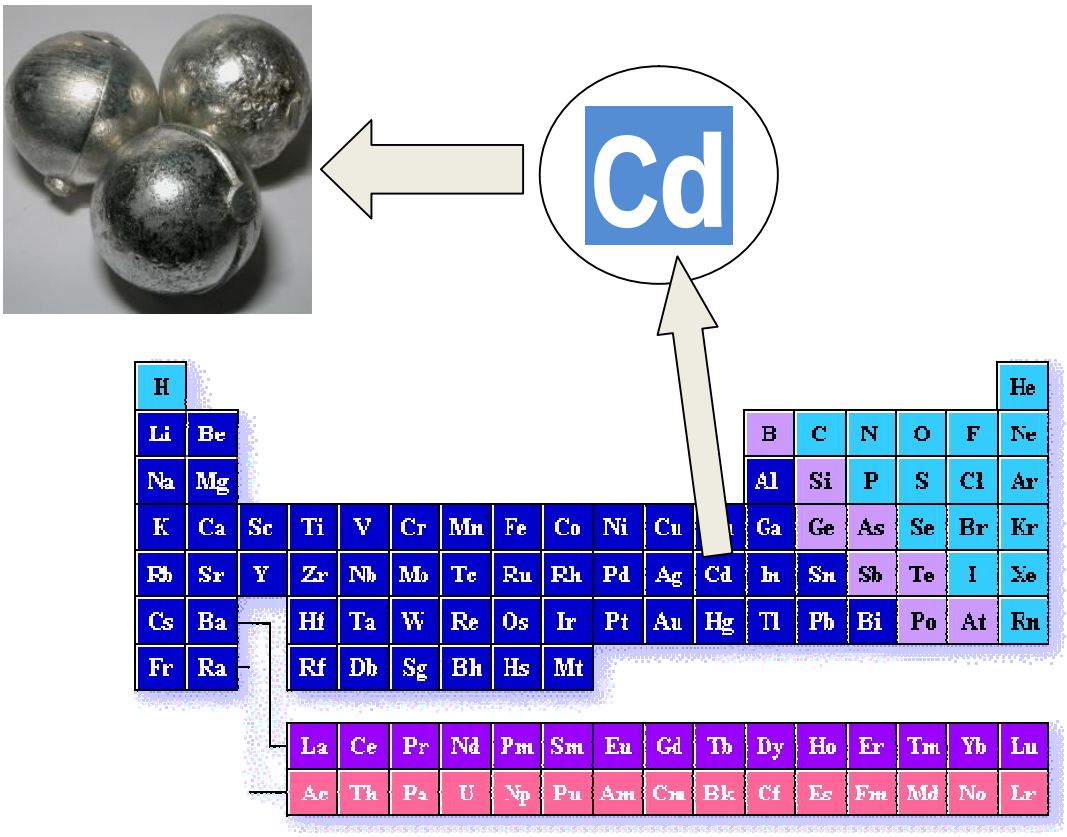
فصل اول:

معرفی آنالیت (کادمیوم)

1-1- مقدمه :

کادمیم عنصری با نماد شیمیایی Cd، عدد اتمی 48 و جرم اتمی 112/411 می باشد که در جدول تناوبی در ردیف دوم فلزات واسطه قرارگرفته است. کادمیم عنصری نسبتا" کمیاب و نرم بوده و رنگ سفید مایل به آبی دارد.



شکل 1-1 - جدول تناوبی مندلیف

همراه بودن کادمیوم با روی موجب گردید که این عنصر تا سال 1818 ناشناخته باقی بماند ، تا اینکه استرومیر[1] آن را در سنگهای کانی مس (کالامین) بازیافت که در آن زمان (کادمیا[2]) می گفتند و از ناحیه ی دریای سیاه بدست می آمد. وی این عنصر را در باقیمانده ی کوره های کادمیا بازیافت و آن را کادمیا فورناکوم[3] نامید که امروز به کادمیوم تبدیل شده است[2].

در سال 1971 ، وندرو[4] در سال 1978 ویس[5] گزارش کردند که قرار گرفتن طولانی مدت در برابر فلزات سنگین ایجاد تغییرات رفتاری هم در انسان و هم در حیوان می کند و در سال 1986 کادمیوم به عنوان یک فلز آلوده کننده ی محیط توسط دانشمندی به نام فولکس[6] معرفی شد . کادمیوم در نقاط مشخصی از دنیا همراه مواد معدنی یافت می شود . اگرچه فلز کادمیوم به صورت ناهمگون و با مقادیر جزئی در پوسته زمین موجود است ولی عملا تمام سنگهای معدنی کادمیوم از نوع گرینوکایت و سولفیت کادمیوم هستند . تولید کادمیوم به طور تدریجی از اواخر قرن نوزدهم آغاز گردید. تولید این فلز به صورت یک ماده جانبی در استخراج فلز روی بوده است . استفاده از این عنصر در طول قرن اخیر پیوسته افزایش یافته و در بیست سال اخیر بیشترین بازدهی و سود را به همراه داشته است و می توان گفت که کادمیوم از این زمان به بعد نقش مهمی در آلوده سازی محیط زیست داشته است .

