البيئية الصحيحة للمواد الكيميائية السامة

يبين هذا الفصل ما يلي:

- أهمية الإدارة البيئية المستقرة للمواد الكيميائية بدءاً من صناعتها وحتى التخلص منها.
- مزايا منع التلوث بدلاً من معالجته بعد حدوثه.
- تعريف ودور تقييم الأثر البيئي والصحي **(HEIA)**.
- دور المنفذين في إنجاز المقاييس الوطنية للسلامة.
- الهدف من طريقة عمل منظمة الأغذية والزراعة (الفاو **FAO**).
- دور ومسؤولية منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة في اللقاءات المشتركة حول متبقيات المبيدات.
- كيف تحقق الفوائد من المبيد المستخدم بينما تخفض مخاطره إلى الحد الأدنى على البيئة وصحة الإنسان.

مقدمة

تتطلب الإدارة البيئية الصحيحة للمواد الكيميائية السامة إدارة مناسبة للمواد الكيميائية منذ صناعتها وحتى التخلص منها (تُعرف بمصطلح من المهد إلى اللحد أو إدارة دورة الحياة). وقد تؤدي المواد الكيميائية إلى مخاطر كبيرة من خلال التعرض المهني وتلوث الماء والهواء وتلوث المياه الجوفية والأغذية أو تكوين فضلات صلبة خطرة.

إن إدارة المواد الكيميائية في دورة الحياة (من المهد إلى اللحد) تعود إلى الإدارة المسؤولة والمناسبة للمواد الكيميائية بداية من تصنيعها وحتى التخلص منها في النهاية.

تختلف استراتيجيات الإدارة البيئية الصحيحة للمواد الكيميائية السامة باختلاف المواد الكيميائية التي تدخل إلى البيئة. وبالتالي، فإن هنالك مباديء استراتيجية كثيرة وإجراءات شائعة يتم تطبيقها بشكل عام في الصناعة الآمنة والتخزين والنقل واستخدام وإزالة المواد الكيميائية الخطرة وذلك لمنع أو التقليل من آثارها السلبية على صحة الإنسان والبيئة.

1-6 الوقاية

إن استراتيجية الاختيار في البرنامج الوطني للإدارة الصحيحة للمواد الكيميائية الخطرة هي الأولى وقبل ذلك توقع ومنع إنبعاث المواد الكيميائية في البيئة فإنه أفضل من الاعتماد على العلاج والمعالجة.

ويمكن تبني العديد من استراتيجيات الوقاية من التلوث لحماية صحة الإنسان ومنع التلوث البيئي. ويشمل ذلك:

من الجدير ذكره أنه من الأسهل والأقل كلفة والأقل دماراً لكل من صحة الإنسان والبيئة، منع إنبعاث المواد السامة بدلاً من احتواء الملوثات ومعالجتها.

- تدعيم وتشجيع الفاعلية الأكثر في استخدام الطاقة.
- استخدام الوقود الذي يحتوي على كميات قليلة من الكبريت.
- الاهتمام بعمليات التدوير في العمليات الصناعية للتقليل من المخلفات الخطرة وبالتالي التقليل من تكاليف التخلص منها.
- التقليل من التعبئة المبددة للمنتجات، والتي تقلل كذلك من تكاليف التخلص من العبوات غير الضرورية.
- إيجاد تكنولوجيا بديلة في التصنيع للتقليل من المخلفات الصلبة والسائلة والغازية.
- التقليل من استخدام المبيدات من خلال الممارسات الزراعية الجيدة والإدارة المتكاملة للنباتات الضارة.
- التشجيع على استخدام السيارات المشتملة على محولات محفزة للتقليل من كمية وسُمية الانبعاثات الغازية.

إن الدور الأساسي لتقييم التأثيرات الصحية والبيئية هو التقييم والتنبؤ ومنع الطرق التي قد تؤثر بها المنشآت الصناعية سلبياً على البيئة المحيطة وصحة المجتمع.

- التشجيع على استخدام أنظمة النقل العام الكافية للحد من استخدام السيارات الشخصية.
- سن التشريعات والالتزام بها لإيجاد وسيلة ذات معنى لتحقيق الأهداف السابقة ولمنع استيراد المواد الكيميائية الخطرة والتي تكون محدودة الاستعمال كثيراً في الدول المصدرة من أجل التنبؤ بثقة ومنع التأثيرات السلبية المحتملة الناتجة عن المواد الكيميائية الخطرة كما يجب عمل تقييم للتأثيرات البيئية والصحية (HEIA) وذلك قبل الشروع بالمشاريع الصناعية الكبيرة. وهذا التقييم هو دراسة شاملة من أجل تقدير وتوقع ومنع الطرق التي تؤثر بها المنشآت المنتجة للمواد الكيميائية الخطرة على المجتمع المحلي والبيئة. إنها لا تتعلق بالوسط فقط (الهواء والماء والتربة) لكنها تتعلق أيضاً بأنماط السير والاستخدام الكثير للأرض وكذلك الاعتبارات الجمالية في المجتمع.

كما يجب أن يهيء التقييم الفرص:

- لاشتمال خطط المشروع على الاعتبارات الصحية والبيئية.
- لتحديد أفضل موقع مناسب للمنشأة وميزات تصميمها.
- لاختيار العملية التي تقلل من المخلفات، وبالتالي تقلل من التكاليف.
- لإيجاد إجراءات سيطرة لمنع التلوث بدلاً من معالجة التلوث بعد حدوثه.
- التهيؤ للاستجابة الطارئة حيثما كان ذلك مناسباً.

أينما وُجد الهواء أو معايير النوعية، يجب القيام بالإجراءات المناسبة في المنشأة العاملة للتأكد من أن هذه المعايير تم التقيد بها بشكل مستمر.

ويجب أن يشتمل التقييم (HEIA) على تقدير أولي لمصادر ومستويات الانبعاثات من المنشآت المقترحة وهي خطوة أساسية نحو تنمية التقنيات للسيطرة على التلوث البيئي ولحماية العاملين. إن التنبؤ والتخطيط للسيطرة الفعالة على انبعاثات المواد الكيميائية في البيئة أكثر فاعلية من ملاءمة المنشأة العاملة للسيطرة على مثل هذه الإنبعاثات.

