المقدمة

يعتبر التلوث بالعناصر الثقيلة مهم جدا لأنه يدخل في سلسلة غذاء الإنسان , ويعتبر الكادميوم ذو سمية عالية للإنسان والنباتات , ففي النبات يسبب في انخفاض معدل التركيب الضوئي وخفض معدل امتصاص الماء والمغذيات وتظهر على النبات أعراض الاصفرار واسمرار نهايات الجذور وأخيرا موتها ويشكل الكادميوم نسبياً ٠.٩ ملغرام /كغم (من القشرة الأرضية إضافة إلى انه عنصر نادر فيها وال يوجد بحالة نقية في الطبيعة , ويعتمد انتقال العنصر من التربة إلى سلسلة الغذاء على عدة عوامل إضافية منها نوع التربة ونوع النبات والـ PH ومحتوى التربة من الخارصين Zn وللمادة العضوية OM تأثير مهم في هذا الاتجاه)ويكمن خطر الكادميوم في أن النباتات ال تعمل كمؤشر للمستويات السامة للحيوانات , الن النباتات تقاوم مستويات أعلى من الكادميوم مقارنة بالحيوانات أو يمكن أن تكون سليمة بالرغم من محتواها العالي من العنصر الثقيل " الكادميوم " كما أن تواجد الكادميوم بكميات فائقة يسبب تلف أنابيب الكلى والأغشية المخاطية ويعمل على انتفاخ الرئة .اضافة الى ذلك يعتبر الكادميوم من العناصر التي لها القدرة على إحداث مرض السرطان ويمكن للعناصر الثقيلة إحداث طفرات وراثية أيضا مما ينعكس على العجز في الأداء وحصول تشوهات خلقية في بنية جسم الإنسان , ويعتبر الكادميوم من أكثر العناصر المعدنية سمية بسبب قدرته على التراكم داخل الأنسجة الحية ويصل نصف عمره إلى ٣٠ سنة من جانب أخر , فان للأسمدة العضوية أهمية قصوى في تحسين خصائص التربة الكيميائية والحيوية فتؤثر المادة العضوية OM على حموضة التربة وخصوبتها وإمداد النبات بالعناصر الغذائية المنطلقة من المركبات العضوية أثناء تحللها وإمداد الكائنات الدقيقة بالطاقة وعناصر بناء أجسامها ومما يعزز ذلك ما ذهب اليه من ان أهم فوائد السماد العضوي هي تحسين صفات النبات وحاصل الثمار وزيادة النمو الخضري بسبب تحسين صفات التربة إضافة إلى تحسين إعادة دورة المغذيات للنبات.

وتعتمد خصائص التربة الكيميائية والحيوية بشكل كبير على محتوى المادة العضوية في التربة ومن غير الممكن الحصول على حاصل جيد من محتوى مادة عضوية اقل من ٠% أن استعمال سماد البقر ساهم في زيادة معنوية في عدد الأفرع الثانوية , وارتفاع النبات , وقطر الساق في نبات الفلفل لقد ساهمت إضافة الأسمدة العضوية إلى تحسين وزيادة امتصاص المغذيات مثل N,P,K,Ca,Mg بدليل تحليل الأوراق. وتتأثر جاهزية الكادميوم بتواجد المادة العضوية وإفرازات الجذور والـ PH وتراكيز العناصر الغذائية) ٢٥) وبالرغم من ان جذور النباتات قادرة على امتصاص كميات كبيرة من الكادميوم من محلول التربة إال إن حركته داخل النبات صعبة ومعاقة ولقد ظهر بأن الكادميوم يبقى في الجذور على سطوح التبادل ويمكن أن يحل محله Ca , Mn , Zn وحتى الـ P ان تراكيز العناصر الثقيلة في مناطق المدن أكثر مقارنة مع المناطق الريفية بسبب تلوث المدن , وتختلف النباتات في مقدرتها على امتصاص وتراكم العناصر الثقيلة

وقد اكتشف الكادميوم الألماني فريدريش شتروماير Friedrich Stromeyer عام ١٨١٧. إذ حصل على ثلاثة گرامات منه بإجراء عمليات كيمياوية معقدة على فلز كبريتيد الزنك المشوببكبريتيد الكادميوم.

يختلف الكَدْمُيوم عن المعادن القلوية الترابية بصعوبة انحلال كبريتيدهCdS ، وبكون أكسيده ذا خواص أساسية أضعف، وبميله إلى تشكيل معقدات complexesخاصة معقدات نشادرية وسيانيدية. درجة انصهاره ٣٢٠.٩ ˚س ودرجة غليانه ٧٦٧ ˚س منخفضتان ويعزى ذلك إلى بنيته الإلكترونية ((٢+١٨) إلكتروناً) التي لا تساعد على تكوين رابطة معدن-معدن في الحالة الحرة.

المبحث الاول

نبذة عن الكادميوم

الكادميوم عنصر كيميائي له الرمز Cd والعدد الذري ٤٨ في الجدول الدوري للعناصر.

اكتشف الكادميوم عام ١٨١٧ من قبل فريدريك ستر وميري (ألمانيا). أصل الاسم مشتق من الكلمة اللاتينية cadmia ومعناها كربونات الخارصين. أو مشتق من الكلمة اليونانية kadmeiaولها نفس المعنى السابق. الكادميوم عنصر فلزي لين قابل للسحب لونه أزرق يميل إلى البياض. الكادميوم يذوب في الأحماض ولا يذوب في القلويات. الكادميوم المغلي ينتج عنه أبخرة صفراء سامة. يمكن للكادميوم أن يسبب مشاكل صحية جمة كالفشل الكلوي وارتفاع ضغط الدم. يحصل على الكادميوم كمنتج ثانوي من تنقية الخارصين. يستخدم الخارصين في عملة الطلاء الكهربائي لعدد من الفلزات الأخرى وفي صناعة البطاريات كما يدخل في صناعة المفاعلات النووية؛ نظرا لامتصاصه العالي للنيوترونات. كما تدخل مركباته في صناعة الأصباغ

عنصر فلزي طري يوجد مع النحاس والزنك وخامات الذهب التي تستخدم في إشابات مضادة للتعب، والبطاريات وحماية المفاعلات الذرية واللحام. والعنصر سام وأملاحه كذلك، واستنشاق بخاره يسبب السحار وتغبر الرئة، وأكله ،و حاوياته تسبب أعراضاً قوية في الأمعاء. يوجد في دخان السجائر والبقايا الصناعية والبلاستيك، والتعرض له يسبب السرطان وارتفاع ضغط الدم وتقليل فعالية إنزيمات معينة. الكادميوم يشكل خطراً مهنيًّا في العمليات الصناعية مثل تصفيح المعادن والأصباغ والبلاستيك والمركبات التركيبية الأخرى. وأهم طريق للتعرض للكادميوم هو التنشق. واستنشاق الدخان المحتوي على الكادميوم قد يؤدي إلى الالتهاب الرئوي، والوذمة الرئوية، ثم الوفاة.

ويشكل الكادميوم أيضاً تهديداً بيئياً. ويتعرض الإنسان للكاديوم في البيئة نتيجة احتراق الوقود الطبيعي من المستحثات واحتراق فضلات البلديات. وتطور المجتمعات التي تستهلك المواد الملوثة بالكاديوم شذوذات كلوية بما فيها وجود البروتين في البول ووجود السكر في البول، ويعتبر الكادميوم مادة مسرطنة، ويمكن أن تسبب أنواعا متعددة من السرطانات. ولأنه يشبه الزنك في الجدول الدوري، فإنه يحل محل الزنك والكالسيوم والماغنيسيوم وهو أكثر نشاطاً منها.

عدده الذري ٤٨، ووزنه الذري ١١٢،٤١١. سمي نسبة إلى قدموس المعلم الفينيقي في اليونان القديمة. وأول من اكتشفع العالم الألماني فريدريش ستروماير عام ١٨١٧.

كثيرة هي المعادن الموجودة في الطبيعة بأشكال وأنواع متعددة، ومن هذه المعادن هو الكادميوم، الذي قد لا يكون معروفا لدى كثير منا، على رغم شيوع وجوده في كثير من المصنوعات والمنتوجات والمأكولات بشكل يدعو إلى الحيطة والحذر، لما قد يسببه للإنسان من أضرار صحية خطيرة بعد أن يتراكم داخل جسم الإنسان، وتتعدى تراكيزه الحدود الحرجة الآمنة.

ويهدف هذا التحقيق إلى كشف النقاب عن ماهية معدن الكادميوم، وطرق انتقاله إلى جسم الإنسان، وما يسببه من أضرار صحية، وكيفية التعامل معه.

يتحدث رئيس لجنة الدراسات والتخطيط بجمعية حماية المستهلك البحرينية جلال عبدالله السعد عن معدن الكادميوم، قائلا: «معدن الكادميوم عنصر موجود في الطبيعة، ويعد إحدى عناصر قشرة الأرض، ويكون ملمسه ناعما ولونه يميل إلى الأبيض الفضي، وهو لا يوجد غالبا في صورته النقية في الطبيعة بل متحدا مع عناصر أخرى مشكلا حضورا متعددا لهذا العنصر بأشكاله كالأكاسيد الكبريتيد الكبريتات والكربونات في خامات معادن أخرى كالزنك والرصاص والنحاس.«

ويندرج الكادميوم تحت فئة المعادن أو المواد التي لها تأثير سام، إذ تؤكد جميع الأبحاث والدراسات أن معدن الكادميوم شديد السمية على الكائنات الحية جميعها، وليس له أي دور حيوي، وتوضح الدراسات أن تعرض الإنسان لجرعات بسيطة للغاية من هذا المعدن ولفترات طويلة، من شأنه أن يحدث مع مرور الوقت تسمما مزمنا، ولقد تم إعداد الكثير من الدراسات عن الأضرار الصحية التي يسببها معدن الكادميوم على الإنسان.

