

## فلزات سنگین در آب آشامیدنی

در بین آلاینده های آب ، آلودگی با فلزات سنگین موردی است که از سالیان دراز شناخته شده است چرا که علاوه بر منابع آنتروپوژنیک این فلزات بصورت طبیعی و بواسطه انحلال از پوسته زمین می توانند به منابع آب راه یابند که مصرف دراز مدت آبهای آلوده باعث بروز اثرات نامطلوب بر روی سلامت مصرف کنندگان خواهد بود. فلزات سنگین فلزاتی هستند که دانسیته آنها بیشتر از ۵ گرم بر سانتی متر مکعب می باشد. خطرناکترین فلزاتی که در مقادیر مشخص سلامتی انسان را به مخاطره می اندازند شامل آرسنیک ، بریلیوم ، جیوه ، باریوم ، کادمیوم ، مس ، سرب ، منیزیم ، نیکل ، وانادیم ، قلع و روی می باشد. مسمومیت با آرسنیک ، جیوه و کادمیوم از جمله موارد شناخته شده می باشد .

### طبقه بندی فلزات<sup>۱</sup>

۸۴ عنصر از ۱۰۶ عنصر شناخته شده به عنوان فلز دسته بندی شده اند و از این جهت آلودگی فلزات متنوع می باشد. تمام فلزات عنوان شده برای محیط خطرآفرین نمی باشند، تعدادی غیرسمی و تعدادی حتی اگر سمی باشند خیلی کمیاب بوده یا ترکیبات آنها غیر قابل حل است. نتیجتاً فقط تعداد کمی از فلزات جزء آلوده کننده های محیطی در نظر گرفته شده اند.

در مباحث آلودگی های فلزی از عناوین فلزات سنگین و فلزات کمیاب استفاده می شود. فلزاتی که دانسیته آنها از  $5\text{gr/cm}^3$  می باشد به عنوان فلزات سنگین و فلزاتی که دانسیته کمتر  $5\text{gr/cm}^3$  دارند به عنوان فلزات سبک طبقه بندی شده اند. معمولاً فلزاتی که در وسعتی برابر یا کمتر از ۰/۱ درصد ( $1000\text{ppm}$ ) در پوسته زمین وجود دارند، به فلزات کمیاب موسوم اند. اکسیژن در گسترده ای

<sup>۱</sup> کلیه مطالب مربوط به بخش فلزات سنگین غیر از آرسنیک از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مهندس یعقوب حاجی زاده فارغ التحصیل سال ۱۳۷۷ از دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران با عنوان بررسی فلزات سنگین در آبهای زیرزمینی تبریز برداشت شده است

معادل ۵۰۰ میلیون مرتبه بیشتر از تعدادی از فلزات سنگین یافت می شود. تنوع گسترده در فراوانی عناصر کمیاب در جدول (۱) نشان داده شده است. فراوانی باریم برای مثال ۵۰۰۰ برابر جیوه و ۱۰۰۰۰۰ برابر طلا می باشد. فلزات کمیاب بدلیل تاثیر بر محیط زیست و موجودات زنده عموماً بسیار مهمتر از فلزات دیگر هستند.

## سرنوشت آلوده کننده های فلزی و دلایل خطرناک بودن آنها بر سلامتی انسانها

اغلب آلوده کننده های فلزی که از منابع مختلف طبیعی یا مصنوعی از جمله عملیات حفاری معادن فرسایش و پسابهای خانگی و صنعتی و غیره وارد محیط می شوند سرانجام به آبهای سطحی و زیرزمینی منتهی می شوند. ضایعات فلزی بسیاری از اعمال صنعتی مایع می باشند که به راحتی به آبهای طبیعی می رسند. علاوه بر این مقادیر زیادی از فلزات به هوا رها شده و نهایتاً فرود می آیند یا بوسیله نشت کردن به سطح زمین می رسند. فلزاتی که به صورت ضایعات جامدند بوسیله صاف کردن از آب جدا می شوند. محلولهای از ترکیبات فلزی سرانجام به آبهای سطحی و زیرزمینی می پیوندند.

- پایداری فلزات در محیط مشکلات بخصوصی را ایجاد می کند. فلزات نمی توانند مانند آلوده کننده های آلی از طریق شیمیایی یا فرآیندهای زیستی در طبیعت تجزیه شوند. ترکیبات فلزی می توانند تغییر یابند، اما فلزات نامرغوب همچنان باقی می مانند. این چنین واکنشهایی در فلزات سمی تر مثل جیوه صورت می گیرد. پایداری فلزات اجازه می دهد که در فواصل قابل توجه توسط آب یا هوا منتقل شوند. یکی از نتایج مهم پایداری آنها وسعت زیستی فلزات در زنجیره غذایی می باشد. در نتیجه آن فرآیند سطوح فلزات در اعضای بالاتر در زنجیره می تواند به مقادیر تا چندین برابر آنهایی که در هوا یا آب یافت می شوند، برسند. در نتیجه موجب به مخاطره افتادن سلامتی گیاهان و جانورانی که

از این موارد غذائی استفاده می کنند، می شود. انسان قابلیت ذخیره سازی فلزات، به دلیل نیمه عمر طولانی برخی از آنها، را در بدن دارد. (۱۴۶۰ روز برای سرب و ۲۰۰ روز برای کادمیوم)، جدول (۲) مقادیر فلزاتی که در بدن انسان می توانند ذخیره شوند را نشان می دهند.

فلزات سنگین در عملکرد پروتئین ها نظیر آنزیم ها یا کاتالیزورهای زیستی مشارکت دارند. فلزات سبک در محلول به راحتی یون تشکیل داده و به خنثی ماندن الکتریکی سلولها و سیالات بدن و ثابت ماندن حجم طبیعی خون و دیگر سیستم های با حالت مایع بدن کمک می کنند. خطرناکترین فلزاتی که در مقادیری مشخص سلامتی انسان را به مخاطره می اندازند آرسنیک ، بریلیوم، جیوه، باریم، کادمیوم، مس، سرب، منیزیم، نیکل، قلع و انادیوم و روی می باشند.

### جدول ۱- فراوانی عناصر انتخابی در پوسته زمین

فلزات	فراوانی (ppm)
ترتیب	
اکسیژن (O)	۴۶۶۰۰۰
۱	
سیلیکون (Si)	۲۷۷۲۰۰
۲	
آلمینیم (Al)	۸۱۳۰۰
۳	
آهن (fe)	۵۰۰۰۰
۴	

۳۶۳۰۰	کلسیم (Ca)	۵
۲۸۳۰۰	سدیم (Na)	۶
۲۵۹۰۰	پتاسیم (K)	۷
۲۰۹۰۰	منیزیم (Mg)	۸
۴۴۰۰	تیتانیم (Ti)	۹
۱۴۰۰	هیدروژن (H)	۱۰
۱۱۸۰	فسفر (P)	۱۱
۱۰۰۰	منگنز (Mn)	۱۲
	فلزات کمیاب انتخاب شده	
۴۲۵	باریم (Ba)	۱۴

۱۳۵	وانادیم (V)	۱۹
۷۵	نیکل (Ni)	۲۳
۷۰	روی (Zn)	۲۴
۵۵	مس (Cu)	۲۶
۱۲/۵	سرب (Pb)	۳۶
۲/۸	بریلیوم (B)	۴۶
۲/۷	اورانیوم (u)	۴۸
۲	قلع (sn)	۵۱
۰/۲	کادمیم (Cd)	۶۳
۰/۰۸	جیوه (Hg)	۶۷

۰/۰۷	نقره (Ag)	۶۸
۰/۰۰۴	طلا (Au)	۷۱

### ماهیت عناصر جزئی

بسیاری از عناصر معدنی به مقدار کم در چرخه حیات وجود دارند که قبلاً اندازه گیری غلظت آنها بطور دقیق ممکن نبود، بعدها با کشف روشهای مختلف آنالیز تعیین مقدار آنها امکان پذیر شد، اصطلاح عناصر جزئی برای بیان آنها ناشی از همین مطلب است.

عناصر جزئی به دسته های مختلف تقسیم می شوند:

- وابسته به عناصر اساسی و ضروری بدن.

- عناصر ضروری احتمالی

- عناصر غیر ضروری برای بدن.

در حال حاضر ۱۰ عنصر اساسی شناخته شده اند که برای انسان و موجودات ضروری هستند و عبارتند از: آهن، روی، مس، ید، منگنز، کبالت، مولیبدن، سلنیوم، کرم و قلع.

همچنین چند عنصر قابل ملاحظه مثل: نیکل، فلئور، برم، آرسنیک، وانادیوم، کادمیوم و باریوم و استرانسیم جزو گروه عناصر ضروری احتمالی در نظر گرفته شده اند.

در حدود ۲۰ تا ۳۰ عدد از عناصر جزئی نیز هستند که جزو عناصر غیر ضروری محسوب

می شوند ولی با غلظتهای مختلف در بافتها و نسوج زنده دیده می شوند نظیر:

آلومینیم، آنتیمودان، کادمیوم، جیوه، ژرمانیوم، وانادیوم، سیلیس، روبیدم، نقره، طلا، سرب، بیسموت و تیتان.

عناصر جزئی را از نظر شدت آلودگی که به آب می دهند (پتانسیل آلودگی) به چهار دسته تقسیم کرده اند:

آنهایی که پتانسیل آلودگی خیلی شدید دارند مثل: نقره، طلا، کرم، کامیوم، مس، جیوه، سرب، آنتیمودان، قلع، تلوریوم و روی.

عناصری که پتانسیل آلودگی شدید دارند مثل: باریم، بیسموت، کلسیم، آهن، منگنز، مولیبدن، فسفر، تیتان و اورانیوم.

