

# جیوه در صنعت

شناسایی و کاربردها



مرکز سلامت محیط و کار  
اداره عوامل شغلی موثر بر سلامت  
واحد عوامل شیمیایی





به نام خدای بخشنده و مهربان

# کارگاه آموزشی جیوه

➤ محل برگزاری: معاونت بهداشتی استان گیلان

➤ تاریخ برگزاری: ۱۳۹۰/۶/۱۳

➤ مدرس: محمد جواد عصارى (عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی همدان)

مرکز سلامت محیط و کار

متنی که در دست دارید مجموعه ای از مطالب مهم و عملیاتی در ارتباط با ماده مخاطره آمیز جیوه به خصوص در بخش صنعت می باشد. علت تهیه این مجموعه، نگرانی جهانی و ملی در ارتباط با مسئله جیوه و مخاطرات آن برای سلامت انسان می باشد. مشخص شده است که این ماده با وجود خواص بسیار مفیدی که دارد و در صنایع مختلف از آن استفاده های گوناگون می شود اما با این وجود می تواند عامل ناهنجاری های مختلفی به خصوص از نوع عصبی و برگشت ناپذیر در انسان و همچنین بروز مشکلات زیست محیطی متعددی گردد و در نتیجه زندگی انسان و جامعه انسانی را به خطر اندازد. از آنجا که مسئله جیوه هم اکنون به یک نگرانی جهانی تبدیل شده است لذا در راستای این موضوع برنامه زیست محیطی سازمان ملل نیز اولین جلسه اش را در ۷ تا ۱۱ ژوئن برای ممنوعیت جیوه برگزار شده است که هدف آن کنترل جیوه در سطح جهانی می باشد و این نشان دهنده اهمیت موضوع می باشد. از آنجا که کشور ما نیز از جیوه به وفور استفاده می شود در نتیجه منطقی است تا با برنامه ای منظم آن را کنترل کرد. اینک چنین برنامه ای هم اکنون در وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی تهیه شده است و امید است با همکاری سازمانهای مرتبط همچون وزارت صنعت، معدن و تجارت و همچنین سازمان محیط زیست و... این مسئله مرتفع گردد. از آنجا که بخش عمده ای از این برنامه به کنترل جیوه در صنعت می پردازد و از طرفی اولین گام در شناسایی جیوه می باشد و این وظیفه در خط مقدم بر عهده بازرسیین محترم وزارت بهداشت می باشد که باید با توجه به این راهنما در هنگام بازدیدها مسئله جیوه را مدنظر قرار دهند. این راهنما همچنین می تواند برای همه کسانی که به نحوی با جیوه سروکار دارند یا در پی کنترل آن هستند اطلاعات مفید اولیه ای را فراهم آورد. امیدواریم که این تلاش سودمند واقع گردد.

محمد جواد عساری

عضو هیئت علمی گروه بهداشت حرفه  
ای دانشگاه علوم پزشکی همدان

مهدی علی گل

مسئول عوامل شیمیایی  
مرکز سلامت محیط و کار

رشد صنعت و تکنولوژی با وجود رفاهی که برای بشر پدید آورده است اما باعث شده است که مشکلات جدیدی را نیز ایجاد کند. سهم مواد شیمیایی در این مشکلات بسیار قابل ملاحظه است و یکی از این مواد شیمیایی که نقش عمده ای در ایجاد این مشکلات داشته است فلز سمی "جیوه" می باشد. این ماده به علت خواصی همچون چگالی بالا، قابلیت ایجاد ترکیبات متعدد کاربردی و... هم اکنون استفاده از آن بسیار رواج دارد اما از آنجا که در اثر مواجهه با این ماده اثرات نامطلوبی می تواند پدید آید، در نتیجه لازم است تا اقدامات کنترلی لازم نسبت به آن صورت پذیرد. از آنجا که این ماده در کشور عزیز ما ایران استفاده های فراوانی دارد در نتیجه برای کنترل این موضوع نیاز به برنامه ریزی جامعی وجود دارد که بتواند این مسئله را حل کند. خوشبختانه این برنامه هم اکنون از طرف مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی تهیه دیده شده است. از اهداف مهم این برنامه شناسایی کارگاهها و کارخانجاتی است که از جیوه استفاده می کنند. برای نیل به این مقصود متن حاضر می تواند بسیار کمک کننده باشد. در نهایت امیدواریم با تلاش همکاران، بازرسان و نیروهای متخصص و فعال بهداشت حرفه ای در معاونت های بهداشتی استان ها این امر هر چه سریعتر میسر گردد و شاهد کنترل و حذف خطرات جیوه از محیط های کاری باشیم.