ويوضح السعد أن «معدن الكادميوم غالبا ما يتم الحصول عليه عن طريق التعدين متحدا مع عناصر أخرى كالأكسجين والكلور والكبريت، معظم الصخور والأتربة وكذلك الفحم ومخصبات التربة المعدنية تحتوي على مقادير من الكادميوم. ويحصل على الكادميوم في صورته المستخلصة من خلال إنتاج معادن أخرى كالزنك، الرصاص والنحاس، ويتميز هذا المعدن بمقاومته للتآكل، وتتعدد استخداماته الصناعية كصناعة البطاريات، الألوان، طلاء ومزج المعادن، وحتى في صناعة المواد البلاستيكية.«

ويشير السعد إلى أنه «يقدر أن هناك نحو ٢٥ إلى ٣٠ ألف طن من معدن الكادميوم تجد طريقها للبيئة في كل عام، نصفها يذهب للأنهار والمحيطات، وتتسبب ثورة البراكين وحريق الغابات في نشر جزء كبير منه في الهواء، والإنسان بأنشطته المختلفة يلعب دورا ملحوظا في انتشار هذا المعدن بيئيا، إذ قدرت الكمية بنحو ٤ إلى ١٣ ألف طن سنويا، وخصوصا في عمليات التعدين، حرق الوقود الإحفوري (كالفحم في محطات الكهرباء) والمخلفات المنزلية والصناعية.«

الخصائص الفيزيائية والكيميائية

للكادميوم ومركباته الكادميوم معدن لين، قابل للسحب، فضي مائل للأبيض وكهرجابي، وهو معدن مطواع، يعاد تبلوره تلقائياً بالصب والتبريد المفاجئ، كما يعاد تبلوره ٣٢بالمعالجة على البارد، التي تحد فيدرجة حرارة الغرفة. يفقد الكادميوم بريقه بالهواء الرطب كالزنك، ويصدأ بسرعة بالتعرض لـ So٢ و NH٣ الرطب، يهاجم من قبل معظم الأكاسيد، ولكن بشكل أبطأ من الزنك. أكاسيد الكادميوم وهيدروكسيداته غير قابلة للانحلال فيماءات الصوديوم الفائض. الكادميوم ومركباته غير قابلة للاحتراق، وقد تتفكك فيالحرائق، وتطلق أبخرة آكالة وسامة،كما يتفاعل الكادميوم الساخن مع الهالوجين، والفوسفور، والسيلينيوم والكبريت، كما يتفاعل مع الأوكسجين، وثاني أكسيد الكربون، وبخار الماء، وثاني أكسيد الكبريت،وكلوريد الهيدروجين. إن ناقلية الكادميوم للكهرباء أقل من الفضة أو النحاس، ولكنها أكبر من الحديد. لذا فإن إضافته إلى النحاس يخفض من الناقلية، والانكسار، والاهتراء، وهذا يحسن من الخصائص الوظيفية للأسلاك والتوصيلات الكهربائية .تكافؤ الكادميوم الاعتيادي +٢ ويعد كبريتات الكادميوم Cds المركب الأكثر انتشاراً، توجد بعض مركبات الكادميوم بتكافؤ +١ . تترسب أيونات الكادميوم من المحلول بواسطة أيونات الهيدروكسيل، ولاتنحل المادة المترسبة فيالهيدروكسيل الزائد. تشكل أيونات الكادميوم مركبات بيضاء، غير قابلة للانحلال، وتميه عادة بالكربونات، الفوسفات، الزرنيخ، الأوكسالات، وفيروسيانيدات معطية راسباً أصفر مائلا إلى البرتقالي، جميعها قابلة للانحلال في NH٤OHمشكلةً كايتونات الكادميوم، والنشادر

مصادر التعرض البيئي للكادميوم ومركباته

يوجد الكادميوم في القشرة الأرضية بتراكيز تراوح بين (٠.١-٥.٠ (جزء بالمليون وعادة ما يكون مرتبطاً بفلزات الزنك، والرصاص، والنحاس. تنجم الانبعاثات الطبيعية للكادميوم في البيئة عن تحلل الوقود الأحفوري، وعن انتشار جزيئات الغبار، وثوران البراكين، وحرائق الغابات، أو الظواهر الطبيعية الأخرى، كما يوجد الكادميوم في البيئة نتاجاً لعمليات صناعية عدة منها احتراق الوقود الأحفوري، وترميد النفايات المنزلية والصناعية والتخلص منها، واستخدام الحمأة الناتجة عن معالجة الصرف الصحي في الأراضي الزراعية. إن تعدين المعادن اللافلزية، وتكرير الأسمدة الفوسفاتية وتصنيعها واستخدامها، هي المصادر الرئيسية الصنعية للكادميوم في البيئة. لما كان الكادميوم معدناً غير قابل للانحلال نسبياً، فالتعرض المستمر والطويل الأمد في البيئات البحرية والبرية، يؤدي إلى تحريره بأشكال متاحة حيوياً. يعتبر معدن الكادميوم مقارنة بمعظم المعادن الأخرى معدناً متحركاً نسبياً وساماً في البيئة المائية وتنظم درجة سميته ثلاثة عوامل: عسرة المياه، ودرجة الحموضة، والكربون العضوي المنحل. أما الحموضة العالية في التربة (درجة PH منخفضة) فتؤدي إلى إطلاق إيونات الكادميوم،التي تسبب بدورها سمية عالية لكائنات التربة ولقبط النبات للكادميوم .يتراكم الكادميوم بشكل كبير في جميع الكائنات من خلال السلسلة الغذائية، ويبلغ التراكم الحيوي حده الأقصى في القشريات، تتبعها الأسماك والنباتات المائية. أما التراكم الحيوي في النباتات البرية فيؤدي إلى تراكيز أعلى في الكائنات البرية التي تتغذى عليها.

الهواء

ينطلق الكادميوم في الغلاف الجوي من المصادر الطبيعية والبشرية، حيث يتوزع الكادميوم على نطاق واسع في قشرة الأرض (وكالة حماية البيئة١٩٨٥)aبتراكيز بين (٠.١-٥.٠ (جزء في المليون، ويبلغ أعلى مستوياته في الصخور ٤٢ الرسوبية. كما يوجد في مياه المحيطات بمستويات تراوح بين ٥ >إلى ١١٠ نانوغرام/ليتر، وينتقل إلى الغلاف الجوي عبر العمليات الطبيعية مثل تولد هباء ملح البحر الجوي، ولوحظت زيادة مستويات الكادميوم في الهواء في الصيف والخريف، ويعتقد بأنها تسهم في العمليات الطبيعية .يوجد الكادميوم في الهواء على شكل (أوكسيد الكادميوم وكلوريد الكادميوم وكبريتات الكادميوم)، وهي مستقرة، غير خاضعة للتفاعلات الكيميائية الضوئية، وإن تحول الكادميوم إلى مركبات متنوعة في الغلاف الجوي يعود بشكل رئيسي إلى انحلاله في الماء، أو الأحماض المخففة. ويتواجد أيضاً على

شكل جزيئات، أو أبخرة)ناتجة عن عمليات عالية الحرارة)، ويمكن أن تنتقل لمسافات طويلة في الغلاف الجوي، وتستقر (رطبة أو جافة) على سطح التربة والماء .تعد الأنشطة الصناعية المصدر الرئيسي لانبعاث الكادميوم في الهواء (وكالة حماية البيئة ١٩٨٥ a ،)فقد لوحظ أن قيمة الكادميوم الموجود في هواء الأماكن المناطق في تركيزه يصل حين في ، (٠.٠٢-٠.٠٥ µg/m³)بين يراوح الصناعية الريفية إلى ما بين (٠.٠٠١-٠.٠٠٥). µg/m³ ومن أهم المصادر الصناعية الرئيسية لانبعاث الكادميوم عمليات صهر الزنك والرصاص والنحاس،مراجل الفحم والنفط، وتصنيع الأسمدة الفوسفاتية،وغبار الطريق، وترميد حمأة مياه الصرف الصحي.ومن المصادر الأخرى التي تسهم بكميات كادميوم ضئيلة في الهواء: تآكل الإطارات المطاطية، واحتراق وقود السيارات، صناعة الإسمنت، واستخدام الأسمدة والمبيدات الفطرية.

التربة

من أهم المصادر الرئيسية للكادميوم في التربة ؛ التطبيق المباشر، والانبعاثات في الغلاف الجوي والتلوث العرضي، وتعود انبعاثات التطبيق المباشر إلى استخدام المخصبات، والأسمدة الفوسفاتية، حيث تعتبر السبب الرئيسي لدخول الكادميوم إلى التربة الزراعية، إذ إن تركيز الكادميوم الطبيعي في الفوسفات يتراوح بين ١٠٠-٣ µg/gوقد يصل إلى ٣٠٠ mg/ g ،يوجد بصفة منتج ثانوي لتصنيع حمض الفوسفوريك والفوسفوريت، ومن حمأة الصرف الصحي (ويراوح تركيز الكادميوم في الحمأة من١ µg/g – ١٠٠٠ µg/g ،أما حمأة محطات المعالجة التي ٤٣تخدم الصناعات التي تتعامل مع الكادميوم (تصنيع البطاريات) فتحوي مستويات أعلى من الكادميوم) ومن النفايات الصلبة والرماد المتبقي من الخشب والفحم،أو أنواع أخرى من الاحتراق. وينتقل إلى التربة من مصادر التلوث، مثل المواقع الصناعية الملوثة، ومقالب نفايات المناجم، ومن تآكل الهياكل المعدنية. ويسهم ترسب الكادميوم الرطب والجاف من الغلاف الجوي في زيادة كمية الكادميوم في التربة، وخاصة في المناطق المحيطة بمصادر الانبعاثات الجوية؛ مثل المحارق، وحركة مرور المركبات، التي قد تطلق الكادميوم من الوقود المحترق والإطارات المهترئة، كما تطلق منابع الحرارة العالية (مثل المحارق والمسابك) جزيئات صغيرة مثالية للانتقال الجوي واسع النطاق، وتطلق أيضاً أبخرة تتكثف في جزيئات أصغر، مما يجعل انبعاثات الأبخرة مهيأة للنقل. يمكن أن يحمل الهباء الحاوي على الكادميوم إلى مسافات بعيدة في الغلاف الجوي قبل أن يستقر في التربة، ويظهر الترسيب الجوي واسع النطاق واضحاً في التربة العضوية

الغنيــة، إذ إنهــا تميل إلـى تركيـز المعـادن الثقيلـة. ومـن المعتقـد أن الجـزء الأكـبر مـن الكـادميوم يسـتقر فـي التربـة (٨٠-٩٠ (% عنـد إطلاقـه فـي البيئـة، بـالرغم من أبخـرة الكـادميوم المنطلقـة في الهواء، سيستقر الكادميوم في النهاية على التربة، ويعتمـد انتقالـه في التربـة علـى عوامـل عـدة مثـل درجـة القلويـة وكميـة المـادة العضويـة، الـتي تختلـف تبعـاً للبيئـة المحليـة، ويرتبـط الكـادميوم عامـة بشـدة بالمـادة العضويـة الـتي لا تنتقـل في التربــة، ويتابع داخل الحياة النباتية ويدخل في السلسلة الغذائية.