عناصری که پتانسیل آلودگی متوسط دارند مثل: آلومینیم، آرسنیک، بر، بریلیوم، برم، کبالت، ژرمانیوم، پتاسیم، لیتیم، سدیم، نیکل، روبیدم، وانادیوم و تنگستن.

عناصری که از نظر پتانسیل آلودگی ضعیف هستند و شامل: گالیوم، ید، لانتالیوم، منیزیم، سیلیس، استر بیسم و زیرکونیوم می باشند.

در گروه اول عناصری قرار دارند که ممکن است مقادیر جزئی آنها هم برای انسان و گیاه خیلی سمی باشند. فقط در مورد ۴ عنصر از دسته اول (کروم، مس، سرب، قلع) ممکن است غلظت متوسط آنها بطور قابل ملاحظه ای در آبهای شیرین زیاد شود، ولی در آب اقیانوس به دلیل حجم بالای آب تغییر غلظتها ناچیز است.

### اثرات بهداشتی و زیست محیطی فلزات سنگین

فلزات سنگین در میان پژوهشهای مربوط به آلودگی محیط زیست در دهه های اخیر جایگاه ویژه ای را بخود اختصاص داده اند، بی گمان تجربه تلخ مسمومیت ناشی از جیوه در ژاپن و نقاط دیگر جهان و مسمومیت ناشی از کادمیوم و سرب و ... در نقاط مختلف دنیا منجر به تمایل شدید بشر به احتیاط بیشتر شده است. این امر البته تا حدودی به ابداع روشهای نسبتاً ساده و خیلی حساس تعیین و

تحلیل میزان فلزات نمونه ها نیز مربوط می شود. در خلال این سالها رشد فزاینده تولید مواد شیمیایی حاوی این عناصر و همچنین مصرف این عناصر در فرآیندهای مختلف صنعتی باعث افزایش میزان این مواد در عوامل زیست محیطی گردیده است، گرچه استفاده از این مواد در شاخه های مختلف تا حد زیادی باعث توسعه اقتصادی گردیده است اما مطالعات و تجربیات نشان می دهد که اثرات سوء قابل توجهی در ارتباط با این مواد هستند. امروزه به موازات شناختن اثرات سوء مخرب ناشی از مواد شیمیایی خطرناک، استراتژیهای در جهت کنترل صحیح آنها در نظر گرفته شده است و تنها با تحقق بخشیدن به این راهکارهای پیشگیری کننده است که می توان کشورها را از تکرار اشتباهات گذشته برحذر داشت.

اثرات سوء ناشی از مواد شیمیایی خطرناک بسیار متفاوت و متنوع می باشند. برخی از این اثرات کوتاه مدت و شدید هستند، مسمومیت های حاد توسط مواد شیمیایی خطرناک نشان بارزی از این گونه اثرات است. تجربیات سایر کشورها نشان می دهد که در این خصوص کودکان در گروه سنی ۱-۱۰ سال گروه بحرانی تحت تاثیر هستند، دسته دیگر از اثرات بهداشتی اثرات دراز مدت هستند، این عوارض در مدت زمان نسبتاً طولانی بارز می شوند که بیشتر به خصوصیات سمیت<sup>۲</sup> تجمع پذیری زیستی<sup>۳</sup> سرطانزایی<sup>۴</sup> جهش زائی<sup>۵</sup> و نژندزائی<sup>۶</sup> مواد مربوط می گردند. مهمترین اثری که از عناصر جزئی می توان نام برد دخالت در فعالیتهای مختلف بیولوژیکی و تاثیر آنها بر آنزیمهاست بطوریکه اثرات آنزیمها را ممکن و یا خنثی نموده و یا فعالیت آنزیم را کم و زیاد می کنند. مثلاً ترکیبات سرب و جیوه یا هر یک از فلزات سنگین یونهای ایجاد می کنند که

<sup>2</sup> - Toxicity

<sup>3</sup> - Bioaccumulation

<sup>4</sup> - Carcinogenic

<sup>5</sup> - Mutagenic

<sup>6</sup> - Teratogenic



ممکن است در اثر ترکیب با آنزیم فعالیت آنرا از بین ببرند. برعکس عده ای دیگر مانند: کبالت، آهن، منگنز، مس، روی، کروم، و سیلیس فعالیت بعضی آنزیمها را تشدید می کنند.

در این بخش سعی بر این است که تا حدودی پیرامون، منابع، خواص، کاربرد، راههای ورود به محیط زیست و تماس، راههای ورود به بدن و متابولیسم و اثرات و معضلات ناشی از فلزات سنگین و روشهای کنترل آنها بحث شود. در مورد فلزاتی بحث می شود که میزانهای آنها در نمونه های برداشت شده از آبهای زیرزمینی منطقه تعیین مقدار شده است. این عناصر عبارتند از: کادمیوم، کروم، سرب، نیکل، منگنز، مس، روی و آهن.

معیارهای انتخاب این فلزات، درجه سمیت و میزان اثرات سوء آنها بر سلامتی و محیط زیست، احتمال وجود آنها در آبهای زیر زمینی با توجه به شرایط صنعتی بودن منطقه و همچنین امکانات آزمایشگاهی برای تعیین میزان آنها در نمونه ها بوده است. جدول ۳ خواص فیزیکی و شیمیایی این عناصر سنگین را نشان می دهد.

جدول ۳ - خواص فیزیکی و شیمیایی برخی فلزات سنگین

ردیف	نام عنصر	وزن مولکولی	وزن مخصوص	نقطه جوش °C	نقطه ذوب °C	حلالیت
۱	آهن Fe	۱۸۴۷ ۵۵	۷/۸۶	۱۵۳۵	۲۷۵۰	محلول در اسید و غیر محلول در آب، قلیا، الکل و اتر
۲	روی Zn	۶۵/۳۸	۷/۱۴	۴۱۹/۵۸	۹۰۷	غیرمحلول در آب و محلول در اسید، قلیا، و اسیداستیک
۳	سرب Pb	۱۹۹ ۲۰۷	۱۱/۳۴۳	۳۲۷/۵۰	۱۷۴۰	غیر محلول در آب و در اسیدنیتریک و سولفوریک غلیظ
۴	کادمیوم Cd	۱۴۰ ۱۱۲	۸/۶۴۲	۳۲۰/۹	۷۶۵	غیرمحلول در آب و محلول در اسید و نیترات آمونیم
۵	کروم Cr	۹۹۶ ۵۱	۷/۲۰	±۲۰ ۱۸۵۷	۲۶۷۲	غیر محلول در آب و محلول در اسید سولفوریک و اسید

کلریدریک رقیق						
محلول در اسید نیتریک گرم و غلیظ؛ غیر محلول در آب	۲۵۶۷	$\pm 0.2$ ۰.۸۳۱	۸/۹۲	۱۵۴۶ ۶۳	مس Cu	۶
در آب تجزیه می شود، محلول در اسید رقیق	۱۹۶۲	$\pm 3$ ۱۲۴۴	۷/۲۰	۱۹۳۸ ۵۴	منگنز Mn	۷
در آب تجزیه می شود. محلول در اسید نیتریک، غیر محلول در آمونیاک	۲۷۳۲	۱۴۵۳	۸/۹۰	۵۸/۷۱	نیکل Ni	۸

## آرسنیک

### ویژگیهای آرسنیک

آرسنیک به حالت عنصر، خاکستری رنگ و یک ماده کریستاله است. عدد اتمی آن ۳۳، وزن اتمی آن ۷۴/۹۲، دانسیته آن ۵/۷۲۷، نقطه ذوب آن  $817^{\circ}\text{C}$  و نقطه تصعید آن  $613^{\circ}\text{C}$  است. خواص شیمیایی آن مشابه فسفر است [Eisler, 1994]. آرسنیک همراه با فسفر، آنتیموان و بیسموت در گروه پنج (VB) جدول تناوبی عناصر قرار دارد [عابدینی، ۱۳۷۰]. حالت‌های اکسیداسیون آرسنیک -۳، ۰، ۳ و ۵ می باشد. این فلز در سراسر پوسته زمین اغلب به شکل سولفید آرسنیک یا آرسنات‌های فلزی و آرسنیدها وجود دارد

[WHO, 1996]. در جدول ۴ انواع ترکیبات آرسنیک همراه با خواص فیزیکی شیمیایی آنها ارائه شده است.

### منابع و فراوانی آرسنیک در محیط زیست

منابع آرسنیک در محیط متفاوت است. بطور کلی مواد معدنی، سنگها، رسوبات، خاکها، و اتمسفر منابع آرسنیک را تشکیل می دهند. مقدار آرسنیک خاک به دلیل دارا بودن ذخایر و رسوبات آرسنیفروس و نیز در مناطق معدنی حاوی طلا، نقره و سولفیدهای سرب و روی افزایش می یابد. ذخایر سرب همراه با روی و مس، ذخایر مس پیریتی آرسنیکی همراه با نقره، ذخایر آرسنو- نیکل همراه با کبالت و ذخایر طلائی آرسنیکی منابع اصلی آرسنیک در پوسته زمین به شمار می روند [قربانی، ۱۳۷۴]. این ماده یکی از عناصر کمیاب در پوسته جامد زمین است که از لحاظ فراوانی دارای بیستمین فراوانی در پوسته زمین، چهاردهمین فراوانی در آب دریا و دوازدهمین فراوانی در بدن انسان است. آرسنیک در منابع محیطی از جمله هوا، آب و خاک نسبتاً متداول بوده و در گیاهان و موجودات زنده نیز یافت می شود [Naqvi et al, 1994]. فراوانی آرسنیک در لیتوسفر حدود ۱/۵ تا ۲ppm برآورد شده است [WHO, 1996; Smedley, 2001]، غلظت مبنای آرسنیک در خاکها عموماً ۵ تا ۱۰ mg/kg بوده و میانگین غلظت ۷/۲mg/kg برآورد می شود. آرسنیک به عنوان جزء عمده در بیش از ۲۰۰ ماده معدنی (حداقل ۲۴۵ گونه معدنی) به صورت آرسنیک عنصری، آرسنیدها، سولفیدها، اکسیدها، آرسناتها و آرسنیتها یافت می شود. اغلب این مواد کانی معدنی یا محصولات تغییر یافته آرسنیک است. در جدول ۵ فهرستی از رایجترین مواد معدنی آرسنیک ارائه شده است.