تصویر1-1 - کادمیوم خالص از وب سایت http://images-of-elements.com/cadmium

[1] stromeyer
[2] cadmia
[3] Cadmia Fornacum
[4] wender
[5] weise
[6] Foulkes

کادمیوم در طبیعت ارتباط نزدیکی با فلز روی داشته و نسبت کادمیوم به فلز روی در سنگ های معادن و خاک ها از 1/100 تا 1/1000 متغیر است و احتمال می دهند که در طبیعت هیچ ماده ی معدنی را بدون مقادیر ناچیز از کادمیوم نمی توان یافت ، به علت اینکه جدا نمودن کادمیوم از سنگ های معدن فلز روی مشکل است و به هر حال مقدار کمی از آن در هنگام استخلاص روی باقی می ماند .

به طور کلی سنگ معدن اختصاصی که تنها از آن کادمیوم استخراج شود وجود ندارد و مهمترین ماده معدنی معمول این فلز گرینوکیت است . انتشار کادمیوم در هوا باعث ورود سریع آن به بدن انسان و حیوان از طریق تنفس می شود اما خاک یا آب بیشتر از هوا کادمیوم را در خود ذخیره می سازد . انباشته شدن کادمیوم در آب سبب افزایش غلظت آن در بدن آبزیان می گردد . سبزیجات و حبوباتی که با استفاده از کودهای شیمیایی رشد می نمایند یا در مزارعی که توسط آب های آلوده ی صنعتی آبیاری می گردند ، پرورش می یابند ، مقادیر قابل ملاحظه ای از این فلز را در بافت های خود جای می دهند . این محصولات بین 9 تا 36 میلی گرم در هر کیلوگرم کادمیوم دارند و صنایع ذوب فلزات به خصوص ذوب روی که کادمیوم به عنوان محصول جانبی ایجاد (تولید) می کنند ، بیشترین سهم را در آلوده ساختن آب ، هوا یا گیاهان دارند .

از سوختن نفت ، مشتقات آن و نیز زباله های صنعتی هم این فلز در محیط پخش می گردد. کادمیوم به طور طبیعی در نفت خام و بنزین وجود دارد ، همچنین خاک و گیاهانی که در اطراف بزرگراههای اصلی با ترافیک زیاد قرار دارند ، حاوی مقادیر زیادی کادمیوم می باشند[6-4] .

1-2- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی کادمیوم :

1-2-1- خواص فیزیکی کادمیوم :

وزن اتمی کادمیوم 112/4 ، نقطه ی ذوب آن 321 درجه ی سانتیگراد و نقطه ی جوش آن 767 درجه ی سانتیگراد می باشد. فعالیت کادمیوم کمتر از روی است و از این نظر به سهولت کدر نمی شود،

از قلع و روی سخت تر است و در حرارت معمولی بیشتر از روی قابلیت چکش خواری و ورق شدن دارد .

فلز کادمیوم معمولاً با رنگ متمایل به آبی یا نقره ای و نسبتاً نرم می باشد. اگرچه سطح آن اکسید می شود ولی در مقابل زنگ زدن کمی مقاوم است و نقطه ی ذوب پایین آن به طور ویژه ای آن را در بین فلزات دیگر در حرفه ی لحیم کاری برجسته می سازد . نقطه ی جوش پایین و فشار بخار بالاتر آن از سرب و روی در یک دمای معلوم ، فاکتورهای اساسی در جداسازی آن در روندهای گداختن و تصفیه هستند . هنگامی که فلزات یا سنگ های معدن حاوی آن حرارت داده می شوند ، این خصوصیات ممکن است زیان های بیشتری را در هوا باعث شوند و در تماس های مخاطره آمیز ، فلز داغ سریعاً تشکیل بخارات اکسید قهوه ای رنگی در هوا می دهد. نمک های کلرید و نیترات آن نیز کمی فرار هستند. چندی از خصوصیات آن مانند قابلیت تاشدن ، مقاومت در برابر فساد ، قابلیت جوش خوردن و روانی و نسبت بالای الکترو- دپزیشن[1] که یکی از موارد مصرف با اهمیت آن در آبکاری الکتریکی فلزات آهن دار می باشد . خصوصیات الکتریکی مناسب کادمیوم علت کاربرد آن در باتری ها ، سلول هاو سلول های فوتوالکتریک می باشد[11-7].