وبعض الأمثلة على المعلومات المطلوبة في التقييم (HEIA) هي: أخطار الانفجار والحريق للمنتجات والمواد الخام المستخدمة ومعدل ومقدار الإنبعاث المتوقع للمواد الكيميائية الخطرة في الهواء والماء والأرض والتعرض المتوقع للعاملين وعامة الناس لمثل

هذه المواد الكيميائية ومعدل وقيمة الأخطار الصحية والبيئية واحتمالية فشل المعدات والإنفجارات والكوارث الطبيعية في الموقع الذي تم اختياره. وكذلك معايير نوعية الماء والهواء الموجودة ومن المهم تنظيم الإجراءات في عمل المنشأة للتأكد من توفير مثل هذه المعايير والتقيد بها، وكذلك يجب القيام بالمراقبة المنتظمة للتأكد من استمرار الإلتزام بالمعايير المناسبة.

2-6 تكنولوجيا السيطرة

تتطلب السيطرة على مادة كيميائية معينة اختيار التكنولوجيا الممكنة اقتصادياً والتي تقلل التعرض (وبالتالي تقلل الأخطار) إلى المستويات المقبولة. ويجب أن تكون الاستراتيجيات التي تقلل من التعرض للمواد الكيميائية وبالتالي الأخطار فعالة، وكذلك يجب أن تكون أهداف التوعية الصحية والبيئة واقعية إذا أُريد تحقيقها.

ومن غير الصحيح الاعتقاد بأن (حل التلوث هو التخفيف). إن تخفيف التركيز قد لا ينتج عنه تركيز آمن للمادة الملوثة، ومنع التلوث عندما يتم تطبيقه على المصدر لمنع الإنبعاث أكثر فاعلية من انبعاث الملوثات في البيئة. وعلى سبيل المثال، فإزالة المادة الكيميائية من المخلفات المائية الصناعية أقل كلفة وعملياً أكثر تقنية من إزالتها من مصادر مياه الشرب حيث تكون مخففة داخل المياه.

وهنالك تقنيات كثيرة متوفرة للسيطرة على انبعاثات المواد الكيميائية الخطرة من الصناعات التي تسبب تلوثاً بدرجة كبيرة مثل معادن الحديد والمواد الكيميائية وصناعة النسيج وإنتاج الطاقة. وعلى سبيل المثال، فالتلوث بمركبات الكبريت والنيتروجين قابلة للتنقية من مداخن الغازات، وكذلك يمكن إزالة الكروم من مياه مدابغ الجلود من خلال الترسيب الكهربائي أو من خلال التخثر بإضافة مادة كيميائية أخرى يليها الترسيب، وكذلك يمكن إزالة الغبار من مصهر الحديد أو صناعة الإسمنت من خلال مرشحات قماش أو مُرسبات كهروستاتيكية وأنواع مختلفة من المجمعات الرطبة. فكل صناعة يجب أن تتوفر لديها طرق معالجة فيزيائية وبيولوجية وكيميائية لمنع أو السيطرة على إنبعاثات المواد الكيميائية الخطرة.

بالإضافة إلى طرق المعالجة، يجب تطوير طرق أخذ الملوثات وطرق التنظيف وإنذار القاطنين بالجوار وذلك للتعامل مع أي حادث قد يحدث.

3-6 التعليمات والحوافز والمعايير

إن التعليمات والمعايير لا تحقق شيئاً إلا إذا تم تنفيذها بتكاليف معقولة ويتم تطبيقها روتينياً. وذلك يتطلب وسائل مناسبة وخبراء تقنية وإطار عمل تشريعي.

إن الغاية الأساسية من عمل التعليمات والمعايير هي حماية الصحة العامة وإزالة أو التقليل من التعرض للمواد الكيميائية الخطرة إلى المستوى المقبول. ويجب أن تكون التعليمات واضحة وسهلة الفهم وتحكم متطلبات معالجة المخلفات الصناعية. كما يجب أن يتم منع تلوث الهواء والماء من خلال وضع معايير للمواد الكيميائية في الهواء والغذاء والماء، ويجب أن توضع حدود لتعرض العاملين وحدود على كمية المواد الكيميائية التي قد توجد في المخلفات الصلبة. وبالتالي فإن التعليمات والمعايير لا تحقق شيئاً إلا إذا تم تنفيذها. وذلك يتطلب وسائل ومعرفة تقنية وخبرات وإطار عمل تشريعي مناسب.

إن وضع معايير وطنية يجب أن يتبعه عملية حذرة جداً بحيث يتم اعتبار الأخطار الصحية بالإضافة إلى العوامل الأخرى، مثل الإمكانيات التقنية والاقتصادية. عند وضع معايير وطنية، ويجب اعتبار الإجراءات العملية المطلوبة لتأسيس أنواع معينة من تكنولوجيا السيطرة والإمداد من أجل المراقبة الكافية والتنفيذ.

إن جميع المواد الكيميائية غير متساوية من حيث الأهمية وهنالك بشكل عام مصادر غير كافية متوفرة للبحث في جميع المواد الكيميائية التي قد تكون موجودة في البيئة وبالتالي فمن الضروري عمل أولويات للتعليمات. ويمكن تطبيق العديد من المعايير في تحديد أولوية تعليمات المواد الكيميائية. ويشمل ذلك:

- حِدة وتكرار التأثيرات الصحية السلبية المشبوهة أو الملحوظة؛ والأهمية الخاصة للمواد الكيميائية التي تؤدي إلى أضرار مستعصية مثل السرطان أو تشوه المواليد.
- اتساع الإنتاج والاستخدام.
- الوفرة والاستمرار في البيئة؛ المواد الكيميائية الموجودة بشكل دائم وبتراكيز كبيرة في البيئة، بالإضافة إلى تلك المواد التي ليس من السهل التخلص منها في البيئة وتتجمع في البشر أو الهواء أو الماء أو الغذاء، وتستحق إعطائها أولوية.

- السكان المعرضون؛ يجب الاهتمام بالتعرض المشتمل على نسبة كبيرة من السكان وكذلك الاهتمام بتعرض المجموعات الحساسة جداً مثل الحوامل وحديثي الولادة والعجزة وكبار السن.