المــاء

يعـد الكـادميوم مـن أكـثر المعـادن قـدرة علـى الحركـة فـي البيئـات المائيـة قياسـاً بمعظم المعادن الثقيلـة الأخـرى (مثـل الرصـاص)، ويوجـد كـأيون مميـأ، أو معقـدات أيونيـة مـع مواد عضويـة، أو غـير عضويـة أخـرى. أمـا فـي الميـاه الطبيعيـة غـير الملوثـة فينتقل الكـادميوم فـي عمـود المـاء الموجـود فـي حالـة غير منحلـة وتنتقـل كميـات صغـيرة مـع الجسيمات الخشـنة، وينتقـل جـزء صـغير مـع الغرويـات . ويمكـن إزالـة الكـادميوم مـن المحلـول فـي الميـاه غيـر الملوثـة باسـتبداله بالكالسـيوم فـي البنيـة التشـابكية للمعـادن الكربونيـة. فـامتزاز الكـادميوم مـن المـواد الدباليـة وغيرهـا مـن العوامـل العضويـة المعقدة في الميـاه الملوثـة أو الغنيـة بـالمواد العضويـة، يلعـب دوراً مـهماً فـي نقـل وتقسـيم ٤٤وإعـادة تحريـك الكـادميوم، ويرتبـط تركـيز الكـادميوم فـي المـاء عكسـياً بدرجـة الحموضـة وتركز المواد العضوية في المـاء. وقـدر الـتركيز الأقصـى المقبـول للكـادميوم في ميـاه الشـرب ٠.٠٠٥ mg/l ،وفي حـال الالـتزام بهـذا الـتركيز لايعتـبر التعـرض للكادميوم عبر مصادر مياه الشرب العامـة أمـراً مقلقـاً. إلا أن ري الأرز بميـاه ملوثـة بالكـادميوم سـبب مـرض) Itai-Itai) أوo) فـيch-oفـي) chوهـو عبـارة عـن اضطـراب عـدة أجـهزة في الجسـم مـع تلـين عظـام شـديد، وحدثـت هـذه الظـاهرة في اليابــان، وأصابت بشكل خاص النساء بعد سن اليأس وذوات الولادات المتكررة.

الغـذاء

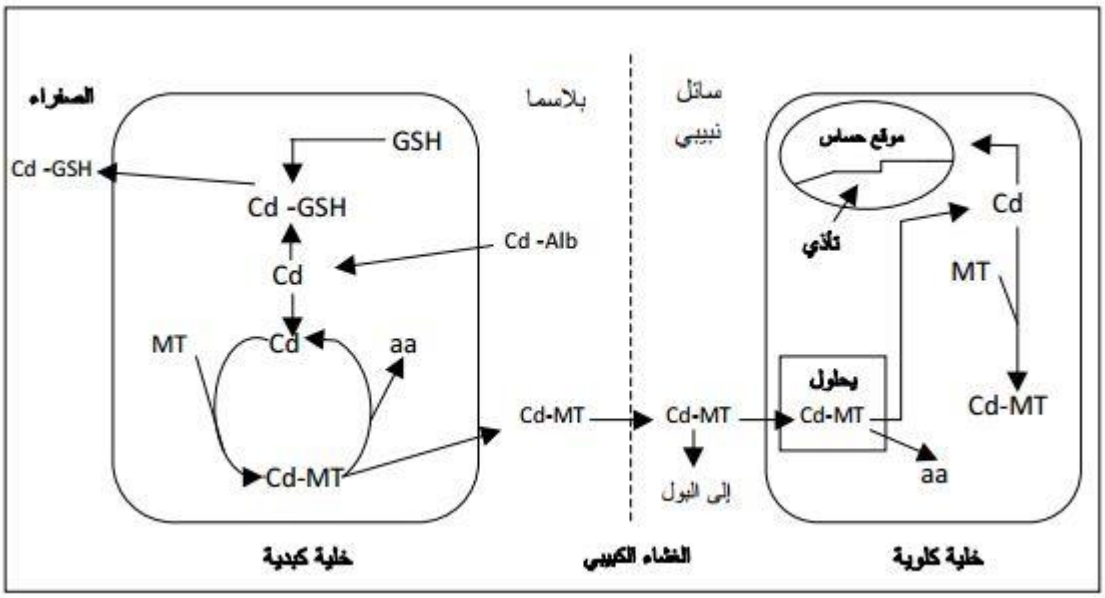
لايعتبر الكادميوم عنصراً أساسياً في غذاء الإنسان، إلا أن الطعـام هـو المصـدر الرئيسي لـه لدى الأشخاص غـير المدخنـين وغـير المعرضـين مـهنياً، ويـتزايد مسـتوى الكـادميوم فـي الجسـم مـع تقـدم العمـر؛ بسـبب نقـص فعاليـة العمليـة البيوكيميائيـة للتخلص منـه، إضـافة إلى إعادة الامتصاص الكلوي، فيـتراكم في أعضـاء معينـة مثـل الكبد وقشرة الكلية. يوجد الكـادميوم فـي اللحـوم والأسمـاك والخضـراوات والفاكهـة بكميـات تـراوح بـين (١-٥٠) µg/kgيتركـز معظمـه (٥٠-٧٥ %) فـي أكبـاد الحيوانـات وكلاهـا، أمـا بالنسـبة للأسمـاك، فوجـد أن المحـارات (مثـل بلـح البحـر) مـن أكـثر المصـادر الغذائيـة

الحاوية على الكادميوم إذ تراوح بين (١٠٠-١٠٠٠)µg/kg ؛ والسبب وراء ذلك هو أن الأسماك المحارية تراكم الكادميوم من الماء، ويتراكم داخلها بارتباطه بالببتيدات الموجودة في تلك الكائنات. كما يتراكم الكادميوم في الخضراوات الورقية مثل الخس والسبانخ، ويتراكم بمستويات عالية في أوراق التبغ ،بينما يصل تركيزه في الحبوب إلى (١٠-١٥٠)µg/kg ؛ وقد أثبت أن الكادميوم من أسهل المعادن امتصاصاً من قبل النبات (١٩٨١). EPA,ويعود ذلك إلى احتواء التربة على كميات كبيرة من الكادميوم الناتج عن وجوده في الهواء ومياه الري، والمخصبات، وخاصة الفوسفاتية منها.وقد حددت كل من منظمة الصحة العالمية ومنظمة الأغذية والزراعة مدخول تحمل الجسم الأسبوعي من الكادميوم (PTWI)بمقدار ١ / µg/kg يوم ،أو ما يعادل ٧٠/ µg يوم.

دور المعقد البروتيني (الميتالوثيونين)في الحد من سمية الكادميوم

لوحظ أنه من الممكن تراكم الكادميوم في الكلى دون ظهور تأثيراته السمية، ويرجع ذلك إلى تكون معقد (كادميوم - ثيونين)، أو ما يعرف بالميتالوثيونين، وهو عبارة عن معقد بروتيني ذي وزن جزيئي منخفض (نحو ٦٥٠٠ دالتون) يرتبط بالمعدن S)فيzفي). ١٩٨٢ kiيتركب هذا المعقد البروتيني من أحماض أمينية غير اعتيادية فهو لا يحتوي على أحماض أمينية عطرية، وأهم من ذلك، أن نحو ٣٠ %من الأحماض الأمينية لهذا المعقد عبارة عن الحمض الأميني سيستيئين). Cysteine)وأشارت الدراسات العديدة التي أجريت لتحديد الوظائف المتعددة للميتالوثيونين في بيولوجيا الخلية: - الميتالوثيونين هو مخزن الزنك، وهو كاسح للجذور الحرة، ويقي من سمية الكادميوم ٥٨ .وارتباط الكادميوم مع الميتالوثيونين يمنع أيونات الكادميوم الحرة من إحداث تأثيراتها السامة، وإن وجود أيونات الكادميوم الحرة في الخلايا هو نتيجة لتراجع تخليق ميتالوثيونين جديد ليرتبط بالكادميوم، ويحمي الخلية من السمية العالية لأيونات الكادميوم، وتبدأ السمية عندما تصبح كمية الميتالوثيونين الموجودة غير كافية لترتبط بالكادميوم الممتص.ويوضح الشكل (٩ (كيف يرتبط الكادميوم بالغلوتاثيون) GSH) إذ يدخل الكادميوم في البداية إلى الكبد، وهناك يرتبط بالغلوتاثيون GSH) ،)ويطرح في الصفراء، وأهم من ذلك أن الكادميوم يمكنه أن يرتبط بالميتالوثيونين ويخزن، قليل من معقد الكادميوم والميتالوثيونين يتسرب إلى البلاسما ويدخل الكلية.إن معقد الميتالوثيونين الجائل هو مادة محتملة السمية للكلية. يحرر Cd في يحلولات الكلية، ويرتبط بالميتالوثيونين MT))داخل الكلية، وعندما يصل الكادميوم إلى التركيز الحرج في الكلية يحدث التأذي

الكلـوي. ومــا يزال النقاش مفتوحاً حول فـائدة MT) ،)وقدرتــه علــى الحـد مـن الاعتـلال الكلـوي الذي يسببه الكادميوم.