تصویر1-2 - کادمیوم خالص از وب سایت http://images-of-elements.com/cadmium

[1] Electro-deposition

1-2-2- خواص شیمیایی کادمیوم :

کادمیوم همراه جیوه در گروه b II جدول تناوبی فلزات قرار دارد . کادمیوم و روی در ترکیبات ظرفیت دوتایی نشان می دهند . این عناصر مستقیماً بعد از عناصر واسطه می آیند . سری لانتانیدها در میان کادمیوم و جیوه قرار می گیرد . کادمیوم در طبیعت به صورت 8 ایزوتوپ پایدار وجود دارد . کادمیوم مانند روی پتانسیل الکترود مثبت دارد در حالیکه پتانسیل الکترود جیوه منفی است ، از آنجایی که کادمیوم و روی در طبیعت همیشه با هم یافت شده اند خصوصیات مشابهی دارند. روی تمایل قویتر از کادمیوم نسبت به واکنش با اسیدها دارد و در نتیجه می تواند در محلول اسیدی جایگزین آن شود .

یکی از مراحل اساسی در خالص سازی آن از سنگ های معدن را در زیر مشاهده می کنیم :

$$Zn + Cd^{+2} \longrightarrow Zn^{+2} + Cd$$

کادمیوم در اسیدها حل می شود و هیدروژن تولید می کند و بر خلاف روی در قلیا حل نمی شود. به سهولت نمک های کمپلکس می دهد و املاح آن سمی هستند . ترکیبات زیان آور آن شامل اکسید کادمیوم (CdO) ، کادمیوم فلزی (Cd) و سولفور کادمیوم (CdS) می باشند.

بعضی اشکال کادمیوم خصوصاً سولفید و مشتقات آن خیلی غیر محلول هستند ، سولفید کادمیوم با رنگ زرد ، ترکیب عمده کادمیوم می باشد و همراه دیگر فلزات به طور طبیعی در سنگ معدن موجود می باشد . سولفور کادمیوم از ترکیبات کم زیان کادمیوم می باشد . کادمیوم میل زیادی برای تشکیل کمپلکس های محلول با سیانید یا آمین ها و نیز کلراید دهیدروکسید و سولفات دارد [12و4و3و2] .

3-1- موارد مصرف کادمیوم :

به طور کلی 95% مصرف کادمیوم در صنایع رنگ سازی ، آبکاری ، آلیاژسازی ، باتری سازی و ساخت پایدار کننده ها و پلاستیک ها می باشد . از کادمیوم در تهیه ی کودهای شیمیایی ،آفت کش ها و حشره کش ها استفاده می شود [3و13]. بیشترین مصرف کادمیوم یعنی حدود 59% مصرف آن در آبکاری[1] و بعد از آن استفاده در آلیاژهای حاوی کادمیوم می باشد . در آبکاری از این نظر که کادمیوم به طور یکنواخت و به صورت لایه ریز بافت متراکم حتی روی موادی با شکل نامنظم رسوب می کند ، خصوصیات خیلی مساعدی دارد . آلیازهای حاوی کادمیوم دو نوع هستند ، آلیاژ کادمیوم و نیکل و آلیاز کادمیوم و نقره . از دیگر آلیاژها می توان به کادمیوم و طلا اشاره کرد که در جواهرسازی مورد استفاده قرار می گیرد . مصرف مهم دیگر کادمیوم استفاده از آن در صنعت باتری سازی است که دو نوع اصلی دارد .

1- باتری نیکل – کادمیوم

2- باتری نقره – کادمیوم

تصویر3-1 - نمونه ای از باتری نیکل-کادمیوم

[1] Electro plating

1-4- راه های دریافت کادمیوم :

1-4-1- دریافت کادمیوم از طریق هوا :

مقدار کادمیوم در هوای مورد استنشاق عموماً پایین است. بر طبق گزارشات کمیسیون جامعه ی اقتصادی اروپا در سال 1978 ، مقدار کادمیومی که در اجتماعات آلوده از راه تنفس وارد بدن می گردد، کمتر از 0/5 میکروگرم در روز است و برای مناطق آلوده بیشتر از 35 میکروگرم در روز است . با وجود اینکه مقدار کادمیوم موجود در هوای شهرها 30 برابر بیشتر از روستاها است ، مقدار کادمیومی که در یک محیط شهری وارد بدن انسان می گردد نسبت به مقداری که از طریق مواد غذایی وارد بدن می شود ، بسیار ناچیز است . گمان می رود به طور متوسط 25% ذرات کادمیوم که در هوای تنفس وجود دارند در شش ها رسوب می نمایند ، اکسید کادمیوم قسمت اعظم موجود در هوا را تشکیل می دهد.

کادمیوم بر روی ذرات موجود در هوا قرار گرفته و به تدریج ذرات رسوب می نمایند . این ذرات در طول زمان روی برگ گیاهان و خزه ها رسوب می کنند ، ذرات تنفس حاوی کادمیوم به یکدیگر ملحق شده و با سرعت بیشتری رسوب می نمایند [3].