والحوافز مثل مبدأ عقوبة (من يلوث يدفع) "Polluter Pays" تقنع العديد من المؤسسات الصناعية للسيطرة على الإنبعاثات الخطرة. ويشتمل المبدأ على المتسبب بالتلوث بدفع تكاليف الدمار الناتج عن التلوث ومن ضمنها التأثيرات الصحية. ويجب أن تكون تكلفة ثمن الصحة والبيئة معقولة لكن مرتفعة نوعاً ما بحيث لا يعتبر المتسبب بالتلوث ببساطة أن التكلفة مماثلة لثمن القيام بالأعمال (بعبارة أخرى تطبيق "مبدأ عقوبة من يلوث يدفع").
يجب أن تلتزم أية صناعة ينجم عنها مواد كيميائية خطرة بالتعليمات والمعايير الصادرة عن الحكومة. وتتم من البداية مراقبة الإلتزام بهذه الحدود والتعليمات من قبل هذه المؤسسات. يمكن استخدام العديد من الطرق، مثل الرخص، للعمل في تفتيش المنشآت الصناعية، أو المراقبة البيئية للمواد الكيميائية. وكذلك يجب اعتبار الإدارة المستقبلية لاستخدام الأراضي من خلال تقسيم المناطق أو اتخاذ إجراءات أخرى. وفي النهاية، فمن الضروري دائماً التذكر بأن الحل الأفضل هو المنع، لأنه على الأغلب أن نقوم بمنع كارثة بيئية أكثر فعالية وأقل كلفة من أن نقوم بإصلاحها.
وتتضمن التشريعات إيقاف أو منع المواد الكيميائية السّامة التي تسبب أخطاراً غير مقبولة ولا يمكن السيطرة عليها بالنسبة لصحة الإنسان والبيئة. وكذلك يجب وضع التشريعات لمنع الحوادث، ويجب أن تشتمل على خطط معينة لإجراءات الاستجابة للطوارىء.

4-6 المبيدات – التعريف التنظيمي

المبيدات هي أية مادة أو خليط من مواد تعمل على منع وقتل أو السيطرة على الحشرات المؤذية. وتشمل الحشرات نواقل أمراض الحيوانات والإنسان والأصناف غير المرغوبة من النباتات والحيوانات التي تتعارض مع الإنتاج والمعالجة والتخزين والنقل أو تسويق الأغذية والسلع الزراعية والخشب ومنتجات الأخشاب أو أغذية الحيوانات، وكذلك تشمل المبيدات المواد الكيميائية التي يتم حقنها في الحيوانات للسيطرة على الحشرات والعناكب أو الحشرات الأخرى. وكذلك تشمل المواد التي تُستخدم كمنظمات لنمو النباتات ومزيلات أوراق النبات والمجففات أو المستخدمة لتنحيف الفواكه أو منع التساقط المبكر للفواكه، بالإضافة إلى المواد التي توضع على المحاصيل سواءً قبل أو بعد الحصاد لحمايتها من العفن أثناء عمليات التخزين أو النقل.
وتُسمى المبيدات بناءً على أصناف الحشرت المستهدفة بالقتل، مثل المبيدات الحشرية أو مبيدات اليرقات أو مبيدات الفطريات أو مبيدات القوارض أومبيدات الحَلَمَ أو مبيدات الرخويات أو مبيدات الأعشاب أو مبيدات الطيور أو مبيدات الديدان. وكذلك تسمى المبيدات بناءً على صنف المادة الكيميائية التي تعود إليها: الكلورين العضوي أو الفسفور العضوي أو ثيوكارباميت أو بايرثرويد أو الفينوكسي ... الخ. والـ DDT مبيد الكلورين العضوي الحشري. ويسمى المبيد الحشري الذي يُنشر الهواء بالداخنة.
وتحتوي المبيدات الحشرية على مكونات نشطة (المادة الكيميائية الخاصة بالمبيدات الحشرية)، والتي في العادة يتم خلطها مع مواد كيميائية أخرى لتسهيل عملية استخدامها. وبعد ذلك تُعرف بالصياغة. وتحتاج الصياغات في العادة إلى تخفيف إضافي.

يشتمل رمز الأمم المتحدة للإدارة على دعم الموافقة المسبقة، والإجراءات التي من خلالها لا يمكن تصدير المبيدات الممنوعة أو محدودة الإستخدام في بعض الدول الصناعية إلى دول أخرى دون الاتفاق المسبق.

1-4-6 الإدارة البيئية الصحيحة للمبيدات

تحتل المبيدات موقعاً بارزاً من بين الأنواع الكثيرة من المواد الكيميائية التي تشكل خطراً على الصحة والبيئة. وعلى الرغم من أن القصد منها هو قتل أو السيطرة على الحشرات غير المرغوب بها على النباتات والأصناف الأخرى وفي نفس الوقت بعضها ضروري لإنتاج الأغذية وحماية الصحة العامة، كما هو الحال في السيطرة على الملاريا (داء البُرداء). وقد يساء استخدام المبيدات ولكن، من خلال برامج العمل الرئيسة، تم تحقيق الاستخدام الآمن والمفيد للمبيدات في العديد من دول العالم.
وبسبب الاهتمام الدولي للآثار الصحية والبيئية المحتملة للمبيدات، قامت منظمة الزراعة والأغذية التابعة للأمم المتحدة (FAO) بتوزيع الرمز الدولي للإدارة لكيفية توزيع واستخدام المبيدات 1990م. ويعمل رمز الإدارة كنقطة مرجعية في تعليمات وتسويق واستخدام المبيدات،

لا يمكن استخدام أي مبيد في أية دولة دون تسجيله، وهي العملية التي بواسطتها توافق سلطات الحكومة الوطنية على بيع واستخدام المبيدات وذلك ضمن ظروف مناسبة ومحددة للاستخدام.

ويجب أن تكون ذات قيمة بالنسبة للدول التي ليس لديها حتى الآن الطرق الكافية للسيطرة على استيراد وتوزيع وتخزين وإزالة المبيدات.
ويشتمل رمز الإدارة على دعم (الموافقة المعلومة مسبقاً، PIC)، الإجراءات التي من خلالها لا يمكن تصدير المبيدات الممنوعة أو المحدودة جداً في بعض الدول الصناعية إلى دول أخرى دون الاتفاق المسبق.
بينما قد لا يعمل رمز الإدارة على حل المشكلة، إلا أنه يعمل على تزويد الدول النامية بالإرشادات الأساسية للإدارة البيئية الصحيحة للمبيدات.