لازم به ذکر است اغلب این مواد معدنی در محیط زیست طبیعی نادر بوده و بیشترین غلظت آنها در نواحی معدنی و در ارتباط نزدیک با فلزات انتقالی مانند

Cd, Pb, Ag, Au, Sb, P, W و Mo یافت می شود. آرسنوپیریت رایجترین فراوانترین کانی معدنی آرسنیک می باشد. پذیرفت شده که آرسنوپیریت همراه با دیگر مواد معدنی آرسنیک - گوگرد از جمله رآلگار ( زرنیخ قرمز) و orpiment ( زرنیخ زرد) تنها در شرایط دمائی بالا در پوسته زمین تشکیل می شوند. مهمترین منبع آرسنیک در زونهای کانی دار آرسنین پیریت (Fe(S,As)) بوده و آرسنوپیریت نسبت به این ماده علیرغم حضور در اغلب انباشتهای کانی فراوانی کمتری دارد. آرسنوپیریت در کانیهای سولفیدی مرتبط با انباشتهای طلا یافت می شود که از اولین مواد معدنی تشکیل شده بوده و حاصل از محلولهای هیدروترمال در دماهای بالای ۱۰۰ درجه سانتیگراد است [Smedley,2001]. عموماً غلظت زمینه آرسنیک ۰/۲ تا ۱۵ mg/Kg در لیتوسفر، ۰/۰۰۵ تا ۰/۱  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  در هوا، ۱۰  $\mu\text{g}/\text{l}$  در آب و  $< 15 \text{ mg}/\text{Kg}$  در خاک است [Eisler,1994]. غلظت آرسنیک در اتمسفر بواسطه فعالیتهای صنعتی، استفاده از سوخت زغال سنگ و فعالیتهای آتشفشانی افزایش می یابد. جدول ۵- مواد عمده معدنی آرسنیک که در طبیعت یافت می شود [Smedley,2001].

ماده معدنی	ترکیب	حضور
آرسنیک بومی	As	رگه های هیدروترمال
نیکولایت	NiAs	انباشتهای رگه ای
راگلار	AsS	انباشتهای رگه ای، اغلب مرتبط با اورپیمنت، رس و سنگ آهک، همچنین انباشتهای حاصل از

چشمه های آب گرم		
رگه های هیدروترمال، چشمه های آب گرم، محصول تصعید آشفشانی	$As_2S_3$	اورپیمنت
انباشتهای دمای بالا، سنگهای دگرگونی	$CoAsS$	کبالتیت
فراوانترین ماده معدنی آرسنیک، رگه های معدنی	$FeAsS$	آرسنوپیریت
رگه های معدنی	$(Cu,Fe)_{12}As_4S_{13}$	تنانتیت
رگه های هیدروترمال	$Cu_3AsS_4$	انارژیت
ماده معدنی ثانویه حاصل از اکسیداسیون آرسنوپیریت، آرسنیک و دیگر ترکیبات آرسنیکی	$As_2O_3$	آرسنولیت
ماده معدنی ثانویه حاصل از اکسیداسیون رآلگار، آرسنوپیریت و دیگر ترکیبات آرسنیکی	$As_2O_3$	کلاودتیت

اسکورودیت	$\text{FeAsO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	ماده معدنی ثانویه
آنابرگیت	$(\text{Ni,Co})_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	ماده معدنی ثانویه
هورنسیت	$\text{Mg}_3(\text{AsO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	ماده معدنی ثانویه، زائدات ذوب کننده
هماتولیت	$(\text{Mn,Mg})_4\text{Al}(\text{AsO}_4)(\text{OH})_8$	
کونیکالسیت	$\text{CaCu}(\text{AsO}_4)(\text{OH})$	ماده معدنی ثانویه
فارماکوسیدیریت	$\text{Fe}_3(\text{AsO}_4)_2(\text{OH})_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	محصول اکسیداسیون آرسنوپیریت و دیگر مواد معدنی آرسنیک دار

### مصرف آرسنیک و کاربردهای آن

تولید جهانی سالیانه آرسنیک بین ۷۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰۰ تن برآورد می شود ( در سال ۱۹۹۰ تولید جهانی آرسنیک حدود ۶۱۰۰۰ تن بوده است). ایالات متحده حدود ۲۱۰۰۰ تن تولید و ۴۴۰۰۰ تن مصرف نموده و عمده نیاز خود را از کشور سوئد که پیشرو در تولید آرسنیک است تامین می کند . تقریباً ۹۷٪ آرسنیک ساخته شده در سطح دنیا در شکل نهایی تری اکسید آرسنیک ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ) ساخته شده و مابقی به صورت افزودنی در ساخت آلیاژهای ویژه سرب و مس استفاده می شود [Eisler,1994].

### جدول ۶- مصارف مختلف ترکیبات آرسنیک [Azcue et al,1994]

بخش مصرف	نوع مصرف
کشاورزی	آفت کشها، حشره کشها، بی برگ کننده، محافظ چوب، کندن

پوست درخت، استریل کننده خاک	
افزودنی غذایی، پیشگیری بیماری (دیسانتری خوک، عفونت پرده قلب)، شستشوی گاو و گوسفند، جلبک کش	دامداری
داروی ضد سیفلیس، درمان ترپانوزومیازیس، آمیبیازیس، بیماری خواب	پزشکی *
سلولهای خورشیدی، وسایل اپتوالکترونیک، کاربردهای نیمه رسانا، دیودهای ساتع کننده نور، ساعت‌های دیجیتال	الکترونیک
شیشه آلات، الکتروفتوگرافی، کاتالیست ها، پیروتکنیک ها، رنگهای ضد زنگ، رنگها، صابونها، سرامیکها، مواد دارویی	صنعت
آلیاژها (لحیم کاری بدنه ماشین و رادیاتورها)، صفحات باتری (عامل سخت ساز)	متالورژی

\* در بعضی از کشورهای در حال توسعه هنوز آرسنیک در مصارف پزشکی استفاده می شود.

### غلظت آرسنیک در آبهای زیرزمینی

غلظت زمینه آرسنیک در آبهای زیرزمینی در اغلب کشورها کمتر از  $10 \mu\text{g/l}$  بوده و گاهی اساساً خیلی پائین تر است. با این وجود اعداد ارائه شده در نوشته ها دامنه خیلی بزرگتری از کمتر از  $0/5$  تا  $5000 \mu\text{g/l}$  را نشان می دهد. این دامنه گسترده تحت شرایط طبیعی روی داده و آلودگی صنعتی نقشی در آن ندارد. غلظتهای بالای آرسنیک در آبهای زیرزمینی در محیطهای مختلفی یافت می شود. این محیطها شامل محیطهای اکسید کننده ( تحت شرایط pH بالا) و سفره های آب احیاء کننده و نیز در نواحی متاثر شده توسط ژئوترمال ، فعالیت معدنی و صنعتی است. عمل تبخیر نیز قادر است غلظت آرسنیک را بطور اساسی افزایش دهد. بر اساس شواهد موجود اغلب آبهای زیرزمینی حاوی آرسنیک بالا



نتیجه حضور طبیعی آرسنیک است. هر چند موارد آلودگی ناشی از معادن که در مقالات ارائه شده بیشمار است اما مشکل مربوط به آنها محلی است. موارد صنعتی آلودگی آرسنیک مشتمل بر کشاورزی ممکن است بصورت محلی باشد اما به ندرت روی می دهد [Smedley,2001].

### مواجهه انسانها با آرسنیک

انسانها از راههای گوناگون می توانند در معرض مواجهه با آرسنیک قرار گیرند. آبهای حاصل از چاههایی که در لایه های زمین غنی از آرسنیک حفر شده اند، چاههای آلوده شده توسط زائدات صنعتی یا کشاورزی، گرد و غبار و میست های آلوده، غذاهای آلوده شده با آفت کشتهای آرسنیک یا رویش یافته با آب آلوده به آرسنیک یا خاک غنی از آرسنیک می توانند انسانها را در مواجهه با آرسنیک قرار دهند. سرانه دریافت روزانه آرسنیک کل معمولاً کمتر از  $200 \mu\text{g}$  است که در این بین مقدار آرسنیک غیر آلی دریافتی معمولاً از  $60 \mu\text{g}$  متجاوز نمی باشد [Mortan et al,1994]. برای اغلب مردم ترکیبات غذایی منبع دریافت آرسنیک بوده و مقادیر کمتری از آب و هوا دریافت می شود. بعضی از ماهیها و صدفهای خوراکی حاوی مقادیر بالای آرسنیک هستند که غالباً از نوع آلی بوده و سمیت کمتری دارند. بر اساس بررسیهای به عمل آمده مواجهه متوسط معمولاً در بین مردمی دیده می شود که در ناحیه زندگی آنها آب آشامیدنی به دلیل انباشتهای طبیعی معدنی یا آلودگی حاصل از فعالیتهای انسانی، دارای سطح بالایی از آرسنیک غیر آلی است. همچنین در میان کارگران و ساکنین نزدیک کارخانجات ذوب مس و دیگر فلزات، در میان اشخاصی که در تولید آفت کشتهای حاوی آرسنیک فعالیت می کنند، و یا در میان بیمارانی که با آرسنیک غیر آلی (از جمله محلول Fowler که حاوی ۱٪ آرسنیت پتاسیم است) جهت بیماریهایی مانند آسم یا psoriasis درمان می شوند نیز مواجهه با سطح متوسط آرسنیک دیده می شود [Chen et al,1994].