1-4-2- دریافت کادمیوم از طریق آب آشامیدنی :

کادمیوم آلوده کننده ای است که نفوذ آن در آب می تواند ناشی از ضایعات صنعتی یا فضولات معادن باشد . تحقیقات وسیعی در آمریکا نشان داده است که میزان متوسط کادمیوم آب آشامیدنی 1/3 میکروگرم در لیتر **است** . با توجه به دریافت مایعات با پایه ی آب در یک فرد بزرگسال به میزان 1/65 لیتر در روز است و با توجه به مقدار 1/3 میکرو گرم در لیتر کادمیوم ، میزان دریافت کادمیوم 2/1 میکروگرم خواهد بود . از آنجایی که جذب کادمیوم از طریق غذا یا آب حدوداً 1.5% است ، جذب نهایی از این منبع 0/1 میکروگرم در روز خواهد بود . این محاسبات تحت تاثیر یک سری از متغیرها قرار می گیرند . pH آب ممکن است فاکتور مهمی باشد ، چرا که کربنات و هیدروکسید کادمیوم در

pH بالاتر از 6 نامحلول هستند و همچنین ممکن است فرایند استفاده از آب ، مقادیر کادمیوم را تغییر دهند. به عنوان نمونه در منازل با لوله کشی گالوانیزه ، آب های اسیدی ممکن است بخش عمده کادمیوم موجود در کنار روی را به خوبی در خود حل کنند . آب سبک خورندگی بیشتری برای لوله ها دارد ، بنابراین مقادیر بیشتری از فلزات را نسبت به آب سخت آزاد می کند . دریافت کادمیوم از طریق آب آشامیدنی بسته به آب و هوا و درجه ی حرارت فرق می کند [15و14و3] .

1-4-3- دریافت کادمیوم از طریق غذا :

در افراد غیر سیگاری غذا منبع محیطی عمده ای از کادمیوم می باشد . مواد غذایی مانند برنج و گندم هنگامی که روی خاک آلوده به کادمیوم رشد می کنند ، می توانند مقادیر نسبتاً بالایی از کادمیوم را در خود جمع آوری کنند . اندام های داخلی پستانداران مانند کبد و کلیه ها نیز ممکن است مقادیر بالایی از کادمیوم را در خود داشته باشند . دریافت روزانه کادمیوم به رژیم غذایی و غلظت کادمیوم موجود در مواد غذایی بستگی دارد . کادمیوم در غذاهای دریایی ، فراورده های لبنی ، غلات و حبوبات وجود دارد. خوردن کادمیوم با غذا می تواند تجمع آهسته آن را در بافت های انسانی با افزایش سن توجیه کند. با فرض اینکه دریافت کادمیوم غذایی 50 میکرو گرم در روز و جذب آن 5 درصد باشد ، جذب و تجزیه روزانه از طریق غذا حدود 2/5 میکروگرم خواهد بود . از آنجایی که تعدادی از انواع غذاهای دریایی خصوصاً ماهی و صدف دارای مقادیر نسبتاً بالایی از کادمیوم می باشند ، دخالت این منبع غذایی در دریافت کادمیوم قابل توجه می باشد [۱۶،۱۷،۱۸،۵] .

1-4-4- دریافت کادمیوم از طریق سیگار :

منبع دیگر دریافت کادمیوم که یک خصوصیت بارز جمعیت بزرگسال را تحت تاثیر قرار می دهد، استنشاق این فلز در دود تنباکو می باشد . کادمیوم در تنباکو وجود دارد . یک سیگار معمولی حاوی 1 تا 2 میکروگرم کادمیوم است و به دلیل نقطه جوش پایین کادمیوم ، 70 تا 80 % این مقدار با دود سیگار خارج می شود . حدوداً 10% آن توسط شش ها جذب می شود . به ازای کشیدن هر 20 عدد سیگار ، 1

تا 2 میکروگرم کادمیوم وارد شش ها می گردد که 50% آن جذب می شود . مقدار کادمیوم بر حسب نوع توتون و تنباکو و کشور پرورش دهنده متفاوت است . به دلیل اینکه بعضی از ترکیبات کادمیوم به عنوان سموم کشاورزی و از بین برنده قارچ ها به کار می روند ، استفاده از توتون آلوده به این سموم سبب افزایش جذب کادمیوم از طریق شش ها می گردد ، بنابراین با کشیدن سیگار ، این عنصر سمی به سادگی جذب بدن می شود [5و23].

1-5- سینتیک کادمیوم :

1-5-1- جذب:

1-5-1-1- جذب کادمیوم از طریق دستگاه گوارش :

جذب کادمیوم از راه دستگاه گوارش از طرق متعددی بررسی شده است که عبارتند از :

1- میزان دریافت در مقابل دفع ادراری و مدفوع .

2- مطالعات ایزوتوپی .

3- آگاهی نسبت به ظرفیت بدن و میزان دریافت و دفع .