6-4-2 التسجيل

لا يجب استخدام أي مبيد حشري في الدولة دون التسجيل المسبق له. والمقصود بالتسجيل هي العملية التي من خلالها توافق السلطات الحكومية الوطنية المسؤولة على بيع واستخدام المبيدات. ويكون ذلك مسبوقاً بتقييم مناسب للمعلومات العلمية الشاملة التي تبين أن المنتج فعال للغايات المقصودة وهو حتى الآن لا يشكل خطراً على صحة الإنسان والحيوان أو على البيئة.

يعمل توافق FAO/WHO حول بقايا المبيدات (JMPR) على وضع مستويات المبيدات التي يمكن أن يتجرعها الإنسان يومياً، على مدى الحياة، دون وجود خطر ملحوظ.

وتعتمد عادة الدول التي ليس لديها تسجيل متطور جداً وإطار فحص معتمد، على التقييمات التي تجريها منظمة الأغذية والزراعة ومنظمة الصحة العالمية على مخلفات المبيدات (JMPR) حول استخدام المبيدات في الزراعة. ووضعت (JMPR) مستويات للمبيدات التي تدخل في جسم الإنسان يومياً، على مدى الحياة دون أن تشكل خطراً ملحوظاً (أنظر القسم 4-1-2)، واقتراحات لأكبر مستويات لبقايا المبيدات في الغذاء مرتكزة على الممارسات الزراعية الجيدة. بعد تعقيب الحكومة، يمكن أن يتم تبني هذه المستويات من خلال كود الحدود القصوى للمتبقيات (MRLs) ومن خلال لجنة الدستور الغذائي (CAC). ومن الجدير بالملاحظة أن تلك المبيدات التي تبنتها لجنة الدستور الغذائي هي فقط من تقوم لجنة كود الحدود القصوى للمتبقيات (MRLs) بفحصها وإعادة النظر فيها من خلال (JMPR).
وبالإضافة إلى الاستخدامات الزراعية، تُستخدم المبيدات للسيطرة على الحشرات والآفات الضارة الأخرى وذلك لأهمية الصحة العامة، مثل الرخويات والبعوض والذباب والبراغيث وبعض الفراش والقمل. وكذلك هنالك حاجة لتسجيل استخدام المبيدات في برامج الصحة العامة. قامت منظمة الصحة العالمية بنشر محددات للخصائص الفيزيائية والكيميائية لمثل هذه المبيدات وطرق الفحص لتحديد هذه الخصائص وكذلك الإرشادات العملية للطرق المستخدمة ودورة المعالجة من أجل اتخاذها.

6-4-3 الوَسْم

يجب أن توسم جميع عبوات المبيدات بشكل واضح ويجب أن يحتوي الوسم على المعلومات التالية:

- الاسم التجاري والاسم المعتمد للمبيد وكذلك المحتويات النشطة والخطر الذي تسببه.
- الحشرات التي يُستخدم لها هذا المبيد.
- اجراءات السلامة الضرورية عند استخدام المبيد أو التعامل معه والمعالجة الطبية في حال التسمم بالمبيد.
- كيف ومتى وأين يُستخدم المبيد.
- كيف يخلط أو يخفف المبيد.
- كيفية غسل معدات الخلط بعد استخدام المبيد، وكيفية التخلص من المبيدات التي لا نريدها.
- إذا كان بالإمكان خلط المركب مع مبيدات أُخرى أو مواد مخففة.
- القوانين والتعليمات المطبقة بشكل خاص على استخدام المبيدات والتي تشتمل على فترة الدخول المحددة في المنطقة الموجود بها المبيد، وأقل فترة أو فترة الامتناع الملحوظة بين رش المبيدات وحصاد المحاصيل.
- اسم وعنوان المصنع في الدولة واسم الموزع أو العامل وكذلك رقم التسجيل للمبيد.
- تاريخ التصنيع و/أو الصياغة، وتاريخ الانتهاء.
- أية معلومات مطلوبة في تلك الدولة أو المنطقة.

6-4-4 التعليم والتدريب وحماية العاملين

إن تعليم العاملين على جميع المستويات مطلوب فيما يتعلق بالأخطار الملازمة لاستخدام المبيدات والتقنيات المناسبة للتأكد من الاستخدام الآمن لها. وتعبئة المبيدات ونقلها وتخزينها

وخلطها واستخدامها هي عمليات خطرة تتطلب تدريباً مناسباً وذلك لضمان سلامة العاملين. وتتوفر في غالبية الدول معلومات عن المبيدات وكيفية استخدامها بشكل آمن وفعال ويتم إصدارها من خلال الحكومات والوكالات الدولية والنقابات التي تمثل المصنعين وخبراء الزراعة والمدارس والكليات.

تزويد العاملين بالمعلومات الصحيحة من مسؤولية الموظف، إذا كانت هنالك حاجة لتوفير حماية خاصة، على الموظف توفيرها، وتعليم العاملين على الاستخدام الصحيح لها والمحافظة عليها مُصانة والعمل على تبديلها عند تعطلها. وإعطاء الأولوية لاستخدام النظارات الواقية لحماية العين من الإصابات واستخدام جهاز التنفس وكمامة في الأجواء المغبرة واستخدام الكفوف لحماية الأيدي. وكذلك تشمل الحماية الشخصية ملابس عمل قابلة للغسل وتوفر الماء والصابون لغسل الجلد المتعرض أينما وُجدت مبيدات أو أية مواد كيميائية أخرى.

وقد أصبح وعي عامة الناس بالمبيدات متزايداً إلى حدٍ ما بسبب تأثيرات استخدامها التي لا تكون مقتصرة على المنطقة التي جرى استخدام المبيد فيها. وتوعية العامة لا تتعلق كثيراً بفوائد استخدام المبيدات بقدر ما تهتم بالأضرار الناجمة عن سوء الاستخدام. ويجب أن يهتم مستخدموا المبيدات بشأن عامة الناس وأن يكونوا مثالاً جيداً من خلال اتخاذ الإجراءات الاحترازية عند التعامل مع المبيدات.