آرسنیک در منابع آب می تواند به شکل غیر آلی و به دو صورت ۳ ظرفیتی (آرسنیت) و ۵ ظرفیتی (آرسنات) حضور داشته باشد که بر اساس مطالعات به عمل آمده نوع غیر آلی آرسنیک بویژه تری اکسید آرسنیک خاصیت سمیت زائی بسیار قوی تری نسبت به آرسنیک آلی، منو متیل آرسنیک اسید و دی متیل آرسنیک اسید دارد و از اینرو انتقال آرسنیک از طریق مسیر آب نسبت به سایر مسیرها مانند غذا، تنفس و جذب پوستی اهمیت بیشتری می یابد و جذب آرسنیک از طریق غذا بیشتر مربوط به مصرف غذاهای دریایی است. براساس شواهد کافی برای سرطانزایی در انسانها و شواهد محدود در حیوانات، ترکیبات غیرآلی آرسنیک توسط IARC<sup>7</sup> در گروه یک (سرطانزا برای انسان) طبقه بندی می شوند. مطالعات اپیدمیولوژیکی انجام شده در چندین کشور از جمله تایوان، مکزیک، شیلی، مجارستان، انگلستان، ژاپن، هند، بنگلادش و آرژانتین شیوع فزاینده سرطان پوست را در جمعیت مواجهه با آرسنیک از آب آشامیدنی گزارش کرده اند. در تعدادی از این مطالعات میان دریافت آرسنیک غیر آلی و مرگ و میر افزایش یافته ناشی از سرطانهای داخلی مانند کبد، مثانه، کلیه و شش، ارتباطهای روشنی بدست آمده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده در گزارش سال ۱۹۹۹ NRC<sup>8</sup> ایالات متحده، شواهد کافی دال بر دریافت آرسنیک از طریق آب آشامیدنی و ایجاد سرطانهای مثانه، پوست و شش وجود دارد. طبق مطالعات اپیدمیولوژیکی به عمل آمده در جنوبغربی تایوان یک رابطه دز- پاسخ بین سرطانهای داخلی و مواجهه با آرسنیک از طریق آب آشامیدنی وجود دارد. مواجهه با آرسنیک غیر آلی همچنین دارای عوارض غیر سرطانی است. تغییرات پوستی شامل تغییرات در رنگدانه های پوست، شاخی شدن پوست (HyperKeratosi) و ایجاد زخم، اختلال سمی اعصاب محیطی (Peripheral neurotoxicity) همانند احساس خارش و سوزش و فقدان

<sup>7</sup> International Association of Research on Cancer

<sup>8</sup> National Research Council

احساس در بازوها و ساق پا، آسیب عصب شنوایی، اثرات قلبی عروقی محیطی، گواتر، اثرات مجرای گوارش و کبد، مسمومیت توسعه یابنده و دیابت در سطوح مختلف، در گستره تماسهای گزارش شده در مطالعات اپیدمیولوژیکی مشاهده شده است.

علائم مواجهه با آرسنیک شامل تغییرات پوستی مانند تغییر در رنگدانه های پوست ( هایپرپیگمانتاسیون و هیپو پیگمانتاسیون ) ، هایپرکراتوزیس و ایجاد زخم است. بیماری پای سیاه که یک بیماری عروق محیطی منجر به نکروزیس در بافت است، در جوامع مصرف کننده آب آلوده به آرسنیک در تایوان و هند مشاهده شده است.

### کادمیوم «Cd»

دارای وزن اتمی ۱۲/۴، نقطه جوش  $767^{\circ}\text{C}$  و نقطه ذوب  $321^{\circ}\text{C}$  می باشد. ترکیبات معدنی کادمیوم در مقادیر ناچیز بطور یکنواخت در پوسته زمین توزیع شده است. مهمترین ماده معدنی این فلز گرینوکایت<sup>۹</sup> است (سولفور کادمیوم)، که ۷۷/۸٪ کادمیوم است و به صورت پوششی روی سنگهای سولفور روی<sup>۱۰</sup> یافت می شود.

کادمیوم در خاک، آب و مواد غذایی به مقادیر مختلف موجود است، به هیچ وجه یک عنصر ضروری جهت انجام فعل و انفعالات زیستی در انسان نیست. این فلز از طریق فعالیتهایی چون حفاری معدن، صنایع فلزی، صنایع شیمیایی، آب فلزکاری، کودهای سوپر فسفات و آفت کش های حاوی کادمیوم، تولید برخی از آلیاژهای فلزی، باطری سازی و غیره به محیط زیست وارد می شود. بطور معمول یک محصول جنبی در استخراج روی می باشد، در فلز روی به شکل ناخالصی یافت می شود و می تواند در اثر خوردگی لوله های گالوانیزه آب وارد آب مصرفی گردد.

9) Gernochite  
10) Sphalerite

مهمترین مصرف کادمیم « حدود ۵۰٪ » در آبکاری<sup>۱۱</sup> می باشد و سپس در آلیاژهای حاوی کادمیوم است. این آلیاژها بر دو نوعند: آلیاژ کادمیوم و نیکل به نسبت ۹۸/۶۵ و ۱/۳۵ درصد و دومی کادمیوم، نقره، و مس که در آن نقره از ۰/۲ تا ۰/۲/۲۵ و مس از ۰/۲۵ تا ۲ درصد متغیر بوده و بقیه آلیاژ از کادمیوم است، لحیم های حاوی کادمیوم که همراه فلزاتی مثل سرب، مس، قلع، روی و نقره بکار می رود مصرف بعدی این فلز است. مصرف مهم دیگر آن استعمال آن در باتریهای نیکل - کادمیوم است که در هواپیمائی ملی و نظامی، موشکهای هدایت شونده، واگن های سردخانه، راه آهن ها و غیره مصرف دارند.

آبکاری با کادمیوم در قسمتهایی از موتور هواپیما، اتومبیل، رادیو، تلویزیون و غیره انجام می شود. کادمیوم فلزی و همچنین نیترات کادمیوم<sup>۱۲</sup> در راکتورهای اتمی مصرف دارد، سولفور کادمیوم و سولفور کادمیوم - سیلنوم<sup>۱۳</sup> به عنوان ماده رنگی « پیگمان » و برموریدور کادمیوم<sup>۱۴</sup> در عکاسی مصرف دارد. همچنین دی اتیل کادمیوم در روشهای جدید گاهاً بجای تترا اتیل سرب بکار می رود.

افزایش کادمیوم در خاک به افزایش جذب آن از طریق گیاهان منجر می شود که متعاقب آن آلودگی توسط مصرف کنندگان است. جذب توسط گیاهان در pH پائین صورت می گیرد بنابراین بارانهای اسیدی می تواند بطور غیر مستقیم در افزایش کادمیوم در رژیم غذایی موثر باشد. در برخی از کشورها بکارگیری کودهای فسفات و فروریزه های جوی منبع مهم ورود کادمیوم به خاک محسوب می شود. برخی از گونه های دریایی نظیر صدفها، سخت پوستان، قادرند این فلز را به مقادیر زیادی در خود متجمع سازند، عمده ترین طریق تماس با کادمیوم در افراد غیر سیگاری مواد غذایی می باشد. در مناطق آلوده جذب کادمیوم از طریق مواد غذایی ممکن است به چند میکروگرم برسد.

11) Electroplating

12) Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

13) CdSeS

14) CdI<sub>2</sub>, CdBr<sub>2</sub>

کادمیوم بوسیله رشد گیاهان از زمین جذب شده علاوه بر میوه در برگ آنها نیز جمع می شود که یک ماده غیر ضروری برای گیاهان است. مصرف گیاهانی که از طریق آبیاری یا آبهای آلوده کادمیوم در خود ذخیره نموده اند، یا گوشت حیواناتی که از چراگاههای آلوده تغذیه کرده اند بخصوص کلیه و کبد آنها باعث ورود کادمیوم به بدن می شود. در بیشتر مواد غذایی مقادیر کادمیوم کمتر از  $0.1 \text{ mg/kg}$  می باشد.

اندازه گیری کادمیوم در محصولات که آبهای آلوده به کادمیوم آبیاری شده اند نشان می دهد که در کاهو  $1/8 \text{ mg/kg}$  در اسفناج  $0/83 \text{ mg/kg}$  در سیب زمینی  $0/67 \text{ mg/kg}$  و در بیشتر محصولات دانه ای  $0/25 \text{ mg/kg}$  موجود است که می تواند مستقیماً وارد بدن مصرف کننده این محصولات گردد. کادمیوم با ورود به بدن آبزیانی مثل ماهی به چند برابر مقدار اولیه تلغیظ شده و مصرف این ماهیها توسط انسان باعث ورود مقدار زیادی کادمیوم به بدن خواهد شد.

### کادمیوم در آب

کادمیوم در آبهای طبیعی یافت می شود و غلظت آن در آب دریا  $0/06 \text{ mg/L}$  -  $0/03$  متغیر است، در خاک به میزان  $0/01 - 0/7 \text{ ppm}$  وجود دارد. میزان حلالیت کادمیوم در آب بسته به طبیعت منبع کادمیوم و میزان اسیدیته آب متغیر است آبهای سطحی و زیرزمینی که بیش از چند میکروگرم در لیتر کادمیوم دارند ممکن است با خالی شدن زباله های صنعتی در آنها و نشت شیرابه محل دفع زباله و یا از خاکی که فاضلاب و لجن به آن اضافه شده آلوده شده باشند. آب آشامیدنی بطور طبیعی کمتر از  $1 \text{ mg/L}$  کادمیوم دارد، در موارد نادری تا  $5 \text{ mg/L}$  هم گزارش شده است. در برخی مناطق ممکن است آب سبک دارای میزان بالاتری از کادمیوم باشد که این میزان با نرمی آب و  $\text{pH}$  آن ارتباط دارد، اما این مقدار هم تمایل بسیاری به تباه شدن در سیستم های لوله کشی دارد.