النظرية الحالية لارتباط الكادميوم بالغلوتاثيون

استخدام الكادميوم الخلائط المعدنية

يحسن الكادميوم من صفات الخليطة من حيث قساوتها، ومقاومتـها، وقوتهـا الميكانيكيـة، وخواصـها الكهروكيميائيـة..... ونحصـل أيضـاً علـى درجـة انصـهار منخفضـة تسـمح لنـا بتصنيـع الكثـير مـن المعـادن، وتحويلـها إلى الأشـكال المـراد تصنيعها .

-خليطـة الكـادميوم - نحـاس: تمتلك قوة ميكانيكيـة مضاعفـة، ومقاومـة أشد من مقاومـة النحاس، ويدخل بنسبة ٨.٠-٢.١ % من الوزن الكلي - .خليطة الكادميوم - رصاص: يدخل فيهـا الكـادميوم بنسـبة ٧٥.٠ - ٥ %، وتـوفر قساوة أعلـى ومقاومـة أشد، وقوة ميكانيكيـة أكبر - .يدخـل الكـادميوم فـي خلائـط المعـادن الثمينـة؛ فيدخـل بنسـبة ٥ % فـي خليطـة (الـذهب - الفضـة - النحـاس)؛ لنحصل علـى مـا يسـمى الذهـب الإغريقـي - .يدخـل فـي خليطـة (الفضـة - الانديـوم - الكـادميوم)، وتسـتخدم في قضبـان التحكـم الـتي تدخـل في توليـد الطاقـة النوويـة، وذلـك في التفاعلات المائية ذات الضغط الشديد.

استخدامات أخرى للكادميوم

يدخل الكادميوم الصناعة بشكل واسع:-

- يستخدم مقاييس التألق، ومتحريات الإشعاع الضوئي، ومتحريات التدخين، والمصابيح الفلورية، وكقضيب رفيع الترانزستورات وأجهزة الراديو.
- يستخدم حاملا للمادة تفاعل الانشطار النووي .
- يستخدم للحماية من التفاعلات النووية من خلال امتصاصها للنيترونات الحرة.
- يستخدم عداد الومضان الأيونات المشعة
- يدخل تركيب الملغم المستعمل حشوات سنية.
- يستخدم مقاييس أشعة x ،والأشعة تحت الحمراء.
- يستخدم نصف ناقل العديد من الدارات الالكترونية

طرق انتقاله إلى الإنسان

وبحسب السعد فإن طرق انتقال هذا المعدن إلى الإنسان متعددة «منها انتقاله عن طريق الهواء، إذ تتعلق الحبيبات المحتوية على هذا العنصر في الهواء، وتحمل إلى مسافات بعيدة قبل أن تتساقط على الأرض كغبار أو بواسطة الأمطار والثلوج وتدخل إلى مصادر المياه المختلفة، كما أنها تدخل إلى مصادر المياه والتربة من خلال عملية التخلص من النفايات وتناثر أو تسرب المواد الخطرة من مواقع التخلص من النفايات، ويمكن لهذا العنصر أن يتحد بقوة مع جزيئات التربة، ويذوب في الماء بنسب مختلفة ومحدودة، وتتعاطى الأحياء المائية من نباتات وحيوانات هذا العنصر من البيئة المحيطة، ويمكن أن يصل إلى جسم الإنسان نظرا لقدرته على البقاء في الجسم لفترة طويلة والتراكم بداخله، كما يمكن لهذا العنصر أن يأخذ طريقه إلى جسم الإنسان عن طريق السلسلة الغذائية والاستهلاك الغذائي، ويوجد في الأغذية بنسب قليلة، وأعلى نسبه توجد في الأصداف البحرية والمحار، لحوم الكبد والكلية الحيوانية، وكذلك تأتي الخطورة بالتعرض له عن طريق الجهاز التنفسي من خلال أماكن العمل في صناعة البطاريات، في عملية لحام السبائك والأجزاء المعدنية، وينتقل أيضا من خلال تنفس واستنشاق دخان السجائر والشيشة، وتنفس الهواء من أماكن قريبة لحرق الوقود كالفحم أو المخلفات.«

ويعتبر استخدام المياه الساخنة في السخانات الكهربائية من أجل تجهيز الأطعمة أو المشروبات الساخنة أحد مصادر انتقال هذا العنصر إلى الإنسان، فالمعروف أن درجة تآكل

المعادن تزداد بزيادة درجة الحرارة، ومن ثم فقد يكون نصيب المياه من التلوث بهذه الوسائل اكبر من المصادر الأخرى.

خطورة الكادميوم

ويتطرق السعد إلى خطورة معدن الكادميوم على الإنسان، إذ يقول: «يعتبر الكادميوم من المعادن ذات السمية العالية، ويرتبط ببعض القضايا التي لها علاقة بالإصابة بالتسمم وخصوصا من خلال الغذاء، ويمكن لكميات قليلة منه أن تأثر على الأوعية الدموية في الكليتين، ويعتقد بأن لهذا المعدن دورا في الإصابة بالسرطان العام في حيوانات التجارب، كما له ارتباط وبائي مع بعض أنواع السرطانات عند الإنسان. ويؤثر استنشاق هذا العنصر بمقادير كبيرة على الرئة ويسبب ضررا كبيرا قد يؤدي إلى الموت، كما يؤدي وجوده بكميات كبيرة في الأكل والشرب إلى التسبب في التقيؤ والإسهال الشديدين.«

ويوضح السعد: «بعض حيوانات التجارب عند تغذيتها بجرعات تحتوي على الكادميوم، وجد بأنه يسبب ارتفاعا ملحوظا في ضغط الدم، وفقر في عنصر الحديد في الدم، والإصابة بأمراض الكبد، وتلف في الأعصاب والمخ. لوحظ أن صغار هذه الحيوانات التي تعرضت لهذا العنصر في فترة الحمل، بينت عوارض التصرف غير الطبيعي، كما كان لها تأثير على وزنها عند الولادة وكذلك على جهازها الهضمي.

وأوضحت دراسات أخرى أجريت على حيوانات تجارب أيضا أن لهذا المعدن ارتباطا في إنقاص القدرة على إنتاج الحيوانات المنوية عند الذكور، كما وجد له ارتباط امتصاصي عالي في الجسم إذا كان الغذاء فقيرا بالكالسيوم أو البروتين أو الحديد، أو إذا احتوى الغذاء على نسبة عالية من الدهون، وبينت بعض الدراسات التي أجريت على الحيوان أن صغار هذه الحيوانات تمتص هذا العنصر أكثر من البالغ، وبالتالي تفقد العظام قوتها، ومن غير المعروف أو المؤكد إذا كان الإنسان عرضة لمثل هذه الأمراض كما هي عند الحيوان.«

ويشير السعد إلى أنه «من غير المعروف إذا كان الكادميوم يسبب عيوبا في الأجنة، وعلى رغم عدم انتقاله بسهولة من الأم إلى الجنين، إلا أن جزءا منه قد يصل إلى المشيمة.«

زيادة تركيز الكادميوم في جسم الإنسان تؤدي إلى أضرار كثيرة، منها الإصابة بالفشل الكلوي، إذ يخزن الجسم الغالبية العظمى من الكادميوم في الكليتين، وفي الكبد والأعضاء التناسلية أيضا، وغالبا ما تحدث أمراض الكلى عندما تصل كميات الكادميوم في الكلى بتركيزات تصل إلى ٢٠٠ جزء في المليون، ويتخلص الجسم من الكادميوم عادة ببطء، ويرتبط هذا التخلص بنوعية الغذاء.

من الأضرار التي تنتج عن زيادة تركيز الكادميوم في الجسم أيضا حدوث ارتفاع في ضغط الدم، وذلك عن طريق استمرار دخوله إلى الجسم بكميات ضئيلة ولمدة طويلة، كما انه يتسبب في حدوث فقر الدم وتضخم القلب كذلك.

وقد يتسبب شرب الماء الملوث بتركيزات عالية من الكادميوم في الإصابة بمرض (إتي إتي)، الذي يتميز بأعراضه الروماتيزمية المصحوبة بآلام في العظام، نتيجة افتقارها إلى المعادن، فتصبح العظام لينة كالأنسجة نفسه

وجوده في الطبيعة

يوجد الكادميوم في الصخور بأشكال مختلفة ومعادنه المستقلة نادرة أهمها غرينوكايت (CdS; Greenockite)،)، (Monteponite; CdOمونتيبونايت)، Cadmoselite; (CdSe كادموسيلايت)، (Howleyite; CdS،هولايت اوتافايت Otavite ;(CdCO٣ (وسوكوفايتS) ;Cd, Hg(S-S)[S] في). kovite ولندرة معادنه المستقلة ، يوجد الكادميوم في معادن أخرى مضيفة مثل السفاليرايت) ZnS; Sphalerite) والغالينا PbS; Galena)).من الناحية الجيوكيميائية يتبع الكادميوم عنصري الخارصين والزئبق، ويترسب في الظروف الاختزالية. ويوجد الكادميوم في الرواسب النهرية على شكل معقدات عضوية أو على شكل ايون قابل للتبادل في الأطيان أو يوجد ضمن أكاسيد الحديد والمنغنيز. كما انه يوجد في الأحياء البحرية والنهرية وفي المياه يوجد على شكل ايون ذائب ثنائي التكافؤ أو مرتبط بمعقدات أيونية Khalid, ١٩٨٠ and ;Pickering, ١٩٨٠ ;Raspor, ١٩٨٠ .) Nriagفي (١٩٨٠ ,