6-4-5 النقل والتخزين والتخلص

يجب رفض استخدام العبوات التالفة أو التي تتسرب منها المبيدات أثناء النقل. كذلك يجب أن لا تتسبب مركبة النقل في إتلاف العبوات كما يجب تجنب وجود الحواف الناتئة والحادة أو المسامير داخل المركبة. كذلك يجب عدم نقل عبوات المبيدات بنفس المركبات الشاحنة التي تحمل المواد الغذائية أو أغذية الحيوانات.

ويعرض عدم التخزين الصحيح المبيدات للتلف. ولتجنب مشاكل التخزين، يجب تخزين الكمية المطلوبة للاستخدام فقط. كما يجب إغلاق جميع مناطق تخزين المبيدات وأن لا تكون مواقع تخزين المبيدات معرضة للفيضانات أو يكون هنالك أي احتمال لتلوث مصادر المياه الجوفية وأن لا تقع ضد تيار تزويد مناطق تجمع المياه وبعبارة أخرى يجب أن لا تقع المستودعات في مناطق حساسة بيئياً.

وتتطلب إزالة المبيدات غير المرغوبة والعبوات إرشادات من الخبراء. والتي تشتمل الطرق المستخدمة في إعادة المواد بشكل آمن إلى المزودين أو تحويلها إلى رماد أو دفن المبيدات بعبواتها في مواقع يتم اختيارها بحذر وتكون معزولة جيولوجياً عن مصادر المياه وتكون غير معرضة للفيضانات.

ويجب عدم استخدام عبوات المبيدات الفارغة لوضع الأغذية ومياه الشرب فيها. وإذا لم يكن بالإمكان إعادة العبوات إلى المزودين، فيمكن التخلص منها من خلال الدفن أو الحرق أو إعادة غسلها، وذلك باتباع الإجراءات المعتمدة والتي يتم الإشراف عليها بحذر، وأخذ الحيطة والحذر لتجنب تلوث مصادر المياه.

6-4-6 الإدارة المتكاملة للحشرات الضارة (IPM)

هي منهجية تم تطويرها بشكل بطيء في السنوات الأخيرة. وفي الأساس هي تطوير مجموعة من طرق السيطرة البيئية التقليدية والبيولوجية والكيميائية على الحشرات الضارة للحد من اعتمادها على المبيدات، وللحد من الخطر الحقيقي الذي قد ينجم عنه وجود مناعة للحشرات ضد المبيدات. وفي نفس الوقت، يتم التقليل من خطر تعرض الأشخاص المستخدمين للمواد الكيميائية. ومن الأمثلة على الـ IPM استخدام أنواعاً مختلفة من المحاصيل التي تتمتع بمناعة ضد الحشرات الضارة وكذلك طرقاً بيولوجية تشتمل على إطلاق حشرات عقيمة أو بكتيريا تقتل الأصناف المختلفة من الحشرات الضارة، أو إطلاق الحشرات أو الحيوانات التي تستهلك الحشرات الضارة ولكن لا تستهلك المحاصيل.

6-4-7 التسمم بالمبيدات

يجب اتباع الإرشادات الضرورية لمنع أو التقليل من التعرض للمبيدات، ومع ذلك فالتسمم بالمبيدات شائع فبعض المبيدات سامة بشكل كبير وكمية قليلة منها تُحدث تسمماً حاداً. وجميع حالات التسمم بالمبيدات يجب عرضها على الطبيب بالسرعة الممكنة. ومن المهم بالنسبة للطبيب معرفة نوع المبيد الذي تم التعرض له من قبل الشخص المصاب.

وتختلف أعراض وعلامات التسمم باختلاف طبيعة المبيد وهي تشمل الصداع وضعف عام وإرهاق وتعرق وتقيؤ وضعف في الرؤية ونوبات صرع. والإسعاف الأولي والمعالجة الطبية متوفرة حال التعرض للتسمم بأنواع مختلفة من المبيدات (الفسفور العضوي وكاربامايت والكلورين العضوي وبايرثرويد،..الخ). ويجب تدريب عاملي الرعاية الصحية الأولية على الإسعافات الأولية، والتي يجب ممارستها إلى أن يتم تقييم حالة المصاب من قبل طبيب مؤهل طبياً.

وعند استخدام المبيدات والمواد الكيميائية الأخرى في دولة ما يجب إنشاء مركز معلومات عن السموم لتقديم الخدمة إلى العاملين في الرعاية الصحية والأطباء الذين يتم استدعاؤهم لمعالجة حالات التسمم الحاد.

مراجعة

بعد قراءة هذا الفصل يجب أن تكون ملماً بأن:

- الإدارة البيئية المستقرة للمواد الكيميائية السامة، تُعرف بمصطلح من المهد- إلى- اللحد أو إدارة دورة الحياة التي تتطلب وجود إدارة مسؤولة عن المواد الكيميائية منذ بداية صناعتها وحتى التخلص منها.

- الأسهل والأقل كلفة والأقل دماراً لكل من صحة الإنسان والبيئة هو منع انبعاث المواد السامة وهو أفضل من معالجة التلوث بعد حدوثه.

- تقييم الأثر البيئي والصحي (HEIA) دراسة شاملة من أجل تقدير وتوقع ومنع الطرق التي تؤثر بها الصناعات المنتجة للمواد الكيميائية الخطرة على الهواء والماء وجودة التربة، وكذلك أنماط السير، والاستغلال الكثير للأراضي والاعتبارات الجمالية في المجتمع.

- التعليمات والمعايير يُقصد منها التأكد من توفر السلامة عند استعمال المواد الكيميائية وهي لا تحقق شيئاً إلا إذا تم تنفيذها بتكاليف معقولة ويتم تطبيقها روتينياً وذلك يتطلب وسائل مناسبة وخبراء تقنية وإطار عمل تشريعي.

- رمز الإدارة التابع لمنظمة الزراعة والأغذية التابعة للأمم المتحدة (FAO) يشتمل على دعم (الموافقة المعلومة مسبقاً، PIC) وتعني الإجراءات التي لا يمكن من خلالها تصدير المبيدات الممنوعة أو المحدودة جداً في بعض الدول الصناعية إلى دول أخرى دون الاتفاق المسبق.