بررسی انجام شده توسط NIPDWR<sup>15</sup> در ایالات متحده در نوامبر ۱۹۸۵ بر روی نمونه های ۲۵ منبع آب آشامیدنی همگانی سطح کادمیوم را بیش از ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر نشان داد. در بررسیهای فدرال در سال ۸۰-۱۹۶۹ متوسط غلظت کادمیوم در ۷۰۷ منبع آب زیرزمینی ۳ mg/L و در ۱۱۷ منبع آب سطحی ۳/۲ mg/L بیان شد. مدارک موجود دال بر سرطانزایی کادمیوم در بدن انسان بسیار ضعیف است. USEPA<sup>16</sup> کادمیوم را بعنوان یک ماده احتمالی سرطانزای انسان (گروه B) بر اساس مثبت بودن آزمون سرطانزایی، طبقه بندی کرد، با این وجود قانونگذاری در مورد کادمیوم بر اساس اثرات کلیوی است، چون سرطانزایی از طریق استنشاق رخ می دهد. مقادیر MCLG<sup>17</sup> و MCL<sup>18</sup> پیشنهادی برای کادمیوم ۰/۰۰۵ میلی گرم در لیتر است.

#### جدول ۷- میزان جذب کادمیوم از طرق مختلف در یک هفته

میزان تراکم کادمیوم آب در آب	هوا	غذا	جمع کل	% سهم کامل
۱ mg/L	۰/۱	۸/۴	۹/۳	۹
۵mg/L	۴/۲	۸/۴	۱۲/۷	۳۳

#### متابولیسم و اثرات

کادمیوم بخوبی از طریق سیستم گوارشی و همچنین ریه ها جذب شده و وارد خون می گردد و در برخی از قسمتهای بدن مجتمع می شود. کبد، کلیه هر دو کادمیوم را به خود مجتمع می سازند (۵۰٪) کادمیوم به مقدار زیادی به پروتئین هایی با جرم مولکولی نسبتاً کم متصل می شود. دارای نیمه عمر بیولوژیکی

15) National Interim Primary Drinking Water Regulation

16) United State Environmental Protection Agency.

17) Maximum Contaminant Level Goal

18) Maximum Contaminant Level

طولانی حدود ۱۳-۳۸ سال بوده و با افزایش سن مقادیرش در بدن افزایش می یابد. جفت بعنوان یک سد خوب و کارآمد عمل می کند بیشترین دفع از طریق ادرار صورت می گیرد. کادمیوم در بدن در برهم کنش با سایر فلزات بویژه روی قرار می گیرد و قادر است توزیع نسبی روی در بدن را دستخوش تغییر کند، میزان دوز کشنده آن تا چند صد میلی گرم برآورده شده است، با این حال بلع مقادیر اندک آن در حدود ۱۰ میلی گرم باعث بروز علائم مسمومیت می شود. در مسمومیت حاد با کادمیوم علائمی چون حالت تهوع، اسهال، سردرد شدید، دردهای عضلانی، افزایش ترشحات بزاق، دردهای شکمی، شوک، آسیب کبدی و از کار افتادن کلیه دیده می شود. در مسمومیت با کادمیوم از طریق تنفسی عوارضی چون برونشیت، آمفیوزم، آنمی و ایجاد سنگ کلیه گزارش شده است. افزایش کلسیم در ادرار و سنگ کلیه از عوارضی است که در صورت مسمومیت مزمن با کادمیوم می تواند آید. تماس با مقادیر زیاد کادمیوم به همراه سوء تغذیه ممکن است منجر به نرمی استخوان در فرد گردد، میزان متوسط جذب کادمیوم در مناطقی که هنوز آلودگی چندانی پیدا نکرده اند در حدود  $4-10 \mu\text{g/d}$  و در مناطقی که آلودگیهای صنعتی زیاد دارند این مقدار به چند صد میکروگرم نیز بالغ می گردد. اثرات حاد در جاهائی مشاهده شده است که غذا با کادمیوم حاصل از ظروف غذائی روکش دار تماس داشته باشد که در نتیجه آن ضررهای معده ای و روده ای جدی گزارش شده است.

یکی از رویدادهای مهم در خصوص آلودگی محیط زیست به کادمیوم موردی است که در شهر تویامای ژاپن اتفاق افتاد. کادمیوم منتشر شده به محیط از فعالیتهای یک معدن ناشی می شد که آبهای مورد استفاده در مزارع برنج به شدت آلوده شد، تماس افراد مبتلا از طریق مصرف برنج آلوده بود که منجر به بروز بیماری Itai- Itai در این منطقه گردید. از علائم این بیماری درد در ناحیه کمر و درد عضلانی پاها می باشد، در مراحل بعدی تغییر شکل استخوانها پدید

می آید، کاهش وزن، پیدایش پروتئین در ادرار و آب سیاه (Glocoma) نیز از عوارض دیگر این بیماری دردناک است. در مرحله پیشرفته شکستگی استخوان حتی با فشار اندکی اتفاق می افتد ضایعات جبران ناپذیر کلیوی در اغلب افرادی که بشدت در معرض کادمیوم قرار گرفته اند بویژه در زنهای مسن مشاهده شده است.

### سرب «Pb»

سرب در زمره فلزات سنگین بوده و در جدول تناوبی عناصر در محدوده ای بنام جزیره سمی واقع گردیده است نقطه ذوب  $327^{\circ}\text{C}$  نقطه جوش  $1620^{\circ}\text{C}$ ، قابلیت تورق و چکش خواری و مقاوم در برابر است، بخوبی در اسیدنیتريك حل می شود و نیز تا حدودی در اسیدهای آلی مانند اسید استیک و اسیدهای موجود در اغذیه قابل حل شدن است. همچنین سرب بواسطه وجود نیتراستها، املاح آمونیوم و گازکربنیک محلول می تواند از لوله های سربی در آب حل شود ولی وجود کربناتهای سنگهای آهکی و گچ عمل فوق را متوقف می نماید.

سرب یکی از اجزاء موجود در پوسته زمین با مقدار تقریبی حدود  $16\text{ mg/kg}$  می باشد. مهمترین سنگ معدن سرب که مقدار بیشتری از این فلز را دارا می باشد گالنا ۱۹ می باشد که سولفور سرب ۲۰ است و سهم اعظم سرب تجارتي از آن استخراج می شود. پس از آهن دومین فلز مورد مصرف انسان است، آلودگی ناشی از سرب در اثر فرآیندهای ذوب و گداخت، استخراج معدن و فعالیتهای دیگر بوجود می آید سرب در هوا، آب، خاک و نزولات جوی و گیاهان به مقدار جزئی وجود دارد. در طبیعت و محیط زیست بیشتر به صورت معدنی یافت می شود. بصورت آلی نیز در اثر استفاده از بنزین سرب دار و انجام فرآیند آلکیلاسیون وجود دارد که باعث بوجود آمدن ترکیبات متیل سرب می شود.

<sup>19</sup> -Galena

<sup>20</sup> - PbS



سرب در بسیاری از فعالیتهای صنعتی نظیر مهمات سازی، ریخته گری ها، ساخت لوله ها، مخزنهای آب، در صنایع شیمیائی برای اطاقهای سربی تهیه اسیدسولفوریک، باطری سازی، حروف چاپ، تهیه آلیاژهای مختلف، رنگسازی، بلورسازی، کوزه گری، سرامیک و کاشی سازی، در ساخت لاستیکها حاوی لیتارژ، ساخت حشره کش ها خصوصاً بصورت ارسنات سرب، در ساخت بعضی از انواع پلاستیک مصرف دارد.

بطور خلاصه فرمول املاح صنعتی سرب و مصارف آن به شرح زیر است:

- فلز سرب که بصورت آلیاژ با آنتی موان قلع و مس همراه است.
- لیتارژ که در ساخت باطریهای خشک مصرف دارد.
- اکسید پلمبیک یا سرب قرمز<sup>۲۱</sup> (سرنج) که در باطری و رنگسازی مصرف می شود.
- بی اکسید سرب<sup>۲۲</sup> که در صنایع شیمیایی بکار می رود.
- بی کربنات سرب یا هیدروکربنات سرب بنام سرب سفید<sup>۲۳</sup> که در رنگسازی مصرف دارد.
- سولفات سرب<sup>۲۴</sup> - پیگمان رنگسازی
- تیتانات سرب<sup>۲۵</sup> - پیگمان رنگسازی
- استات سرب<sup>۲۶</sup> ( شکر سرب) که مهمترین ملح سرب در آب است.
- ارسنات سرب<sup>۲۷</sup> - بعنوان حشره کش استعمال می شود.
- کلرور سرب<sup>۲۸</sup>، اغلب موقع استعمال فلوکس<sup>۲۹</sup>، یا ماده گدازنده در اثر حرارت دادن سرب ایجاد می شود.

<sup>21</sup> -  $Pb_3O_4$

<sup>22</sup> -  $PbO_2$

<sup>23</sup> -  $2PbCO_3, Pb(OH)_2$

<sup>24</sup> -  $PbSO_4$

<sup>25</sup> -  $PbO_3Ti$

<sup>26</sup> -  $Pb(C_2H_3O_2)_2$

<sup>27</sup> -  $Pb_3(AsO_4)_2$

<sup>28</sup> -  $PbCl_2$

- سیلیکات سرب<sup>۳۰</sup>، در لعابهای شیشه ای و شیشه سازی وجود دارد.
- کرومات سرب<sup>۳۱</sup>، بعنوان پیگمان زرد و سبز مصرف می شود.
- بورات سرب<sup>۳۲</sup>، در بعضی از صنایع پلاستیک سازی بکار می رود.
- سولفور سرب، در طبیعت بنام گالن که سنگ معدنی سرب است یافت می شود.
- تترااتیل سرب، در بنزین بعنوان ماده بالابرنده درجه اکتان مصرف می شود.