كما تتميز الصخور الفوسفاتية بأعلى محتوى من الكادميوم مقارنةً مع كافة أنواع الصخور والرواسب الطبيعية، ويعود ذلك إلى منشأ هذه الصخور ذات الأصل الرسوبي البحري وعلاقتها ببعض الأحياء البحرية الغنية بعنصر الكادميوم .تشير تحاليل المياه البحرية إلى وجود علاقة ايجابية قوية بين الكادميوم وكل من PO٤ و NO٣ ويزداد تركيزه في الأعماق المتوسطة من البحار حيث يقل الأوكسجين المذاب أدت معرفة هذه الحقيقية إلى متابعة تركيز الكادميوم في الأسمدة الفوسفاتية في عدة دول في العالم لتحديد الكميات التي تضيفها الأسمدة من الكادميوم إلى التربة ومدى امتصاص النبات لهذا العنصر

المبحث الثاني

خواصه الكيمياوية

يشبه الكادميوم الزنكَ في خواصه الكيمياوية، فهو لا يتأثر بالأكسجين أو الهواء الجاف في الدرجة العادية من الحرارة. إلا أنه بالتسخين يحترق الكادميوم مكوِّناً CdO البني اللون. وهو يتفاعل مع الكبريت بشدة إلا أنه يلزم التسخين لبدء التفاعل. أما مع الماء فهو لا يفكِّك الماء مع أنه أشد كهربائية من الهدروجين، والمرجح أنه يحدث بدء تفاعل يؤدي إلى تكوّن طبقة عازلة من الأكسيد تمنع استمرار التفاعل:

$$Cd + H_2O \rightarrow CdO + H_2$$

إلا أنه يتفاعل مع الحموض مطلقاً الهدروجين، خاصة مع حمض الكبريت وحمض كلور الماء، وينحل في حمض الآزوت الذي يتفاعل معه كمؤكسِد. أكسيد الكادميوم البني اللون ذو خواص أساسية واضحة فهو لا ينحل إلا في الحموض مكوناً أملاح الشاردة Cd^{2+}. يحصل على الهيدروكسيد $Cd(OH)_2$ بإضافة هيدروكسيد قلوي إلى محلول أحد أملاح الكادميوم، فيترسب بشكل كتلة هلامية بيضاء. وهو يتميز، كالأكسيد الموافق، بصفات أساسية فقط. ويشكِّل مع النشادر مركباً معقداً ذواباً في الماء:

$$Cd(OH)_2 + 4NH_4OH \rightarrow [Cd(NH_3)_4](OH)_2 + 4H_2O$$

محاليل أملاح الكادميوم لا لون لها. الكبريتات والنترات جيدة الانحلال في الماء. أما أملاح الحموض اللاعضوية الضعيفة فصعبة الانحلال. إن أملاح هاليدات الشاردة Cd^{2+} ذات درجة تأين ضعيفة، بخلاف نترات وكبريتات الكدميوم التي تكاد تكون كاملة التأين في المحاليل. للكدميوم العديد من المعقدات[ر: المعقَّد] مثل $K_2[CdCl_4]$ و $K_2[(Cd(CN)_4]$. تستحضر الكيلات الكادميوم CdR_2 بتفاعل $CdBr_2$ بروميد الكادميوم مع كواشف غرينيار مثل CH_3MgBr في الإيتر، ومركبات الأريل بتفاعل $CdBr_2$ مع أريلات الليثيوم في المحل نفسه. وثنائي ألكيلات الكدميوم أقل تطايراً وأقل فعالية من مركبات الزنك المماثلة.

مركباته

١. مع الهيدروجين

هيدريد الكادميوم(II) CdH_2

٢. مع الفلور
فلوريد الكادميوم (II) CdF_2

٣. مع الكلور

كلوريد الكادميوم II) $CdCl_2$
٤. مع البروم

بروميد الكادميوم $CdBr_2$
٥. مع اليود

يوديد الكادميومCdI

٦. مع الاكسجين

أكسيد الكادميومII) CdO)

٧. مع الكبريت

كبريتيد الكادميومII) CdS)

٩. مع السلينيوم

سلينيوميد الكادميومII)CdSe)

بروميد الكادميوم

بروميد الكادميوم مركب كيميائي له الصيغة$CdBr_2$ ، ويكون على شكل بلورات صفراء شاحبة.

الخواص

- ينحل بروميد الكادميوم بشكل جيد في الماء، كما ينحل في الكحولوثنائي إيثيل الإيثر والأسيتون، بالإضافة إلى انحلاله في الأمونياكالسائل.
- تتبع بلورات بروميد الكادميوم النظام البلوري الثلاثي ولهاالمجموعة الفراغية.R_{3m}

التحضير

يحضر بروميد الكادميوم من التفاعل المباشر للعناصر المكونة له، وذلك بتمرير بخار البروم على فلز الكادميوم .كما يحضر من تفاعل خلات الكادميوم بوجود حمض الخليك الثلجي مع بروميد الأسيتيل.

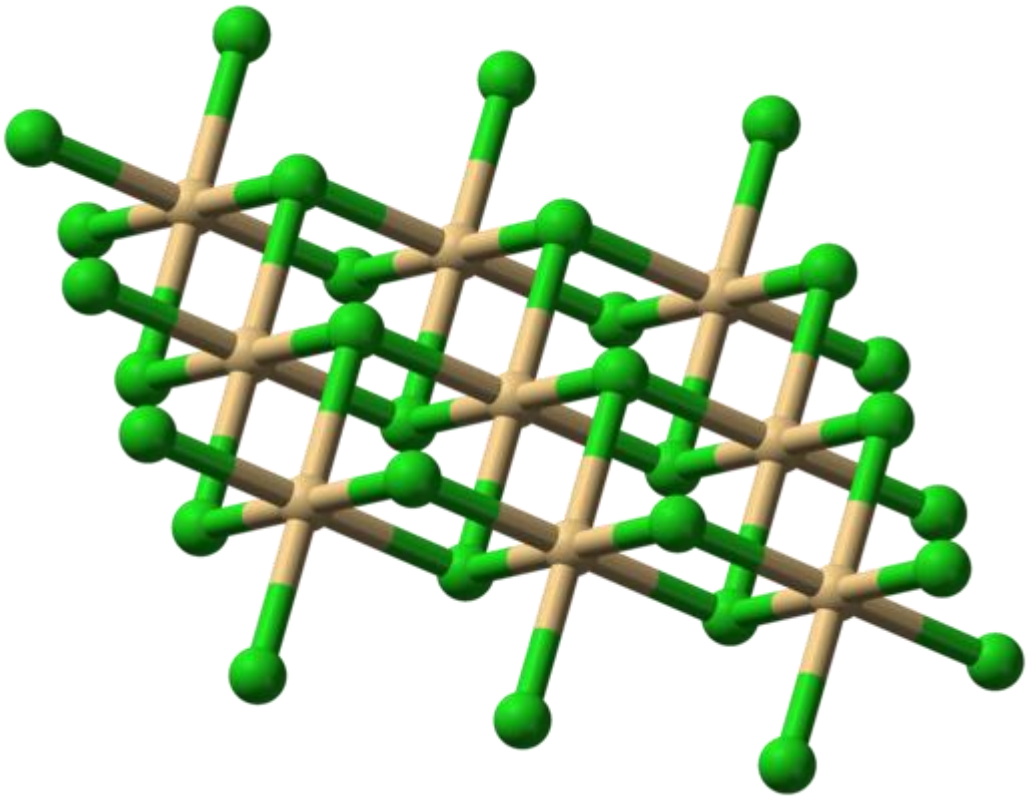
يمكن أن يحضر المركب بشكل آخر، وذلك بحل فلز الكادميوم أو أكسيده في حمض الهيدروبروميك، ثم بإجراء عملية تبخير للمحلول، وذلك تحت جو خامل من غاز الهليوم[٤].

الاستخدامات

- يستخدم بروميد الكادميوم في تحضير ألواح التصوير الضوئي.
- له تطبيقات في الطباعة الحجرية وفي مجال النحت.

المراجع

تصنيفات



فلوريد الكادميوم

فلوريد الكادميوم مركب كيميائي له الصيغةCdF_2 ، ويكون على شكل بلورات عديمة اللون.

الخواص

- لمركب فلوريد الكادميوم انحلالية ضعيفة في الماء، لكنه ينحل بشكل جيد فيحمض الهيدروفلوريك وفي باقي الأحماض المعدنية، لكنه لا ينحل فيالإيثانول ولا في الأمونياك.
- لبلورات فلوريد الكادميوم بنية مكعبة، وتتبع نظام الفلوريت .يكون للطبقات الرقيقة من بلورات فلوريد الكادميوم خاصة ضيائية تدعىPhotol في minescence ضيائية ضوئية

التحضير

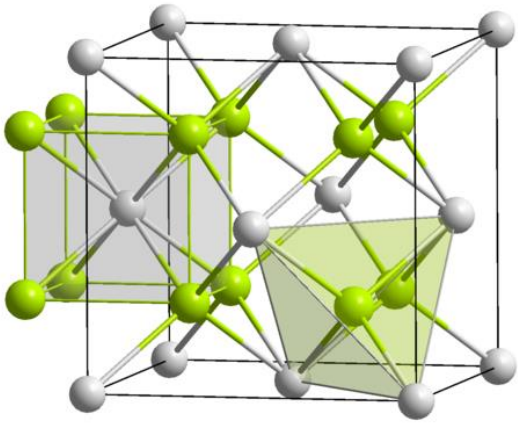
يحضر مركب فلوريد الكادميوم من تفاعل حمض الهيدروفلوريك مع كربونات الكادميوم حسب المعادلة:

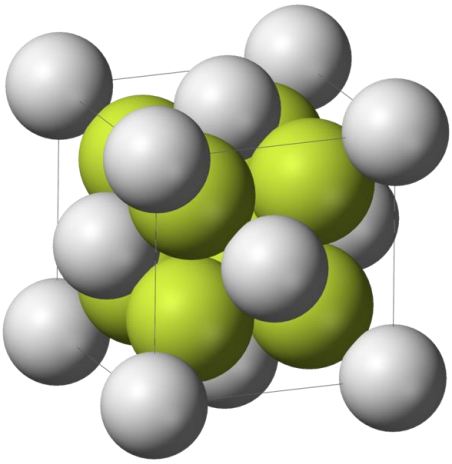
$$CdCO_3 + 2HF \rightarrow CdF_2 + H_2O + CO_2$$

كما يمكن أن يحضر من مزج محاليل كلوريد الكادميوم وفلوريد الأمونيوم، يلي ذلك إجراء عملية تبلور.