- تعتمد الدول التي لا تملك سجلاً مطوراً في مجال المبيدات الحشرية عادةً على التقييمات المطبقة من قبل الإجتماع المشترك لمنظمة الصحة العالمية ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة حول متبقيات المبيدات في مجال استخدام المبيدات في الزراعة. ووضعت (JMPR) مستويات متبقيات المبيدات التي تدخل جسم الإنسان يومياً، على مدى الحياة، دون أن تشكل خطراً يمكن تقديره.

- الخطوات البسيطة في استعمال المبيدات سوف تساعد في التأكيد على السلامة والاستعمال المفيد للمبيدات وبأقل المخاطر. وتشمل هذه الخطوات الوسم المناسب والاستخدام والتخزين والتخلص من المنتجات الكيميائية المتضمنة المبيدات.

قائمة المصطلحات

pH	تركيز أيون الهيدروجين، يستخدم للتعبير عن حامضية أو قاعدية المادة.
ابتلاع	تناول المادة من خلال الفم وامتصاصها في القناة الهضمية.
إختناق	الحالة الناجمة عن نقص الأكسجين في الهواء المستنشق وينتج عنه الوفاة.
أدنى مستوى تأثير عكسي ملحوظ	هي أدنى جرعة للمادة الكيميائية أثناء التجربة والتي تؤدي إلى حدوث تأثير عكسي ملحوظ.
استحالة بيولوجية	سلسلة من التغيرات الكيميائية للمادة أو المركب الموجودة ضمن المادة العضوية (نبات أو حيوان).
استنشاق	سحب الهواء إلى داخل الرئتين.
إضطراب الجهاز الوعائي الطرفي	تمزق الأوعية الدموية في الأطراف والطبقة الخارجية من الجسم.
أكزيما	أحد أنواع الالتهابات الذي يحدث كرد فعل على العديد من العوامل الداخلية والخارجية المنشأ. يتم تشخيصها من خلال الوذمة والتهاب ورشح وتقشر وتحرشف الأدمة.
ألفة	لديه جذب خاص لعنصر معين أو عضو معين.
إنعكاس	تغير غير الطبيعي وغير المرغوب أو التغير المؤذي وينتج عن التعرض للمواد الكيميائية السامة.
بلعمة	العملية التي تقوم من خلالها الكريات البيضاء المصبوغة بالأصباغ المتعادلة والخلايا البلعمية بغزو وابتلاع الجسيمات الصغيرة.
تأثير البيت الزجاجي (الدفيئة)	هو تذبذب وارتفاع درجة حرارة الغلاف الجوي نتيجة زيادة تركيز غازات البيت الزجاجي مثل الماء وثاني أكسيد الكربون والكلوروفلوروكربون والميثان. إن هذا التأثير يزداد لأن تركيز غازات البيت الزجاجي تزداد بقوة.
تأثير مستقل	عندما ينتج عن المواد الكيميائية تأثيرات مختلفة أو تكون لها أنماط مختلفة في الأداء، فإنها لا تتداخل مع بعضها البعض.
تأثير مضاف	مجموع تأثير مادتين كيميائيتين أو أكثر مساوياً لمجموع التأثيرات لكل مادة وحدها.
تأثير موضعي	تأثير المادة الكيميائية المحدد بمنطقة التلامس.
ترشيح	حركة المادة الكيميائية للأسفل من خلال التربة نتيجة لحركة المياه، ويحتمل أن تلوث المياه الجوفية.
تسمم الأسنان بالفلور	الوضع الناتج عن التعرض لكميات كبيرة من الفلور أو مركباته، مؤدياً إلى تبقع واسوداد مينا الأسنان.
تسمم هيكلي بالفلور	حالة التعرض المفرط لكميات من الفلور أو مركباته، مسبباً تغيرات هيكلية تشمل ضعف ونعومة العظام نتيجة للتمعدن الضار.
تسوس	يحدث بعد تلف النسيج الكلسي لسطح السن عن طريق إزالة كلس مادة مينا الأسنان. يخترق التسوس مادة المينا والعاج واللب الخاصة بالأسنان.
تعرض	الاتصال بمادة كيميائية. الطرق الرئيسة لتعرض البشر هي من خلال الامتصاص (الجلد) والابتلاع (الفم) والاستنشاق (التنفس).
تعرض مهني	التعرض إلى المواد الكيميائية أثناء العمل.
تفاعل الأرجية	استجابة جهاز المناعة عكسياً للعوامل البيئية.
تفاعل الأرجية الضوئي	نوع من الحساسية المفرطة المشتملة على التعرض لمادة كيميائية وطاقة (ضوء) مشعة.
تقييم الأثر البيئي والصحي (HEIA)	دراسة شاملة للتنبؤات والتقييم ومنع الطرق التي يؤثر بها تطور الصناعات سلبياً على البيئة المحيطة أو على صحة الإنسان.
تكلس	العملية التي يصبح بها النسيج قاسي نتيجة ترسبات أملاح الكالسيوم في مادته. تَندب الأنسجة هو مثال على الخلايا المتكلسة.
تليف الرئة	تكوُّن النسيج الليفي في الرئتين. ويتم تشخيصه من خلال الالتهابات المزمنة والتليف المتقدم لجدران السنخ الرئوية، إضافة إلى ضيق التنفس.
تنظيف المخاطي	إزالة المخاطر من القناة التنفسية بواسطة الأهداب.