بعضی از آلیاژهای معمولی حاوی سرب عبارتند از:

لحیم، آلیاژی از سرب و قلع است، مقدار سرب آن ۵۰-۸۰٪ است.  
تایپ متال، که از سرب (۶۰-۹۰٪)، قلع و آنتیموان تشکیل شده است.  
یاتاقان که آلیاژی از مس، روی و سرب (۱۵-۲۰٪) است.

### راههای ورود سرب به محیط زیست

اصولاً سرب از طریق کاربرد ترکیبات فوق الذکر در فعالیتهای صنعتی و کشاورزی، عبور آبهای اسیدی از مجاورت سنگ گالن، خوردگی لوله های سربی، لحیم ها خصوصاً در مناطق با آب سبک، ته نشست یا شسته شدن سرب هوا توسط نزولات جوی، تخلیه پسابهای صنعتی حاوی سرب به منابع آبهای سطحی و زیرزمینی وارد آب آشامیدنی می شود. میزان سرب در آبهای دریاچه ها و رودخانه ها بطور طبیعی در گستره ۱-۱۰ μg/L تعیین شده است. پژوهشهای فدرال میزان سرب را در ۵۳۹ مورد از ۷۰۶ منبع آب زیرزمینی مورد استفاده شرب بدست آوردند که غلظت آن بین ۵ تا ۱۸۲ میکروگرم در لیتر متغیر بوده و غلظت متوسط آن ۱۳ میکروگرم در لیتر بود. پژوهش مشابهی میزان سرب را در ۱۰۰ مورد از ۱۱۹ منبع آب سطحی با غلظت متوسط ۱۴ میکروگرم در لیتر و

<sup>29</sup> - Flux

<sup>30</sup> -  $\text{pbsio}_3$

<sup>31</sup> -  $\text{pbCro}_4$

<sup>32</sup> -  $\text{pb(BO}_2)_2$

بین ۵-۳۲/۵ میکروگرم در لیتر نشان داده است. مقادیر زیاد سرب در شبکه های آبرسانی به دلیل پائین بودن pH و سختی و باقی ماندن آب به مدت زیاد در داخل شبکه و ورود سرب از طریق پوشش ها و جوشکاریهای موجود در لوله هاست.

مقدار سرب در هوا در شرایط طبیعی کمتر از  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. در شهرهای با ترافیک بالا و یا شهرهای صنعتی حدود  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  وجود دارد، عمده منبع آن سوخت های بنزینی است. به هر گالن بنزین ۴ گرم تترا اتیل سرب و تترا متیل سرب با هم اضافه می شود. خاک سرب را یا از طریق آب دریافت می نماید یا از طریق ذرات معلق ته نشین شده هواست که در گل و لای به شکل ترکیبات غیر محلول و غیر فعال در می آیند ولی در خاکهای بسیار اسیدی سرب بصورت محلول در آمده وارد آبها می شود. چون ترکیبات سرب در خاک بصورت نامحلول در می آید لذا از طریق ریشه گیاهان کمتر جذب می شوند.

### راههای ورود سرب به بدن

دستگاه گوارش: از طریق مواد غذایی و نوشیدنی ها وارد دستگاه گوارش شده و تحت تاثیر شیره معده و روده به شکل کلرور مضاعف سرب و سدیم درآمده و با انجام تغییراتی سرانجام جذب خون می شود. عوامل موثر در جذب آن کمبود کلسیم و فسفر بدن است. البته جذب از راه معده و روده بسیار کم است و تقریباً کلیه سربی که از این دو راه وارد بدن می شود از راه مدفوع دفع می شود. در واقع کمتر از ۱۰٪ مقدار سربی که وارد بدن می شود به نسوج، خون، مایعات و ترشحات بدن می رسد. میزان جذب توسط کودکان بیشتر است.

دستگاه تنفس: بصورت ذرات و آئروسول آمیخته به گردوغبار وارد ریه ها شده و مقدار آن بستگی به میزان آلودگی، اندازه ذرات، میزان تنفس شخص و حالت های فیزیولوژیکی وی دارد. ۱۵-۴۰٪ سرب ورودی به ریه ها به حبابچه های ریوی رسیده و جذب می شود.

پوست و مخاط: جذب سرب معدنی از راه پوست سالم قابل ملاحظه نیست ولی استات و اولئات سرب از راه پوست می تواند به مقادیر قابل ملاحظه های جذب شوند، طبق برخی نظریات املاح سرب با اسیدهای چرب پوست سالم صابونی شده و جذب می شود. این عمل بیشتر در محل فرورفتگی موها روی میدهد.

### متابولیسم و اثرات

متابولیسم سرب تقریباً مشابه کلسیم بوده مخصوصاً از نظر ذخیره شدن و جابجا شدن در استخوانها با آن شباهت دارد. سرب جذب شده در خون از راههای ذکر شده سرانجام به کبد رفته بخشی از آن وارد صفرا و مدفوع شده و دفع می شود. بخش دیگر تحت اثر ضد سمی کبد به شکل فسفات با اکوفسفات لامبیک نامحلول در می آید، اگر میزان جذب بالا باشد مقداری از سرب دوباره به شکل فسفات پلاسیک کلوئیدی وارد خون شده و به تمام بدن می رسد. ۹٪ سرب جذب شده در گلوبولهای قرمز و بقیه در سایر عناصر خونی حتی پلاسما جذب می شود. دیگر اندامهای مهم تجمع سرب غیر از استخوان کبد و کلیه ها می باشد. نیمه عمر سرب در خون ۲-۴ هفته، در بافتهای نرم ۴ هفته و در استخوان ۲۷/۵ سال می باشد. سرب قابلیت عبور از جفت را نیز دارد و از این طریق به جنین منتقل می شود. راههای دفع آن از بدن ادار، مدفوع، عرق، مو و ناخن می باشد.

سرب در مقادیر بالا بعنوان یک سم متابولیک شناخته شده است، برخی از علائم مسمومیت با سرب (ساتورنیسم ۳۳) خستگی شدید، رخوت، ناراحتی های خفیف شکمی، کم خونی و در کودکان تغییرات رفتاری است. سرب در مقادیر کم نیز می تواند فعالیت آنزیم پورفوبیلینوژن سنتتاز را کاهش دهد، این آنزیم در ساختن هم لازم برای تشکیل گلوبولهای قرمز خون دخیل است. لذا کاهش این آنزیم یک شاخص تماس با سرب است، از طرفی بدلیل تماس سرب در اتصال به

میتوکندری سلول مزاحمتهائی در رابطه با تنفس سلولی و تولید انرژی بوجود خواهد آمد. یکی از علائم مشخص مسمومیت با سرب وجود دو ترکیب کوپروپورفیرین ۳۴ و هموگلوبین دلتا آمینولولونیک اسید ۳۵ در ادرار افراد مسموم است. در عکس برداری با اشعه X بر روی استخوانهای بلند خطوط افقی بصورت تیره رنگ دیده می شود. مقادیر بالای سرب در خون کودکان عقب مانده ذهنی بیش از  $400 \mu\text{g}$  گزارش شده است.

در برخی از مطالعات تخریب کروموزومی در افرادی که مقادیر سرب خون آنها در گستره  $1000-100 \mu\text{g}$  بوده مشاهده گردیده است، اختلال در تولید و تکثیر، صدمات کلیوی (سندرم هالکونی)، دخالت در متابولیسم ویتامین D، کاهش درک و شعور، آنسفالوپاتی، بالا رفتن فشار خون و ایجاد فشار مغزی، تغییرات مغز استخوان، نوریت های سطحی (لدپلازی) یا فلج شدن عضلات دست و پا و ایجاد حاشیه بورتون ۳۶ یا خط آبی از عوارض مسمومیت با سرب است. (حاشیه بورتون رسوباتی به رنگ آبی تیره یا متمایل به خاکستری است که در روی لثه ها بصورت خطی دیده می شود). در موارد مسمومیت شدید با سرب که در بدن ذخیره شده باشد کمپلکس کلسیم EDTA بنام کلسیم دی سدیم ورسنات تجزیه می شود و بدین وسیله مانع از برداشته شدن کلسیم تا آن مقداری که سبب هیپوکالسمی شود می گردد.

از آنجائیکه سرب یک عنصر ضروری برای فعل و انفعالات زیستی بدن محسوب نمی شود لذا توصیه عمومی بر این است که مقادیر آن تا حد امکان در بدن پائین نگه داشته شود. بخاطر اینکه بعضی از ترکیبات سرب منجر به ایجاد

تومورهای کلیوی در موشها شده اند USEPA<sup>۳۷</sup> سرب را در گروه B2 سرطانزای انسان قرار داده است. طبق مقررات موقت اولیه برای آب آشامیدنی

<sup>34</sup> - Coproporphyrinuria

<sup>35</sup> - Delta- Amino- Levulonic Acid

<sup>36</sup> - Burtonian or Blue

<sup>37</sup> United State Environment Protection Agency

MCL برای سرب  $50 \mu\text{g/L}$  است. MCLG برابر صفر در نظر گرفته شده است. طبق نظر سازمان بهداشت جهانی میزان دریافت سرب برای یک فرد بالغ بسته به شرایط زیست محیطی متفاوت است و در مناطق شهری حدود  $3 \text{mg/week}$  برآورد می گردد، این درحالی است که نزدیک  $0.8\%$  آن جذب و بقیه دفع می شود.