الاستخدامات

- يستخدم فلوريد الكادميوم كعازل تقنية أنصاف النواقل عالية التوتر.
- يستخدم في تحضير زجاج الفلوريت





كبريتيد الكادميوم

كبريتيد الكادميوم مركب كيميائي له الصيغة CdS ، ويكون على شكل بلورات صفراء.

الخواص

- مركب كبريتيد الكادميوم غير منحل في الماء عملياً (فقط ٠.١٣ مغ لكل ١٠٠ مل ماءعند ١٨٨°س).
- يؤدي إضافة الأحماض المعدنية الساخنة والمركزة إلى تفكك مركب كبريتيد الكادميوم مع انطلاق لغاز كبريتيد الهيدروجين.

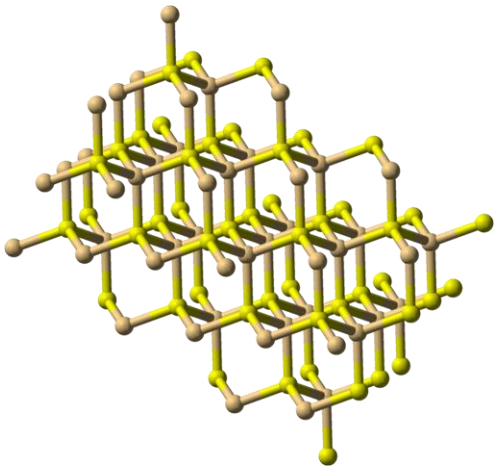
التحضير

يحضر كبريتيد الكادميوم من تمرير غاز كبريتيد الهيدروجين على محلول حمضي لملح من أملاح الكادميوم، حيث يترسب كبريتيد الكادميوم براسب أصفر.

$$CdSO_4 + H_2S \rightarrow CdS\downarrow + H_2SO_4$$

الاستخدامات

- لمركب كبريتيد الكادميوم خواص نصف ناقلة لذا يوجد له تطبيق في المقاومة الضوئية.
- نظراً للونه الأصفر المميز يستخدم كبريتيد الكادميوم كخضاب(أصفر الكادميوم).



يوديد الكادميوم

يوديد الكادميوم مركب كيميائي له الصيغة CdI_2 ، ويكون على شكل بلوراتعديمة اللون.
يتميز مركب يوديد الكادميوم ببنيته البلورية المميزة.

الخواص

- بنية بلورات يوديد الكادميوم عبارة عن بنية سداسية متراصة، وتعد بنية نمطية للمركبات من الشكل. AB_2
- ينحل مركب يوديد الكادميوم بشكل جيد في الماء وفي بعض المحلاتالعضوية الأخرى مثل الأسيتون والميثانول والإيثانول.

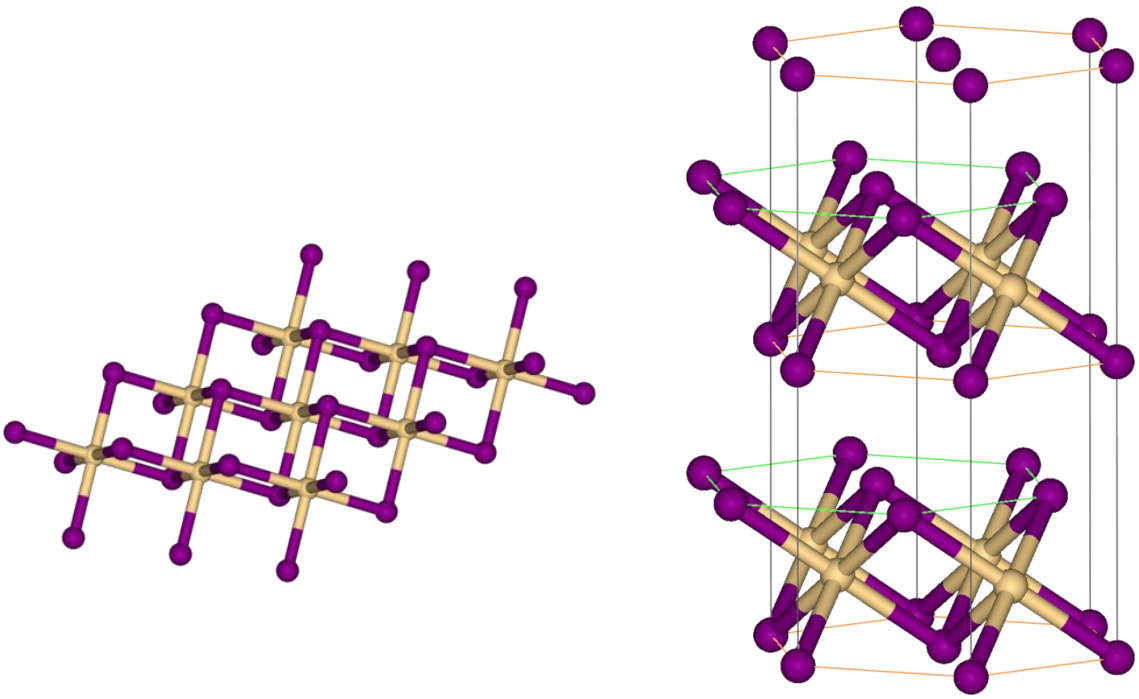
التحضير

يحضر يوديد الكادميوم من التفاعل المباشر للعنصرين المكونين للمركب، اليودوالكادميوم بكميات مكافئة.

$$Cd + I_2 \rightarrow CdI_2$$

الاستخدامات

- يستخدم يوديد الكادميوم في العديد من التطبيقات منها الأصبغة المتألقة.



استخدامات كلوريد الكادميوم:

يستخدم كلوريد الكادميوم من أجل تحضير كبريتيد الكادميوم، والمستعمل ضمن صبغات الكادميوم، وذلك بتمرير غاز كبريتيد الهيدروجين على محلول كلوريد الكادميوم:

$CdCl_2$ (aq) + H_2S (g) → CdS (s) + 2 HCl (aq)

يستخدم كلوريد الكادميوم مخبرياً لتحضير مركبات الكادميوم العضوية، والتي كانت مستخدمة من أجل تحضير الكيتونات وكلوريدات الأسيل

$CdCl_2$ + 2 RMgX → R_2Cd + $MgCl_2$ + MgX_2 R_2Cd + R'COCl → R'COR + $CdCl_2$

إلا أنها استعيضت بمركبات النحاس العضوية الأقل سمية.

تحسين الخصائص الفوتوكهروكيميائية لأفلام كبريتيد الكادميوم (CdS) الرقيقة المحضرة بطريقة الترسيب: أثر التسخين و التبريد

لقد تم تحضير أفلام كبريتد الكادميوم الرقيقة شبه الموصلة (CdS Thin Films) باستخدام طريقة الترسيب الكيميائي على شرائح من الزجاج الموصل المطلي بفلم من أكسيد القصدير المطعَّم بالفلور (FTO). وقد تم تحضير أفلام مختلفة من حيث زمن الترسيب و تراكيز المواد المتفاعلة بالإضافة إلى عدد مرات الترسيب على الشريحة الواحدة. لقد تم دراسة خصائص الأفلام المحضرة في الأنظمة الفوتوكهروكيميائية، حيث تم دراسة تأثير الشيّ (التسخين) عند درجات حرارة معينة (١٥٠، ٢٥٠، ٣٥٠ مئوية) ومعدل التبريد على خصائص هذه الأفلام ، كما تم بحث أثر الحك الكيميائي باستخدام حامض الهيدروكلوريك المخفف لسطوح هذه الأفلام في الأنظمة الفوتوكهروكيميائية. بالإضافة إلى ذلك فقد تم دراسة أثر اختلاف نوع أزواج التأكسد - الاختزال المستخدمة في الأنظمة الفوتوكهروكيميائية على كفاءة هذه الأنظمة. وقد بُنيت هذه الدراسة على أساس قياس عدة عوامل مثل منحنيات كثافة تيار الظلمة (dark current density) في مقابل الجهد، منحنيات كثافة تيار الإضاءة (photo current density) في مقابل الجهد، كثافة تيارات الدارة القصيرة (short circuit current) في، جهد الدارة المفتوح (open circuit voltage)، كفاءة الخلية في تحويل الضوء إلى كهرباء (conversion efficiency) بالإضافة إلى نتائج التصوير بواسطة الماسح الميكروسكوبي الإلكتروني (scanning electron microscopy).