تنقية الغاز	العملية التي يتم من خلالها معادلة الغازات الحامضية بقاعدة، مثل هيدروكسيد الكالسيوم.
التهاب شُعبي	التهاب شُعبة أو شُعبتا القصبة الهوائية في الرئة.
توكسين	مادة سامة تنتجها العضيات الحية.
جرعة يومية مقبولة	هي عبارة عن تقدير الجرعة اليومية للمواد المتوقعة دون إحداث خطراً صحياً على الإنسان عندما تؤخذ يومياً بشكل دوري مدى الحياة.
جسم مُضاد	هو جزيء تنتجه الخلايا الليمفاوية ويتفاعل فقط مع المُولد المضاد المُستحدث في تركيبه.
جهاز عصبي طرفي	بنية الجهاز العصبي الموجودة خارج الجهاز العصبي المركزي.
جهاز عصبي مركزي	هو الجهاز العصبي الذي يحتوي على الدماغ والحبل الشوكي.
جودة التغذية	الحث على النمو الزائد للنبات أو الفطر بالمياه الطبيعية من خلال زيادة تزويدها بالنيتروجين غير العضوي ومركبات الفوسفات الموجودة في الأسمدة والمركبات الاخرى المشابهة.
حاجز دموي دماغي	عبارة عن حاجز منتقى بين الجهاز العصبي وبقية الجسم والذي يحمي الجهاز العصبي من مواد سامة معينة.
خطر	احتمالية وجود تأثير سلبي غير مرغوب فيه.
خَلب	العملية التي ينفصل من خلالها الأيون الفلزي ويرتبط بقوة بحلقة ضمن الجزيء الاستخلابي، وتستخدم في المعالجة الكيميائية عند التسمم بالمعادن (مثل التسمم بالرصاص).
داء الإسبست	أحد أشكال أمراض الرئة ناجم عن استنشاق ألياف الإسبست. يتم تميزه من خلال تليف أنسجة الرئة ابتداءً من المناطق القاعدية وحتى التندب الكبير.
سُّحار قطني (تترب الرئة)	أحد الامراض الرئوية التي تصيب عمال النسيج نتيجة استنشاق غبار النسيج. يتميز بتضيق الصدر وأزيز تنفس وسعال. في الحالات المزمنة يحدث ضيق في التنفس. وتعرف كذلك بالرئة البنية أو أزمة غبار القطن أو حمى القطن وحمى الاثنين.
سلامة	في العادة تعني عكس الخطر، وهي التأكد العملي بأن التأثيرات السلبية لن تظهر عندما يتم استخدام المادة الكيميائية بالكمية والطريقة المقترحة لاستخدامها.
سُميات الاستنشاق	طريقة التعرض للمادة السامة خلال دخولها إلى الرئتين.
سُميات الأعصاب	المادة القادرة على إتلاف انسجة العصب أو التأثير عليه سلبياً.
سُميات الجهاز التنفسي	إستجابة الرئتين للسُميات المستنشقة.
سُميات الكبد	مادة سامة أو مادة تسبب تلف الكبد، وبالأخص تجمع الدهون وموت خلايا الكبد.
سُميات المناعة	المواد الكيميائية البيئية أو العقاقير التي تؤثر على جهاز المناعة.
سمية	(1) مقدرة المادة أو صفاتها التي تؤدي إلى تأثيرات سلبية. (2) كمية محددة من المادة والتي من المتوقع – وتحت ظروف محددة أن تؤدي إلى تلف محدد للأعضاء الحية.
سمية بدني	التسمم العام ويوجد في موقع يبعد مسافة عن مكان دخول المادة السامة.
سمية حادة	التأثيرات السلبية على موت الأعضاء والتي تحدث بسرعة بعد التعرض إلى عامل كيميائي. قد يكون التعرض منفرد أو متكرر خلال مدة قصيرة من الزمن، والتأثير الحاد يعتبر بشكل عام هو التأثير الذي يحدث خلال الأيام القليلة الأولى بعد التعرض، في العادة أقل من أسبوعين.
سمية دون المزمنة	السمية المتوسطة بين الحالة الحادة والمزمنة. دراسة السمية دون المزمنة تشتمل على التكرار اليومي لتعرض الحيوانات إلى المواد الكيميائية لفترة زمنية من العمر (لا تتجاوز 10%). في القوارض تتمدد هذه الفترة حتى 90 يوماً من التعرض.
ضباب كيميائي	أحد أشكال المبيدات الحشرية المحتوية على مكونات فعالة تُشرب في الناقل النهائي مثل الوحل وسلكيات المغنيسيوم المميأة وكربونات الكالسيوم.
طبقة الأوزون	على ارتفاع 25-30كم تقريباً، هنالك تركيز مرتفع نسبياً للأوزون (تقريبا 10 أجزاء /مليون جزء) والتي تدعى بـ " طبقة الأوزون".
عصبون (الخلية العصبية)	الوحدة الوظيفية للجهاز العصبي، وهي توصل أو تنقل السيالات العصبية (الإشارات العصبية).
عضو مستهدف	العضو الذي تظهر عليه الإصابة بالسم من خلال التأثيرات العكسية.