در انسان جذب خوراکی متوسط مقادیر کادمیوم حدود 5% می باشد . جذب از طریق دستگاه گوارش توسط چندین پارامتر تغذیه ای تحت تاثیر قرار می گیرد . تجربیات حیوانی نشان داده است که دریافت پایین کلسیم و پروتئین ممکن است به طور قابل توجهی جذب روده ای کادمیوم را افزایش دهد. مشاهده شده است که افراد دارای ذخیره های پایین آهن به میزان قابل توجهی کادمیوم بیشتری از افراد دارای ذخیره های نرمال آهن ، کادمیوم جذب می کنند . (یعنی چیزی در حدود 15% کادمیوم خورده شده) . بنابراین جذب خوراکی کادمیوم در زنان بیش از مردان می باشد . قابل ذکر است که مستقل از میزان جذب ، سن نیز ممکن است در دریافت کادمیوم از طریق غذا تاثیر بگذارد . مقدار

کادمیومی که از طریق غذا جذب می شود در حدود 0/2 تا 5 میکروگرم در روز می باشد ، در هر صورت به دلیل پارامترهای تجزیه ای ذکر شده در بالا واضح است که در گروههای خاصی از مردم میزان دریافت غذایی ممکن است بیشتر باشد [16و17].

1-5-1-2- جذب کادمیوم از طریق دستگاه تنفسی :

در رابطه با جذب کادمیوم توسط شش ها اطلاعات کمی در دست می باشد . مقدار کادمیوم جذب شده از طریق شش ها به مقدار ذراتی که در آن ها باقی می ماند بستگی دارد و عواملی از جمله فرم شیمیایی ذرات باقیمانده و قدرت انحلال آن ها در نسوج می تواند در جذب موثر باشد . از آنجایی که هوای محیط اطراف دارای ذرات کوچک و قابل تنفس کادمیوم می باشد ، این طور فرض می شود که میزان ته نشینی کادمیوم حدود 40% باشد.

بر اساس تجربیات بدست آمده روی بافت های بدن ، افراد سیگاری نشان داده اند که 50% کادمیومی که از طریق دود سیگار وارد ریه ها شده ، جذب گردیده است . از این رو احتمال می دهند که اگر بیشتر ذرات دارای اندازه ای باشند که بتوان تنفس نمود 20% - 30% مقدار کادمیوم تنفس شده جذب می گردد. تقریباً 50% ذرات با اندازه ی 0/1 میکرولیتر و حدود 20% ذرات با ابعاد 2 میکرولیتر توسط شش ها نگهداری می شوند. بدون شک این طور به نظر می رسد که شش ها به عنوان دستگاه تنفسی راه موثرتری نسبت به دستگاه گوارش برای ورود کادمیوم به بدن هستند [3و16] .

1-5-2- توزیع کادمیوم :

1-5-2-1- توزیع کادمیوم در محیط زیست :

کادمیوم علاوه بر فراوانی طبیعی که دارد به روش های گوناگون وارد محیط زیست می گردد که از آن جمله می توان به فرایندهای استخراج ، پالایش و بازیافت فولادهای آبکاری شده با کادمیوم را نام برد. اما در واقع منبع اصلی این عنصر در جریان پسماندهای مصرف کنندگان کادمیوم موجود در پلاستیک ها

به صورت رنگدانه و کادمیوم موجود در ابزار ساخته شده از پلی وینیل کلرید[1] به عنوان پایدار کننده می باشد. این منابع برای مدت های طولانی در محل های دفن زباله باقی خواهد ماند و موجب آلودگی می شوند[97]. توزیع کادمیوم در محیط زیست در سه بخش اتمسفر ، خاک و آب به صورت جداگانه صورت می گیرد.

مهمترین منبع انتشار غیرطبیعی کادمیوم در اتمسفر ، فعالیت کارخانه های تولید و پالایش روی-کادمیوم و کارخانه های گداخت این فلز می باشد. علاوه بر این ، بازیابی فولادهای آبکاری شده با کادمیوم منجر به انتشار این فلز در اتمسفر می گردد. اصلی ترین منبع طبیعی انتشار کادمیوم در اتمسفر فعالیت های آتشفشانی می باشد. شار سالانه جهانی از این منبع بین 100 تا 500 تن تخمین زده می شود[97].