### کروم «Cr»

کروم در اغلب خاکها و تخته سنگها به مقادیر جزئی یافت می شود. سنگ معدن آن کرومیت ( $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$ ) است که در آن کروم به صورت ۳ ظرفیتی وجود دارد. کروم ۶ ظرفیتی نیز بطور طبیعی یافت می شود ولی مقدار آن بسیار ناچیز است. کروم ۳ بسیار کم محلول می باشد، گرچه پدیده هایی چون هوازدگی، اکسیداسیون، فعل و انفعالات باکتریائی قادر است تا حدودی آنرا بصورت محلول درآورد. ترکیبات زیان آور آن اکسید کروم ( $\text{CrO}_3$ ) و مشتقات محلول آن (کروماتها و بی کروماتها) می باشد. ترکیبات کم ضرر آن کروم فلزی،  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  و ترکیبات کرومیک است.

مقادیر زیاد کروم ۶ ظرفیتی در آبهای پذیرنده و محیط زیست نتیجه تخلیه پسابهای محتوی کروم و زائده های کرومی است. استفاده و کاربرد عمده کروم در تهیه آلیاژهای کروم، آبکاری کروم ترکیبات ضد خوردگی، ساخت ترکیبات کروم، شیشه سازی، تهیه پیگمانها، صنعت نساجی صنایع چاپ و عکاسی و دباغی، صنایع الکترونیک، تهیه مواد منفجره، ساخت کبریت و اجناس لاستیکی می باشد. کروم بدلیل حلالیت کم معمولاً در آبهای طبیعی در مقادیر کمتر از  $9/7 \mu\text{g/L}$  یافت می شود. ولی در رودخانه ها و محیط های آبی که در معرض تخلیه پسابهای تصفیه نشده محتوی کروم هستند، مقادیر بسیار زیاد کروم گزارش شده است، کروم در ترکیبات خود دارای ظرفیت های ۲، ۳، ۶ می باشد، کروم فلزی دارای رنگ آبی متمایل به سفید است که در اثر رطوبت هوا اکسید

نمی شود و حتی در اثر حرارت دادن فقط به مقدار بسیار جزئی اکسید می شود. در محیط گاز کربنیک به اکسید کرومیک ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) اکسید شده و با اسید کلریدریک به کلرور کروم ( $\text{CrCl}_2$ ) تبدیل می گردد.

کروم مستقیماً با ازت، کربن، سیلیسیوم و بور ترکیب می شود. ترکیبات کروم ۲ ظرفیتی خاصیت قلیائی، ۳ ظرفیتی خنثی (آمفوتر) و ۶ ظرفیتی خاصیت اسیدی دارند. یون کرومات در محلولهای اسیدی عامل اکسید کننده قوی است و املاح کروم دو ظرفیتی تقریباً مشابه املاح آهن دو ظرفیتی است، بدین ترتیب املاح سه ظرفیتی کروم معادل املاح آلومینیم خواهد بود، ظرفیت کروم در محیط های آبی به شدت تحت تاثیر pH بوده و گندزداها و مواد آلی قابل احیاء بر روی ظرفیت آن اثر می گذارند.

کروم هم از طریق گوارش و هم از طریق تنفس جذب می شود، میزان جذب آن در هر سیستم و با توجه به ظرفیت کروم متفاوت است. کروم ۳ یک عنصر ضروری برای انسان می باشد و غیر سمی است در حالیکه کروم ۶ در انسان سمیت ایجاد می کند. میزان جذب کروم ۶ از آب آشامیدنی ۹ برابر بیشتر از کروم ۳ است.

کروم در پوست، ماهیچه ها، چربی و بسیاری از بافتهای بدن تجمع می یابد. دفع کروم که عمدتاً از طریق ادرار صورت می گیرد بسیار کند است. کروم ۳ برای متابولیسم گلوکز و چربی و همچنین تهیه آمینواسیدها ضروری به نظر می رسد. و کمبود آن به عدم تحمل گلوکز و اختلالات متابولیکی دیگر منجر می شود. همچنین به نظر می رسد کروم ۳ در پیشگیری از بیماری دیابت و تصلب شراین، نقش داشته باشد.

مشکلات ناشی از کروم در محیط زیست مستقیماً متوجه کروم ۶ ظرفیتی است. به میزان  $10\text{mg/kg}$  وزن بدن به نکرور کبدی، نفریت و مرگ منجر می گردد. مقادیر کم آن نیز باعث ایجاد التهاب در مخاط دستگاه گوارش می شود. در

دوزهای بالا به نظر می رسد که در ایجاد سرطانهای دستگاه گوارشی در انسان دخیل باشد، همچنین شواهد محکمی دال بر اینکه کروم شانس سرطان ریه را در کارگران در معرض تماس افزایش می دهد در دست است. بروز سرطان پروستات و سرطان سینوس آرواره ای در کارگرانی که در صنایع استفاده کننده کروم کار کرده اند، گزارش شده است. از دیگر خاطرات کروم ایجاد در ماتیت های پوستی و ناراحتی های مخاطی غشائی معده می باشد.

مهمترین علامت مسمومیت با کروم، اثر آن بر روی پوست و مخاط می باشد، بدین معنی که در پوست حالتی شبیه سوختگی ایجاد می شود. همچنین مخاط بینی صدمه می بیند و در مسمومیت نسبتاً پیشرفته دیواره میانی سوراخهای بینی زخم و اغلب سوراخ می شود ولی این عوارض بدون درد است.

آبریزش چشم، ورم ملتحمه، هیپاتیت مزمن همراه با حالت تهوع و استفراغ، کاهش اشتها و تورم کبدی از معضلات تماس مکرر حتی با مقادیر کم کروم می باشد. کروماتها و بیکروماتها ایجاد عوارض خونی و بخصوص کم شدن گلبولهای قرمز گذشته و به قسمت گلوبین در هموگلوبین اتصال پیدا می کند. در رابطه با کروم ۶ صدمات ژنتیکی چون آسیب به DNA و اختلال در نوکلئوتیدها گزارش شده است. برخی از مطالعات افزایش سرطان ریه را در کارگران صنایع تهیه پیگمانهای کرومات نشان می دهد.

USEPA کروم را بعنوان سرطانزای انسان (گروه A) طبقه بندی کرده است. گر چه مقادیر MCL پیشنهادی  $0.1 \text{ mg/L}$  برای کل کروم بر اساس اثرات غیر سرطانی می باشد. پژوهشهای فدرال نشان داد که بطور متوسط در آبهای سطحی ۱۰ میکروگرم در لیتر و در آبهای زیرزمینی  $16 \mu\text{g/L}$  کروم وجود دارد. حداکثر مجاز آن در آب آشامیدنی  $0.05 \text{ mg/L}$  تعیین شده است.

## نیکل «Ni»



نیکل به میزان  $10\text{--}1000\ \mu\text{g/g}$  خاک،  $0.0002$  تا  $0.02\ \text{mg/L}$  در آب رودخانه و در حدود  $0.005\ \text{mg/L}$  در آب دریا وجود دارد. سنگهای معدنی نیکل عبارتند از: سولفور بصورت  $(\text{Ni,Fe})_9\text{S}_8$  و دیگری سیلیکات و بالاخره سنگهای آرسنیک نیکل  $(\text{NiAs})$ . در عملیات استخراج نیکل خالص فلزی، ترکیبی بنام نیکل کربونیل  $\text{Ni}(\text{CO})_4$  حاصل می شود که فوق العاده سمی است.

نیکل خالص به عنوان آند در آبکاری وسایل مقاوم به زنگ زدگی، وسایل الکترونیک اوسیلاتورهای مغناطیسی و سکه های پول و غیره به مصرف می رسد. ساخت باتریهای مخصوص نیکل - کادمیوم در سالهای اخیر رواج یافته که قابل شارژ هستند. از نیکل در حدود ۳۰۰۰ نوع آلیاژهای مختلف که مصارف کلی و گوناگون دارند تهیه می شود. آلیاژهای عمده آن عبارتند از: آهن و نیکل برای آلیاژهای فولاد در ماشین آلات سنگین، وسایل ارتباطات، وسایل و دستگاههای الکترونیک و خودروها. آلیاژ نیکل - مس و روی برای ظروف مختلف، جواهرآلات و وسایل تلفن، قطعات لوله کشی و وسایل دقیق مهندسی کاربرد دارد. وجود نیکل در آب آشامیدنی عادی است ولی مقادیر آن بندرت به  $0.1\ \text{mg/L}$  می رسد. ازدیاد آن بخصوص وقتی بطور ناگهانی باشد، دلیل آلودگی با فاضلاب صنعتی است. از راه خوراکی کم جذب می شود و ۷۰٪ مقدار جذب شده از طریق ادرار دفع خواهد شد. نیکل در بدن انسان کمک به فعالیت بعضی آنزیمها می نماید و احتیاج روزانه بدن انسان در حدود  $0.3\ \text{mg}$  می باشد. نیکل فلزی و ملقمه های آن سمی نیست، ولی املاح آن که عموماً سولفات یا کلرور است عوارض سمی متوسطی را سبب می شوند. اثرات حاد در معرض مقادیر زیاد آن بودن شامل کاهش وزن، تغییر در خون و آنزیم و تغییر در گنجایش آهن بدن می باشد.

ترکیبات نیکل از طریق تنفس و تزریق در حیوانات آزمایشگاهی، سرطان زا هستند. بروز سرطان دستگاه تنفسی در کارگران پالایشگاه نیکل زیادتر از

دیگران است. شواهدی مبنی بر اثر سرطانزایی آن در انسان و شواهد کافی در مورد حیوانات وجود دارد. استفاده طولانی از آبیکه با نیکل آلوده شده باشد سبب عوارض کلیوی، گوارشی نظیر التهاب دهان، معده و روده، عوارض عصبی شامل لرزش، تشنج، و فلج، درماتیت و عوارض ریوی خواهد شد.