علم الأوبئة	دراسة توزيع حالات محددة متعلقة بالصحة أو حوادث متعلقة في السكان.
غازات البيت الزجاجي	بخار الماء وثاني أكسيد الكربون والميثان وأكسيد النايتروز.
فرط التصبغ	الزيادة غير الطبيعية في التصبغ.
فقر الدم	أحد أشكال الأنيميا حيث يفشل نخاع العظم في إنتاج أعداد كافية من عناصر الدم المحيطية. بالتالي، فإن عدد كريات الدم الحمراء بوحدة الحجم أو كمية إنتاج الهيموجلوبين في الدم تكون مضطربة.
قابلية التحرك والتنقل	تتعلق بحركة المادة الكيميائية في البيئة. تعتمد على الوضع البيئي الذي توجد فيه المادة الكيميائية وميزاتها الكيميائية والفيزيائية.
قدرة على احتمال السم	(1) حدود قانونية – وضعتها الوكالة الأمريكية للحماية البيئية – لأقصى كمية من متبقيات المبيدات الحشرية والتي يمكن أن توجد في أو على الطعام وتعني القدرة المؤقتة على احتمال السم والتي تغطي المتبقيات الناجمة عن الاستخدام في التجارب تنتهي في العادة بعد عام واحد. (2) المقدرة على الصمود للتعامل مع المبيدات دون وجود تأثير عكسي على النمو والعمل الطبيعي.
كبت المناعة	منع استجابة المناعة الذاتية.
كرية الدم البيضاء	خلية الدم البيضاء، أكبر مكونات جهاز المناعة.
كُليون	الوحدة الوظيفية للكلية، تحتوي على مخزون دم كبير وكبيبة ونبيب طويل.
لا هوائي	العملية التي لا تحتاج إلى أكسجين أو هواء أي تتم في الظروف الخالية من الأكسجين.
لوكيميا	مرض خبيث متقدم للأعضاء التي تُكوِّن الدم (نخاع العظم). ويُشخص بالتشعب الالتوائي وتطور كريات الدم البيضاء في الدم ونخاع العظم.
مؤازرة	تفاعل مادتين كيميائيتين أو أكثر ينتج عنه تأثير اكبر من مجموع تأثير المواد الكيميائية كلا على حده.
مادة مسرطنة	أي مادة كيميائية قادرة على إحداث السرطان.
ماسخة	مقدرة المادة على إيجاد عيوب ولادة غير متوارثة أو خلل تشريحي أو وظيفي كنتيجة لتأثير المادة على تطور المضغة أو الجنين.
متضاد	الفعل المركب لمادتين أو أكثر لإحداث تأثير أقل من تأثير كل مادة على حدة، عكس المؤازرة.
محور الليفة العصبية	عبارة عن ليف يمتد خارج جسم العصبون.
مدخول يومي مؤقت مقبول (PADI)	أكبر جرعة للمادة والتي من المحتمل أن لا تؤدي إلى أخطار صحية للإنسان عندما يأخذها يومياً على مدى الحياة. وقد وضعته الوكالة الأمريكية للحماية البيئية.
مدخول يومي محتمل (TDI)	كمية المادة الكيميائية التي تدخل إلى الجسم يومياً وعلى مدى الحياة دون إحداث خطراً صحياً.
مدخول يومي مقبول	هي أقل جرعة تسبب الوفاة لدى حيوانات الاختبار.
مرض مزمن	يوجد لمدة طويلة من الزمن – إما متواصلاً أو بشكل متقطع – ويستخدم هذا المصطلح لوصف التعرضات والتأثيرات التي تتطور بعد التعرض لفترات طويلة.
مستوى التأثير العكسي غير الملحوظ	هي أعلى جرعة للمادة الكيميائية أثناء التجربة والتي لا تؤدي إلى حدوث تأثير عكسي ملحوظ.
مستوى التأثير غير الملحوظ	تركيز المادة الملوثة عندما لا يكون هناك تأثير أو تأثير قليل جداً – سوءاً كانت ضارة أو مفيدة – على الإنسان.
مسرطن الكبد	أي مادة أو مركب قادر على أن يسبب سرطان للكبد. والكبد بالذات لديه القابلية لعلاقته التشريحية مع معظم بوابات الدخول للقناة المعوية، وكذلك لوجود تركيز مرتفع جداً من الأنزيمات الأيضية الكيميائية. العديد من هذه الأنزيمات تنتج وسائط فعالة تستطيع التفاعل مع بروتينات الكبد والـ DNA مُحدثة السرطان.
مطر حمضي	المطر الذي يحتوي على pH أقل من 4.
مطفِّر	العامل الذي يؤدي إلى تغيرات دائمة في الخلية غير تلك التي توجد خلال الاتحاد الوراثي الطبيعي.
معامل اللايَقِين	هو رقم (يساوي واحد أو أكثر) يستخدم لتقسيم قيم NOAEL أو LOAEL ويُشتق من القياسات على الحيوانات أو المجموعات الصغيرة من البشر، وذلك لتقدير قيم NOAEL لجميع السكان، كذلك يسمى بـ "هامش اللايَقِين".
معدات الوقاية الشخصية	أدوات خاصة يستخدمها العاملون للحماية من التعرض المحتمل للمواد الكيميائية.

مفصليات	هي عضيات مثل الحشرات والعناكب (العناكب والقمل) والقشريات.
من المهد إلى اللحد	الإدارة البيئية للمواد الكيميائية السامة بداية من تصنيعها وحتى التخلص منها.
مواد متطايرة	المواد التي لها القدرة على التبخير أو التبخر بسرعة.
موافقة معلومة مسبقاً	رمز الإدارة التابع لمنظمة الأغذية والزراعة التابعة للأمم المتحدة الذي يشتمل على أن المبيدات الحشرية الممنوعة أو محدودة الاستعمال بشكل كبير لا يمكن تصديرها من بعض الدول الصناعية إلى دول أخرى دون موافقتها المسبقة.
مورث إنساني	ينشأ نتيجة نشاط الإنسان.
موصل عضلي عصبي	الفجوة الصغيرة الموجودة بين ألياف العضلة والعصب.
مُولد مضاد	أي مادة تكون قادرة – تحت ظروف مناسبة – على إحداث استجابة مناعية معينة. قد تكون المُولدات المضادة عبارة عن مواد سامة أو بروتينات غريبة أو جسيمات مثل الجراثيم.
ناقل عصبي	المادة الكيميائية المسؤولة عن نقل المعلومات على طول الجهاز العصبي.
نقطة النهاية	تأثير بيولوجي يُستخدم كمؤشر لتأثير المادة الكيميائية على العضو.
نَقيلة	هي العملية التي يتم من خلالها انتشار خلايا السرطان من الورم الرئيسي إلى إجزاء الجسم الأخرى.
هرمون	مادة كيميائية تفرزها الغدد وهي تسيطر على أجهزة الجسم الاخرى.
هيبا توسايت (Hepatocyte)	الخلية الكبدية.
هيدروكربونات	مركب كيميائي يحتوي فقط على الكربون والهيدروجين.
وَذمة	الحالة التي يتم تشخيصها من خلال التهاب الجلد. قد يسببها التعرض للأرجية.
ورم المتوسطة	ورم خبيث مشتق من أنسجة الطبقة المتوسطة [البريتونيوم وبليورا (Pleura) وبيريكارديوم (Pericardium)] وهو شكل من أشكال سرطان الرئة الإسبستية.
ورم حميد	الورم غير المسرطن.
ورم خبيث	الورم الذي يميز بنمو الخلايا وميولها لغزو وتدمير الانسجة الأخرى.
ورم ذات نمو خبيث (Neoplasm)	نمو جديد أو ورم ناتج عن تجمع أو إعادة إنتاج سريع للخلايا في المنطقة الواحدة.
ورم قرني	موضع من الجلد متميز بنمو نسيج قرني، مثل التالولة أو ندبة صلبة.