کادمیوم در کانی های سولفید همراه با روی در صخره ها یافت می شود ، شرایط اکسنده آب و هوایی موجب می گردد کادمیوم به صورت یون Cd^{2+} محلول و متحرک گردد. کادمیوم ، تحرک متوسط تا زیادی در خاک های اسیدی و خوب زهکشی شده دارد و نسبتاً به طور ضعیفی توسط مواد آلی خاک رس سیلیکاتی و اکسیدها جذب می گردد. مگر در مواردی که pH بزرگتر از 6 باشد. میانگین غلظت کادمیوم در خاک سراسر جهان بین 1/1 – 0/06 گرم می باشد. کادمیوم موجود در اتمسفر با فرونشست روی خاک موجب توزیع این فلز در خاک می گردد[97]. یکی از منابع انتشار محیطی کادمیوم، آتشفشان های اعماق دریاها می باشند. اما نقش این فرایند در چرخه ی جهانی کادمیوم هنوز تعیین نشده است. در حال حاضر اندازه گیری کادمیوم حل شده در آب های سطحی اقیانوس های باز ، مقادیر کمتر از 5 نانوگرم بر کیلوگرم را نشان می دهد[97].

کادمیوم یک جزء عادی در بیشتر مواد خوراکی است . محصولات گیاهی که نزدیک منابع اتمسفری کادمیوم رشد کرده اند ، میزان بیشتری از این عنصر را دارا هستند. محتوای کادمیوم محصولات

[1] Poly vinyl chloride (PVC)

کشاورزی بر طبق گونه ها ، تنوع کشت و فصل ، تغییر می کند. میزان کادمیوم در برخی مواد غذایی از مناطق غیر آلوده در جدول شماره1-1 نشان داده شده است[97].

گروه مواد غذایی	انگلیس	فنلاند	سوئد	دانمارک	هلند
نان غلات	20 - 30	20 - 40	31 - 32	30	25 - 35
گوشت	<30	<5	2 - 3	6 - 30	10 - 40
ماهی	<15	<5	1 - 20	14	-
تخم مرغ	<30	4	1	<10	2
کاهو	<60	50	29	43	-
سیب زمینی	<30	30	1	30	30
اسفناج	120	150	43	-	-

جدول1-1-غلظت کادمیوم در مواد غذایی مختلف در کشورهای گوناگون (میکروگرم بر کیلوگرم) [97]

1-5-2-1- توزیع کادمیوم در گیاهان و حیوانات :

به طور کلی غلظت کادمیوم در جانداران خشکی و آبزی در مناطق غیر آلوده پایین است و با فراوانی این فلز در ارتباط است. اما در موقعیت های خاص کادمیوم ، تمایل چشمگیری برای تجمع در بافت های زنده دارد. به نظر می رسد که کادمیوم بیشترین تحرک را در اکوسیستم های دریایی دارد. منبع اولیه کادمیوم در سیستم های خشکی خاک می باشد و جذب از مسیر زنجیره غذایی تبعیت می کند.

تحقیقات انجام شده میزان بالایی از کادمیوم را در پستانداران دریایی ، پرندگان دریایی و بی مهرگان خشکی نشان می دهد.

در میان موجودات زنده ی گوناگون ، در بیشتر بافت ها توزیع می گردد. اما معمولا در بافت هایی مانند ریشه ، آبشش ها ، کبدها ، کلیه ها ، پانکراس و استخوان بندی تجمع می یابد. کادمیوم در سلول با پروتئین های سیتوپلاسم پیوند برقرار می کند که این احتمالاً مکانیسم مسمومیت می باشد. حذف کادمیوم در حیوانات به طور عمده از طریق کلیه صورت می گیرد اما می تواند از طریق پوست انداختن و اسکلت خارجی نیز دفع گردد[98].

1-5-2-3- توزیع کادمیوم در بدن انسان :

در انسان ها تنباکو یک منبع مهم جذب کادمیوم در افراد سیگاری است ، در حالی که منبع اصلی برای افراد غیر سیگاری از طریق غذا می باشد. سهم دیگر مسیرها در جذب کل بسیار ناچیز است. در مناطق آلوده جذب کادمیوم از طریق غذا ممکن است به چند میکروگرم در روز برسد. جذب روزانه ی کادمیوم به طور واضح به رژیم غذایی کادمیوم بستگی دارد. در مناطق غیر آلوده جذب کادمیوم برای یک شخص 70 کیلوگرمی بین 16-10 میکروگرم در روز می باشد. بررسی ها نشان می دهد که میانگین جذب روزانه در بیشتر کشورهای اروپایی و امریکا بین 30-10 میکروگرم در روز می باشد ، در حالی که در آسیا بیش از این مقدار است. به نظر می رسد که تفاوت ها ناشی از در دسترس بودن کادمیوم موجود در رژیم غذایی می باشد[98].

جذب به طور عمده از طریق دهان و یا بینی صورت می گیرد ، کادمیوم جذب شده از طریق شش ها یا دستگاه گوارش بیشتر در کبد و کلیه ها نگهداری می شود ، هرچه شدت تماس بیشتر شود کسری از کادمیوم جذب شده که در کبد نگهداری می شود زیادتر می گردد. بیشترین غلظت معمولاً در قشر کلیه ها یافت می شود اما تماس مکرر منجر به تجمع بیشتر در کبد می گردد. خروج کادمیوم از بدن

به صورت عادی آهسته است و نیمه عمر بیولوژیکی آن در ماهیچه ، کلیه ، کبد و اصولاً کل بدن بسیار طولانی است. جدول 1-2 سطوح رایج کادمیوم در بافت های گوناگون انسان را نشان می دهد.