لقد وُجد أن الشيّ قد حسّن منحنيات تيار الظلمة ومنحنيات تيار الإضاءة مقابل الجهد لأفلام كبريتيد الكادميوم الرقيقة شبه الموصلة في الأنظمة الفوتوكهروكيميائية. كما حسّن الشيّ نتائج التصوير بواسطة الماسح الميكروسكوبي الإلكتروني. بالإضافة إلى ذلك حسّن الشيّ كثافة تيارات الدارة القصيرة لدى قياسها بعد زمن من التعرض للضوء مما أظهر ثباتاً أكبر للأفلام التي تمت معالجتها بالشيّ في مقاومة التحطم الضوئي مقارنة بالأفلام غير المعالجة . كما أن كفاءة الخلية الفوتوكهروكيميائية تحسنت بشكل ملحوظ. وقد وجد أن أفضل درجة حرارة تم الشيّ عندها هي ٢٥٠ مئوية حيث تحسنت

منحنيات كثافة تيار الإضاءة وكفاءة الخلية بدرجة ممتازة ثم هبطت إلى مستويات أقل عند استخدام أفلام تم تبريدها من درجة ٣٥٠ مئوية. كما وُجد أن التبريد البطيء للأفلام المشوية على درجة حرارة أعلى من ١٥٠ مئوية يعطي منحنيات أفضل لكثافة تيار الظلمة وتيار الإضاءة مقابل الجهد ويحسن كفاءة الخلية بدرجة أكبر مقارنة مع التبريد السريع. وقد جاءت نتائج التصوير بواسطة الماسح الميكروسكوبي الإلكتروني منسجمة مع النتائج السابقة، حيث أظهرت سطوحاً أفضل للأفلام المبردة ببطء. كما وُجد أن أعلى كفاءة للخلية قد تحققت عن طريق استخدام أفلام تم تبريدها ببطء من درجة ٢٥٠ مئوية، من بين درجات الحرارة المستخدمة. أما بالنسبة إلى أثر الحك الكيميائي لسطوح أفلام كبريتيد الكادميوم الرقيقة شبه الموصلة، فقد وُجد أنها تُحسّن ثبات سطح الفلم في مقاومة التحطم الضوئي بدرجة كبيرة، حيث أظهرت قيمة تيار الدارة القصيرة تحسناً ملحوظاً لدى قياسها بعد زمن من التعرض للضوء بينما لم يظهر الحك الكيميائي أثراً ملحوظاً في تحسين منحنيات كفاءة تيار الإضاءة مقابل الجهد. تم استخدام نوعين من أزواج التأكسد - الاختزال حيث استخدم في الخلية الأولى الماء وفوق كلورات الليثيوم بالإضافة إلى سداسي سيانيد الحديد (II) وسداسي سيانيد الحديد (III) كزوج تأكسد-اختزال، بينما استخدم في الخلية الثانية البوليكبريتيد المتعدد كزوج تأكسد-اختزال. وقد وُجد أن الخلية الأولى قد أعطت منحنيات تيار إضاءة وكفاءة أفضل من الخلية الثانية، بينما حققت الخلية الثانية ثباتاً أكثر في مقاومة التحطم الضوئي مع الزمن.

تفاعلاته

مع الهواء

يحترق الكادميوم في الهواء منتجا أكسيد الكادميوم

$$2Cd(s) + O_2(g) \longrightarrow 2CdO(s)$$

مع الماء

لا يتفاعل الكادميوم مع الماء

مع الهالوجينات

$$Cd(s) + F_2(g) \longrightarrow CdF_2(s)\ [white]$$

$$Cd(s) + Br_2(g) \longrightarrow CdBr_2(s)\ [pale\ yellow]$$

$$Cd(s) + I_2(g) \longrightarrow CdI_2(s)\ [white]$$

مع الاحماض

يذوب الكادميوم في حمض الكبريتيك المخفف مكونا متراكب.$[Cd(OH_2)_6]^{2+}$

$$Cd(s) + H_2SO_4(aq) \longrightarrow Cd^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq) + H_2(g)$$

مع القواعد

لا يتفاعل الكادميوم مع محاليل القواعد مثل هيدروكسيد البوتاسيوم

حقائق حول الكادميوم

أهم الأعراض المرضية المرتبطة بالتعرض إلى عنصر الكادميوم هو ارتفاع ضغط الدم في الشرايين والأوردة ، حيث يرتفع الضغط بشكل مفاجئ وسريع في حالة التعرض عن طريق الجهاز التنفسي، وبشكل تدريجي في حالة التعرض عن

طريق الجهاز الهضمي. إضافة إلى ذلك تم ربط التعرض إلى الكادميوم مع مرض السرطان عن طريق تحليل الأعضاء البشرية لعنصر الكادميوم، حيث وجدت تراكيز أعلى من هذا العنصر بالمقارنة مع أعضاء مشابهة من الموتى بأمراض أخرى ضمن الأعمار المتقاربة وقد لوحظت هذه الظاهرة عند التعرض بشكله الفلزي وفي حالة وجوده على شكل أكاسيد أو كبريتات ،ذائب بشكل وجوده حالة في كما يمكن أن يؤدي التعرض إلى الكادميوم إلى مرض سرعة تهشم العظام المعروف في اليابان باسم (قدرت منظمة الصحة الدولية العالمي) الجرعة القصوى من الكادميوم للجسم البشري بما لا يزيد عن (٤٠٠ – ٥٠٠mg) في الأسبوع ويعتقد أن معظم الكادميوم المتراكم في الجسم يدخل مع السلسلة الغذائية، ويسهم التبغ بنسبة مساوية تدخل عن طريق الجهاز التنفسي بالنسبة للمدخنين .

تلوث التربة بالكادميوم

بدأ تأثير الانسان على البيئة منذ ظهوره على سطح الارض , و كان هذا التأثير على شكل صراع للانسان مع البيئة من اجل البقاء , مثل إحداث الحرائق في الغابات كوسيلة للصيد و إكراه الحيوانات على الفرار مما يسهل اسرها . إلا ان

مشكلات تلوث البيئة اصبحت تشكل منعطفاً خطيراً منذ الثورة الصناعية , التي على الرغم من انها استطاعت تحرير العالم من الفقر و البؤس , إلا انها كانت سبباً رئيساً في التدهور السريع للبيئة الطبيعية .

و تعد المعادن الثقيلة من بين مجموعة كبيرة من الملوثات التي احدثت تغيرات كبيرة في الوسط البيئي و لعل عنصر الكادميوم من اخطرها سمية على الانسان و الحيوان

*مصادر التلوث بالكادميوم

يوجد الكادميوم في جميع الترب الطبيعية بتراكيز منخفضة جداً لا تتعدى في حدها الاقصى الجزء بالمليون , و قد ادى التطور الصناعي الى تلوث التربة و المياه و الهواء و النباتات بهذا العنصر , و من اهم مصادر التلوث بالكادميوم:

١. تلوث صناعي : و ينتج عن صناعات مختلفة تلقي مخلفاتها الى الوسط المحيط دون معالجة مثل الدباغات - الصناعات البلاستيكية و المطاطية - صناعة الاصبغة و الدهانات - محطات الوقود - مصافي البترول - الصناعات الكهربائية و الالكترونية - الطباعة - مصانع الأسمدة و خاصة الاسمدة الفوسفاتية - و مصانع البطاريات الجافة .
٢. تلوث زراعي : و ينتج عن استخدام أسمدة كيميائية او عضوية المنشأ تحوي على تركيز مرتفع من الكادميوم .

*الاضرار الصحية و البيئية للكادميوم

تبين الدراسات إرتفاع تركيز الكادميوم في الترب القريبة من المنشأت الصناعية التي تطرح هذا العنصر الى الوسط الخارجي , سواء تم ذلك من خلال فوهات المداخن على شكل غازات او أغبرة , او عن طريق المياه التي يتم إستخدامها لاحقاً في الزراعة .و سواء تم تلوث التربة او النبات او كليهما , فإن ذلك سوف يؤدي الى تسمم الانسان و الحيوان الذي يتغذى على نباتات ملوثة . و يكمن الخطر لهذا العنصر على جسم الانسان في انه يتميز بخاصية التراكم في مراكز حيوية هامة في جسم الانسان و ان عملية طرحه يمكن ان تكون معدوماً تقريباً . فالكادميوم يتحد مع بعض انواع البروتينات و يتراكم في الكبد و الطحال و الكلى , كما يمكن للكادميوم ان يحل محل عنصر الزنك في بعض الانزيمات في جسم الانسان و التي تقوم بوظائف حيوية هامة و بالتالي تفقد هذه الانزيمات قدرتها الحيوية , وبسبب ان الكادميوم يتشابه مع الكالسيوم , فإنه يترسب معه في العظام

علـى شـكل ثلاثـي فوسـفات الكـادميوم و هـذا بـدوره يـؤدي الـى هشاشـة العظـام و حدوث اضرار بالغة على العمود الفقري .

***معالجة تلوث التربة بالكادميوم**

تختلـف الطرائـق المتبعـة لمعالجـة هـذا النـوع مـن التلـوث و مـن اهـم الطرائـق المستخدمة:

إجـراء عمليـة غسـيل للتربـة الملوثـة بهـذا العنصـر بميـاه يـنخفض فيهـا تركيـز الكـادميوم , و هـذا يتطلـب إيجـاد نظـام صـرف مترافـق مـع عمليـة الغسـيل حتـى لا يحصـل تلـوث للمـاء الجـوفي و مـن الطرائـق المتبعـة ايضـاً « جـرف الطبقـة السـطحية للتربـة الملوثـة بالكـادميوم و اسـتبدالها بطبقـة زراعيـة اخـرى و هـذا مـا حـدث باليابـان فـي الاعـوام الاخيـرة مـن القـرن الماضـي حيـث ادى اسـتخدام ميـاه ملوثـة بالكـادميوم فـي ري حقـول الارز الـى ارتفـاع تركيـز هـذا العنصـر فـي التربـة لآلاف الهيكتـارات , و نجـم عـن هـذا الارتفـاع تـراكم الكـادميوم فـي الارز و ظهـور مـرض عـرف بمـرض (ITAI _ ITAI)نتيجـة لتنـاول الارز الملـوث بالكـادميوم و كـذلك مـرض البروتينـاريـا (البـول البروتينـي) , و قـد تمثـل ذلـك بظهـور قصـور كلـوي وظيفـي و اضـطرابات عظمية .

إن معالجـة التلـوث بالكـادميوم عمليـة ليسـت بسـيطة علـى الاطـلاق و يجـب ان تبـدأ مـن المصـدر و ذلـك عـن طريـق مرشـحات علـى فوهـات مـداخن المصـانع , و اتبـاع مبـدأ الـدورة المغلقـة للميـاه فـي المنشـأت الصـناعية , و هـذا بـالطبع مكلـف جـداً , و الأكثـر كلفـة هـو معالجـة تلـوث التربـة , فاستصـلاح آلاف الهيكتـارات فـي اليابـان مـن ارض ملوثـة بالكـادميوم كلّـف حـوالي ١٨٥٠٠٠ دولار للهيكتـار الواحـد عـن طريـق جرف الطبقة السطحية للتربة بعمق ٢٥ سم و استبدالها بطبقة زراعية .