بخش بررسی منابع آب USEPA، مقدار نیکل را در ۸۶ درصد از ذخایر آب زیرزمینی و ۸۴٪ از مخازن آبهای سطحی حدود  $1\mu\text{g/L}$  تعیین کرد. هیچ MCLG برای آن در آب پیشنهاد نشده است. حد مطلوب آن به میزان غیر قابل تشخیص است. استاندارد آن در پسابها جهت تخلیه به آبهای سطحی  $1\text{mg/L}$  و برای تخلیه به آبهای زیرزمینی و مصارف کشاورزی  $0.2\text{mg/L}$  است.

### مس «Cu»

مس بصور خالص در طبیعت یافت می شود. و همچنین به صورت سنگهای معدنی اکسید، کربنات و سولفور وجود دارد. ترکیبات مهم آن، مس فلزی، سولفات مس، اکسید مس ( $\text{CuO}$ ) و سولفور مس ( $\text{CuS}$ ) می باشد، مس بعلت خاصیت هدایت الکتریسیته ای که دارد در ساخت ابزار و وسایل الکتریکی بکار می رود. این فلز به صورت های مختلف ریخته گری، ورقه، میله، لوله، سیم و غیره به بازار عرضه می شود و در دستگاهها و وسایل شیمیائی، لوازم پخت و پز آشپزخانه، پوشش های سقف، سکه و تهیه تعداد زیادی از ترکیبات مس به مصرف می رسد.

مس در آبهای آشامیدنی معمولاً در مقادیر کم و بطور عمده زیر  $20\mu\text{g/L}$  وجود دارد که از هوازدگی و فرسایش سنگها سرچشمه می گیرد. وضعیت آن در آب بستگی به pH و غلظت کربناتها و سایر آنیونهای محلول در آب دارد. میزان مس بستگی به شرایط جغرافیائی، استقرار صنایع وابسته به مس و مصرف کودهای غیر آلی دارد، میزان مس در کودهای غیر آلی در گستره  $0.05\text{mg/g}$  -  $0.1\text{mg/g}$  در

تغییر است. مخزن عمده آن در منابع آب شرب بر اثر خوردگی لوله های مسی و برنجی و اضافه کردن نمک مس در طول تصفیه به منظور کنترل جلبکها است. پژوهشهای اخیر USEPA در مطالعه بر روی ۸۳ نمونه آب تصفیه شده مقدار مس را کمتر از  $5-200 \mu\text{g/L}$  که بسیار پائین تر از مقدار MCL ( $1 \text{mg/L}$ ) است، نشان داد. البته ممکن است در طی سیستم توزیع بر این مقادیر افزوده شود. مس یکی از عناصر ضروری در متابولیسم مواد در بدن می باشد. نقش ویژه آن در ایجاد اریتروسیت و رشد و نمو استخوان، سیستم اعصاب مرکزی و بافتهای ارتباطی می باشد. کمبود آن منجر به کمبود آهن و ناهنجاری در رشد می شود. دریافت مقادیر زیاد مس از طریق رژیم غذایی باعث ناراحتیهای شدید مخاطی، صدمات وسیع مویرگی، صدمات کلیوی و کبدی و اختلال سیستم اعصاب مرکزی می گردد. ناراحتیهای شدید دستگاه گوارشی و تغییرات نکروتیک در کبد و کلیه نیز ممکن است بوجود آید. در لیست NAS میزان کافی و سالم دریافت مس  $2-3 \text{mg/d}$  آمده است. مازاد بر احتیاج غذایی نیز دفع می شود. به هر صورت مسمومیت مس در رابطه با انسان نادر بوده ولی در رابطه با پستانداران و آبزیان بسیار شدیدتر است.

کاربرد نمکهای مس ایجاد خوردگی نموده و در پوست ایجاد خارش آگزمائی از نوع طاولهای دانه ای «پایولوویسکولر» بنماید که ممکن است بعلت حساسیت باشد. همچنین تماس این مواد با چشم ممکن است ایجاد ورم ملتحمه (کنژکتیویت)، ورم پلک و اولسراسیون و کدورت قرنیه نماید.

نتایج تست های موتاسیون زائی منفی بوده اند. USEPA به دلیل فقدان شواهد کافی قدرت سرطانزائی مس را طبقه بندی نکرد. (گروه D). مقرات و قوانین در مورد مس بعنوان یک آلودگی اولیه پیشنهاد شده است. مقادیر MCLG و MCL پیشنهادی  $1/3 \text{mg/L}$  آب است. USPHS ۳۸، استاندارد مس در آب

<sup>38</sup> - U.S. public Health Service  
سرویس خدمات بهداشتی آمریکا

آشامیدنی را بمقدار  $1 \text{ mg/L}$  تعیین کرده است. استاندارد آن در پسابها جهت تخلیه به آبهای سطحی و زیرزمینی  $1 \text{ mg/L}$  و جهت مصارف کشاورزی و آبیاری  $2/0 \text{ mg/L}$  تعیین گردیده است. حد مطلوب مس در آب آشامیدنی  $0/05 \text{ mg/L}$  است.

### روی «Zn»

روی یک عنصر فراوان در پوسته زمین با مقدار تقریبی  $0/04 \text{ g/kg}$  می باشد. بمقادیر کم تقریباً در تمام صخره های آتشفشانی وجود دارد. «اسفالریت ۳۹» یا سولفور روی ( $\text{ZnS}$ ) عمده ترین سنگ معدنی روی است. روی فلزات بصورت تخته، لوله و یا قطعات و تغلیظ شده آن برای تهیه املاح و پیگمانها و یا بصورت آلیاژ در مصارف گالوانیزه کردن و غیره بکار می رود.

صنعت اتومبیل سازی، صنعت تهیه لوازم الکتریکی، ماشین آلات سبک، لوازم و اثاثیه و اسباب بازیها مقداری روی مصرف می کنند. مقدار زیادی روی در تهیه برنج، فشنگ، خمپاره ها و غیره بکار می رود. روی بصورت ورقه و لوله و غیره در باطری سازی، سرپیچ شیشه ها و بطریها، پوشش سقفها، کشتی سازی دیگهای بخار و غیره مصرف می شود. املاح و پیگمانهای روی که مهمترین آنها عبارتند از اکسید روی ( $\text{ZnO}$ )، لیتوپون  $40 (\text{ZnS} + \text{BaSO}_4)$ ، کلرور روی ( $\text{ZnCl}_2$ ) و سولفات روی ( $\text{ZnCl}_4$ ) مصارف بیشماری دارند که از آن جمله می توان ساخت لوازم و وسایل لاستیکی، رنگ، سرامیک، لوازم آرایش، صنایع نساجی، کاغذ سازی، داروسازی و غیره را ذکر نمود. اکسید زنگ حاوی سرب در تهیه رنگ ها، ورنی و جلا، پارچه های پوشش دار و صنعت پارچه بافی بکار می رود. پودر روی فلزی در ساخت و سنتز مواد بینابینی رنگها بعنوان عامل احیاکننده بکار می رود. سولفات روی در صنعت کود شیمیائی، چسب، رنگ های نساجی، محلولهای الکتروگالوانیزه، تهیه بعضی

<sup>39</sup> - Sphalerite(Zinc Blende)

<sup>40</sup> - Lithopone

از سموم، صنایع شیمیائی و صابون سازی وارد می شود. هیدروسولفیت سدیم و روی در رنگهای متالیک و پوشش محصولات آهنی و فولادی مصرف می گردد. کربناتها، اکسیدها و سولفیدهای روی بسیار کم محلول هستند. از این رو غلظت روی در آبهای طبیعی چندان زیاد نیست. همچنین جذب روی توسط ته نشستها نیز مقادیر روی محلول در محیط های آبی را کاهش می دهد. روی معمولاً در منابع آب آشامیدنی وجود دارد و ممکن است در اثر خوردگی لوله های فلزی و گالوانیزه به آب تصفیه شده اضافه گردد.

روی یک عنصر ضروری برای انجام فعل و انفعالات بیولوژیکی در انسان و حیوان می باشد و در عملکرد بسیاری از سیستمهای آنزیمی نقش تعیین کننده دارد. کمبود روی منجر به ضعف رشد، از دست دادن مزه و کاهش در فعالیت سیستم تولید مثل می شود. احتیاجات بزرگسالان به روی  $15 \text{ mg/d}$  است که آب آشامیدنی  $3\%$  از این مقدار را تامین می کند.

املاح روی دارای طعمی گس و قابض و برای پوست خورنده و در دستگاه گوارش التهاب آور و محرک می باشند. یون روی در حالت عادی بکندی جذب می شود تا ایجاد مسمومیت های حاد نماید، لیکن سمیت مزمن در خصوص روی وجود دارد، گزارش شده است که روی اضافی باعث ضعف ماهیچه ای، درد و تحریک پذیری و تهوع می گردد. عدم توازن در الکترولیتها، از دست رفتن آب بدن، درد در ناحیه شکم، سرگیجه از علائم دیگر مسمومیت است. همچنین از کارافتادگی کلیه در اثر مقادیر زیاد کلرید روی نیز گزارش شده است. عوارض مسمومیت با مقادیر کم روی با منشاء آب بطور استثنائی ذکر شده است ولی مصرف آبی که تقریباً  $40 \text{ mg/L}$  کربنات روی داشته است در کودکان یبوست ایجاد کرده است آبی که روی در آن زیاد باشد طعم نامطبوعی دارد و در موقع جوشیدن بر روی آب لایه ای دیده می شود یا ممکن است شیری رنگ شود. استاندارد بین المللی حد قابل قبول روی را بر اساس مزه  $5 \text{ mg/L}$  و حداکثر غلظت مجاز آنرا  $\text{mg/L}$

۱۵ تعیین نموده است. بر طبق اصلاحات ۴۱ SDWA روی از جمله عنصری است که بایستی از لیست عناصر آلوده کننده حذف شود. چون اطلاعات موجود نشان می دهد که روی در آب آشامیدنی برای بهداشت عمومی خطری در بر ندارد.

---

<sup>41</sup> Safe Drinking Water Act