بافت	انگلیس	جمعیت مورد بررسی
کلیه	0/9 - 11/8	کارگران بدون تماس
قشر کلیه	10 - 25	غیر سیگاری-بدون تماس شغلی
کبد	0/6 – 7/9	کارگران بدون تماس
جفت	5 - 20	غیر سیگاری ها
خون	0/8	کارمندان غیر سیگاری در اروپا
ادرار	0/64 – 1/09	زنان
ادرار	0/75 – 1/12	مردان

جدول1-2 – سطح کادمیوم در بافت های گوناگون انسان [97]

پس از جذب ، کادمیوم به خون منتقل شده و عمدتاً به سلول های خونی و آلبومین متصل می شود. کادمیوم ابتدا به کبد توزیع می یابد و سپس به صورت کادمیوم-متالوتیونین[1] به آهستگی به کلیه ها توزیع مجدد پیدا می کند . 50% کادمیوم بدن در کبد و کلیه وجود دارد . متالوتیونین یک پروتئین با وزن مولکولی کم می باشد که تمایل زیادی به فلزات دارد . این پروتئین مانع تداخل کادمیوم با سایر ماکرومولکول ها می شود . کادمیوم در غدد بزاقی تجمع می یابد و در بزاق ترشح می شود . کادمیوم یک سم بسیار جمع شونده است که نیمه عمر آن در بدن 10 تا 30 سال است . با تماس مداوم ، غلظت

[1] Cadmium Methatunin

کادمیوم در بافت ها در تمام طول زندگی افزایش می یابد . جایگاه عمده ی ذخیره ی کادمیوم ، کبد و کلیه ها و غلظت کادمیوم در کبد به تدریج با افزایش سن افزایش می یابد . تعدادی از تحقیقات درجه ی کادمیوم عمدتاً بالاتر را در کلیه ، کبد و شش افراد سیگاری را در مقابل افراد غیرسیگاری نشان می دهد. تجمع قابل توجه کادمیوم در بافت های دیگر مانند پانکراس ، غده ی تیروئید ، غدد بزاقی ، طحال و بیضه ها صورت می گیرد . کادمیوم خیلی ناچیزی در استخوان ، ماهیچه و دستگاه عصبی مرکزی موجود می باشد . کادمیوم ذخیره شده در بافت ها خیلی آهسته آزاد می گردد. نیمه عمر بیولوژیکی کادمیوم در کبد 5-10 سال و در کلیه حدوداً دو برابر مدت ذکر شده است . نیمه عمر بیولوژیک کادمیوم تمام بدن بیش از 30 سال برآورد شده است [26و20] .

1-5-3- دفع کادمیوم :

کادمیوم از طریق ادرار و مدفوع از بدن دفع می شود. دفع از طریق مدفوع اهمیت یشتری نسبت به دفع ادراری دارد. تنها پس از سمیت کلیوی است که دفع ادراری کادمیوم با اهمیت می شود. لازم به ذکر است که مکانیسم دفع کادمیوم شناخته شده نمی باشد [26] .

1-6- اثرات کادمیوم روی حیوانات و انسان ها :

1-6-1- اثرات کادمیوم روی حیوانات :

کادمیوم برای بسیاری از حیوانات سمی است ، که علت آن توانایی کادمیوم برای ترکیب شدن با گروه های سولفوهیدریل[1] و ممانعت از عملکرد طبیعی آن ها می باشد . گروه های SH آنزیم ها وظایف مهمی به عهده دارند که از آن جمله می توان به تشکیل پل های دی سولفید و به تبع آن تغییر در صورت بندی پروتئین ها اشاره نمود[97].

[1] Thiol, SH

در نمونه هایی که مقادیر زیادی از کادمیوم را برای چندین ماه به صورت دهانی دریافت کرده بودند. زخم های کلیوی و نارسایی های کلیوی مانند دفع پروتئین ، گلوکز و آمینو اسیدها در ادرار گزارش شده است. دیگر اثراتی که در حیوانات آزمایشگاهی مشاهده شده است ، شامل تاثیر روی شش ها ، استخوان ها ، خون سازی ، فشار خون ، سیستم ماهیچه ای قلب و سیستم ایمنی می باشد. البته این اثرات در مقادیر بالای کادمیوم روی می دهد.

1-6-2- اثرات کادمیوم روی انسان ها :

1-6-2-1- اثرات کادمیوم بر دستگاه ها و اندامهای مختلف انسان :

در حال حاضر می توان گفت که اثر غالب کادمیوم روی پستانداران ، نارسایی های کلیوی می باشد. در انسان نیز کادمیوم به نظر می رسد که روی سرعت فیلتر کردن گلومرول تاثیر می گذارد.