إن تركـز عـدد كبيـر مـن الصـناعات فـي محافظـة حمـص و التـي تطـرح مخلفاتهـا الـى الوسـط المحـيط بشـكل مباشـر او غيـر مباشـر علـى شـكل أدخنـة او غبـار , او تصـرف مباشرة الى مياه الري , يجعل من الضروري التحري

عـن هـذا العنصـر فـي التربـة المجـاورة و فـي النباتـات المزروعـة و ايضـاً فـي ميـاه الآبـار و هـذا يتطلـب تضـافر جهـود كبيـرة مـن المختصـين و الجهـات الرسـمية , علمـاً بـأن الكـادميوم موجـود فـي الفوسـفات السـوري و فـي المشـتقات النفطيـة . و مـن ناحيـة اخـرى فـإن التحريـات التـي اجريـت حـول تلـوث التربـة و الميـاه و النبـات بهـذا العنصر لا تزال حتى الان بين التأييد و النفي للتلوث بالكادميوم ...

يكتسب الكادميوم خواصه السمية من التركيب الكيميائي المشابه للزنك وهو أحد العناصر الصغرى التي تحتاجها النباتات والحيوانات والإنسان، إن الكادميوم موجود عضوياً في الطبيعة ويمتص من قبل الكائنات الحية ويتراكم فيها ويبقى موجوداً لعدد من السنين على الرغم من أنه يطرح بشكل تدريجي.

بالنسبة للإنسان فانّ التعرض للكادميوم لمدة طويلة يؤدي إلى فشل كلوي ويؤدي إلى سرطان الرئة، كما أن الكادميوم يمكن أيضاً أن يؤدي إلى ضعف في البنية العظمية (تلين العظام، تخلخل العظام) في الإنسان والحيوانات بالإضافة إلى ذلك فإن هذا المعدن يمكن أن يكون له دور في زيادة ضغط الدم ويؤثر على عضلة القلب، وحدود تحمل الإنسان الوسطي بحدود ٠.١٥ µgr من الهواء و ١ µgr من الماء وتدخين علبة السجائر الحاوية على ٢٠ سيجارةً يمكن أن يسبب استنشاق بحدود من ٢ -٤ µgr من الكادميوم.

إنّ تشكل الكادميوم أمر لابد منه عند صقل منتجات الزنك (وأحياناً الرصاص) حيث إن هذه المعادن توجد طبيعياً في المعدن الخام، ومع ذلك فإن الجمع الأولي للكادميوم سهل نوعاً ما لإعادة تصنيعه.

ومن الآثار السلبية على الصحة والمتسبب فيها معدن الكادميوم:

- الإسهال

- آلام المعدة
- القيء الحاد
- كسور العظام
- اضطرابات في الجهاز التناسلي وفى بعض الأحيان حدوث العقم
- ضمور في الجهاز العصبي المركزي
- ضمور في وظائف الجهاز المناعي بالجسم
- اضطرابات نفسية
- احتمالية الإصابة بضمور في الصفات الوراثية، أو الإصابة بمرض السرطان
- إصابة الإنسان بالتسمم الغذائي من معدن الكادميوم يكون نادراً ويحدث بشكل أكبر من تلوث البيئة، أو الاستهلاك المزمن للأطعمة العالية بنسبة الكادميوم فيها

سلبيات الكادميوم

يسبب الكادميوم آثاراً سامة على الكلية والهيكل العظمي والجهاز التنفسي، ويصنف على أنه مسرطن بشري. وهو – عموماً - موجود في البيئة عند مستويات منخفضة، لكن النشاط البشري زاد من تلك المستويات إلى حد كبير.
يمكن للكادميوم أن ينتقل لمسافات بعيدة عن مصدر الانبعاث عن طريق الانتقال الجوي. وهو يتراكم بسهولة في العديد من الكائنات الحية؛ لاسيما الرخويات والقشريات. وتوجد تراكيز أقل في الخضراوات والحبوب والجذور النشوية.

الأغذية الملوثة, التبغ, المعادن غير الحديدية

ويحدث التعرض البشري - أساساً - نتيجة استهلاك الأغذية الملوثة، والاستنشاق الفاعل والقسري لدخان التبغ، والاستنشاق من قِبَل العاملين في صناعة المعادن غير الحديدية.
إن التدخلات الرامية إلى الحد من الإطلاق البيئي للكادميوم على الصعيد العالمي، والحد من التعرض المهني والبيئي تشمل:

- التوسع في إعادة تصنيع الكادميوم،
- التقليل من الانبعاثات والتصريفات الناجمة عن أنشطةٍ من قَبيل التعدين وتدبير النفايات،
- تعزيز أمان ظروف العمل بالنسبة للعاملين الذين يتداولون منتجات تحتوي على الكادميوم،
- التوقف عن التدخين.

كذلك هو من المعادن الثقيلة شديدة السمية، والتى تظهر أمراض التسمم به بعد عدة سنوات وبعد تراكم كميات كبيرة فى الجسم. ونتيجة لهذا التراكم يسبب مرض يسمى آيتاي – آيتاي نسبة إلى وجود المرض في مقاطعة آيتاي – آيتاي اليابانية – نتيجة لصرف مخلفات المصانع والمناجم بما يؤدى إلى ارتفاع تركيز الكادميوم في الماء من ٥ أجزاء في البليون إلى ١٨٠ جزء في البليون.

المبحث الثالث

أصباغ الملبوسات والكادميوم

من المعروف أن بعض الملبوسات قد يكون مصبوغاً بصبغات غير ثابتة، لكن هذه النوعيات قليلة، وتتمثل غالباً في فساتين الأطفال والنساء، فبعض هذه الملبوسات قد يعمل على تلوين البشرة، فيترك اللباس جزءاً من صباغه على جسد من يرتديه، وهذه الصبغات كثيراً ما تحتوي على معادن سامة ربما تؤثر في صحة الإنسان، فتتحرر مثل هذه المعادن من القماش عندما يبتل اللباس بالعرق أو الماء، وتأثير المعادن على الجسم يختلف باختلاف المصدر وباختلاف نوعية مركباته فبعضها لا يؤثر على الجسم بشكل واضح ما لم يتواجد بتركيزات عالية جد، والبعض الآخر يعدُّ شديد التأثير ولو وجد بتركيزات منخفضة جد، ومن المعادن الخطرة التي ربما توجد في أصباغ الملبوسات: الرصاص، الكادميوم، الكروم، والنيكل، ولأن بعضها له تأثير كبير على صحة الإنسان، حتى لو كان تركيزه منخفض، ومن أخطر هذه المعادن، معدن يسمى الكادميوم، والذي قد يصل إلى أجسامنا من الملبوسات غير الجيدة،

الكادميوم سم خفي

تؤكد جميع الدراسات والأبحاث أن معدن الكادميوم شديد السمية يؤثر على جميع الكائنات الحية النباتية الحيوانية والإنسان، وليس له أي دور حيوي، أي إنه من العناصر غير الأساسية أو غير الضرورية للحياة، وتوضح الدراسات أن تعرض الإنسان لجرعات بسيطة جداً من معدن الكادميوم ولفترات طويلة الأمد سواء عن طريق الشراب أو الطعام أو استنشاق الهواء الملوث به أو التدخين.. من شأنه أن يحدث مؤخراً سمية مزمنة، ومصادر دخول هذا المعدن في الجسم قد تكون ملازمة ومصاحبة للإنسان في مكان معيشته وعمله، مما يؤدي إلى دخوله في الجسم بكميات بسيطة على هيئة تيار دائم ومستمر، فيتراكم فيه ويتسبب في حدوث الأضرار الصحية، والكادميوم يوجد في الأصباغ، ويوجد كشوائب في كثير من خلائط المعادن كمواسير نقل المياه المعدنية، وفي صفائح الزنك التي تتركب منها خزانات المياه كما توجد مركباته كمثبتات في مواد البلاستيك، ويشير كتاب (دلائل جودة مياه الشراب) الذي أصدرته منظمة الصحة العالمية أن التركيزات المرتفعة من الكادميوم في مياه الحنفيات تقترن بتركيزات المواسير المطلية، وسبائك اللحام الفضية الأساس، ومواد شبكات المواسير

احتياطات ونصائح للوقاية من الكادميوم

في حال العودة من السفر مثلا، يجب عدم استخدام مياه الصنبور مباشرة، إذ من المحتمل أن يكون الماء قد تلوث بقدر كبير نتيجة بقائه مدة طويلة في الأنابيب المعدنية، وعليه يجب فتح الصنبور فترة قبل الاستعمال للتخلص من المياه المشكوك في تلوثها.

-عدم تجهيز الأطعمة والمشروبات الحارة باستعمال المياه المسخنة في السخانات الكهربائية الخاصة بالاستحمام.

-عدم استخدام الأواني المطلية في تجهيز أو تقديم الأطعمة، نظرا لظهور تأثيرات سمية لتلوث الطعام بالكادميوم من أوعية مطلية، كما تتسبب في اعتلالات معوية ومعدية.

-عدم الإفراط في أكل الكلى (الكلاوي)، إذ تمثل هذه الأعضاء أهم الأماكن التي يخزن فيها الجسم الكادميوم.

-عدم ترك البطاريات، خصوصا ذات العمر الطويل في متناول الأطفال، إذ يعتبر الكادميوم من المواد الأساسية في تركيب هذه البطاريات.

-الإقلاع عن التدخين أو التخفيف منه، إذ أثبتت الدراسات والأبحاث أن التدخين يؤدي إلى دخول الكادميوم للجسم عن طريق الرئتين.

-الإكثار من الأطعمة ذات البروتين الخفيف، إذ أثبتت الدراسات أن البروتينات الخفيفة ساعدت على تحرر معادن الكادميوم والنحاس والزنك المتراكمة بكميات كبيرة في الكلى والكبد، وخروجها مع البول والبراز.

-الإكثار من تناول مشتقات الألبان، لأنها تحتوي على نسبة عالية من الكالسيوم، وقد دلت الدراسات على أن امتصاص الكادميوم الملوث به الطعام يقل كثيرا في الثدييات عندما يوجد الكالسيوم في الطعام بتركيزات عالية، بينما يزداد امتصاص الكادميوم عندما يقل محتوى الطعام من الكالسيوم