اخیراً نقش کادمیوم در سرطان و مرگ و میر ناشی از آن در انسان مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات نشان می دهد که مرگ و میر ناشی از سرطان ریه در میان کارگرانی که در تماس مستقیم با اکسید کادمیوم بودند، بیشتر است . بر اساس نظر آژانس بین المللی تحقیقات سرطان ، کادمیوم در انسان ها جزو گروه یک سرطان زاها می باشد. بررسی های اخیر نشان می دهد که سرطان سلول های کلیوی در اثر تماس با کادمیوم یک چهارم برابر افزایش می یابد[97].

اثر کادمیوم بر کلیه :

کلیه اندامی است که بیشترین حساسیت را نسبت به مسمومیت مزمن کادمیوم دارد [16] .

اثرکادمیوم بر شش ها :

نتیجه استنشاق بیش از حد بخارات و ذرات کادمیوم ، از دست دادن ظرفیت تنفسی است [16] .

اثر کادمیوم بر سیستم قلبی-عروقی :

کادمیوم نقش مهمی در ایجاد فشار خون بالا ایفا می کند، گرچه این اثر تاکنون در حیوانات آزمایشگاهی مشاهده نشده است و افزایش فشار خون در مسمومیت های صنعتی کادمیوم مسئله مهمی نمی باشد [16] .

اثر کادمیوم بر استخوان :

یکی از مشکلاتی که کادمیوم در استخوان ایجاد می کند ، بیماری ایتای ایاتی[1] می باشد . در ژاپن بلافاصله بعد از جنگ جهانی دوم ، تعداد زیادی از مردم دچار دردهای استخوان شدند و این اثر کادمیوم ممکن است به واسطه ی تداخل در تنظیم تعادل فسفات و کلسیم در کلیه باشد. همچنین مشخص گردید که کادمیوم به داخل مزارع برنج وارد شده و آنها را آلوده ساخته است [6] .

اثر کادمیوم بر جفت :

جفت یک ارگان هدف برای مسمومیت با کادمیوم است. این سمیت اولین بار توسط پاری زک گزارش شد که به موجب مرگ جنین در موش به دنبال تماس کوتاه مدت با کادمیوم رخ داد . علائم بالینی آن کاهش شدید جریان خون جفت در رحم می باشد که 12 تا 16 ساعت پس از تماس با 40 میکرومول در کیلوگرم به وجود می آید [24] .

اثر سرطان زایی کادمیوم :

کادمیوم هنگامی که به حیوانات آزمایشگاهی تجویز شد ، در برخی ارگان ها ایجاد تومور نموده است . شواهدی از خاصیت سرطان زایی کادمیوم در انسان وجود دارد که در آن تومورهایی را در ریه ، پروستات و به مقدار کمتر در کلیه و معده تشخیص داده اند . موسسه ی تحقیقات سرطان در سال

[1] Itai-Itai

1993 نتیجه گرفته است که این مطالعات برای قرار دادن کادمیوم در دسته ی عوامل سرطان زا کفایت می کند [16] .

1-6-2-2- مسمومیت با کادمیوم:

مسمومیت حاد:

معمولاً ناشی از استنشاق ذرات و بخارات کادمیوم (معمولاً اکسید کادمیوم) و خوردن نمک های کادمیوم است . اثرات سمی تماس حاد بیشتر به واسطه ی تحریک موضعی است و استنشاق بخارات کادمیوم منجر به عفونت ریه می شود . در مورد دریافت دهانی این اثرات شامل تهوع ، استفراق ، ترشح بزاق ، اسهال است . محتویات اسهال و استفراغ اغلب خون آلود است و سمیت ریوی می تواند تا مرز کشندگی پیش رود .

مسمومیت حاد خوراکی توسط کادمیوم بعد از خوردن غذا یا آشامیدنی اسیدی نگهداری شده در ظروف با روکش کادمیومی مشاهده شده است . کادمیومی که به عنوان روکش مورد استفاده قرار می گیرد در اسیدهای غذایی مثل اسید عصاره میوه جات یا سرکه قابل حل می باشد و نیز محصولات حاوی کادمیوم در حرارت بالاتر از نقطه ی جوش آن ، کادمیوم خود را آزاد می سازند [26] .

مسمومیت مزمن :

به دنبال تماس طولانی مدت با کادمیوم ممکن است اثرات سمی مختلفی ایجاد شود البته اثرات سمی ایجاد شده تا حدی به راه تماس بستگی دارد . در مسمومیت مزمن عوارضی مثل اختلالات کلیوی ، کبدی ، نارسایی ششی ، آنمی ، فقدان حس بویایی ، کاهش وزن ، سرفه و دندان های زرد رنگ بروز می کند [2] .

فصل دوم:

پیش تغلیظ و استخراج