دکتر عبدالرحمن بهرامی

معاون فنی بهداشت حرفه ای

## فهرست مطالب

<b>۶</b> .....	<b>کلیات</b>
۶.....	مقدمه:
۸.....	مشخصات جیوه:
۱۰.....	موارد کاربرد صنعتی و غیر صنعتی جیوه:
۱۳.....	تصاویری از مصارف عمده جیوه:
<b>۱۵</b> .....	<b>منابع انتشار جیوه</b>
۱۵.....	الف- سوخت ها، مصرف و تولید انرژی:
۱۵.....	ب-تولید داخلی فلزات و مواد خام:
۱۶.....	پ-تولید داخلی و فرایندکردن به همراه کاربرد عمدی جیوه:
۱۶.....	ت-تصفیه و بازیافت فاضلاب:
۱۶.....	ث-مصرف کلی جیوه در محصولات، به عنوان جیوه فلزی و سایر مواد حاوی جیوه:
۱۷.....	ج-منابع متفرقه کاربرد جیوه در صنعت:
۱۸.....	منابع عمده جیوه در فاضلاب ها و پسماندها:
<b>۱۹</b> .....	<b>جیوه، حفظ محیط زیست و سلامت انسان</b>
۱۹.....	راه های ورود جیوه به محیط زیست:
۲۱.....	کینتیک و متابولیسم جیوه:
۲۳.....	تاثیر جیوه بر سلامتی:
۲۳.....	کلیات:
۲۴.....	نشانه های اولیه مواجهه با جیوه:
۲۴.....	نشانه های ثانویه مواجهه با جیوه:
۲۴.....	گروههای در معرض خطر بیشتر:
۲۵.....	درمان مسمومیت با جیوه:
<b>۲۶</b> .....	<b>کنترل مواجهه با جیوه:</b>
۲۸.....	ارزیابی مواجهه با جیوه:
۲۹.....	مقادیر حدود مجاز جیوه:
۲۹.....	وظایف دولتمردان:
۳۱.....	استراتژی ها:
۳۱.....	فعالیت ها:
<b>۳۳</b> .....	<b>روش های نمونه برداری و تجزیه جیوه:</b>
۳۳.....	الف) روش نمونه برداری و تجزیه جیوه در هوا:
۳۵.....	ب) روش نمونه برداری و تجزیه جیوه در خون:
<b>۳۷</b> .....	<b>منابع:</b>

## کلیات

### مقدمه:



جیوه یک فلز سنگین (عنصری با وزن اتمی ۲۰۰/۵۹ تا ۲۰۰/۵۴ و وزن مخصوص بیش از ۱۴ گرم بر سانتی متر مکعب<sup>۳</sup>) (۱۴gr/cm<sup>۳</sup>) می باشد که در طبیعت به صورت های فلز عنصری (Hg<sup>۰</sup>) و ترکیبات آلی و معدنی با حالات اکسایش یون مرکور (Hg<sup>+</sup>) و یون مرکوریک (Hg<sup>۲+</sup>) توزیع شده است. جیوه فلزی بی بو، با رنگ نقره‌ای سفید و براق، رسانای الکتریسیته، نارسانای گرما و با سنگینی دو برابر آهن است که در طبیعت در فازهای جامد، مایع و گاز وجود داشته، و در دمای معمولی اتاق به صورت مایع است. نام یونانی جیوه هیدراژیروم<sup>۱</sup> به معنی نقره آبگون است، از این رو در علم شیمی، علامت Hg را

برای آن در نظر گرفته‌اند. نام لاتین این فلز، آرژینتوم ویووم<sup>۲</sup> به معنای نقره چابک می باشد تولیدات جهانی جیوه از معادن آفریقا، چین، اسپانیا و قرقیزستان تامین می گردد. جیوه از خطرناک ترین آلاینده های زیست محیطی بوده که بسته به فرم شیمیایی، اثرات سمی شناخته شده ای برای انسان ایجاد می کند. رها شدن جیوه به داخل اتمسفر، حدود ۶۰۰۰ تن در سال ۱۹۸۰ برآورد شده است. این فلز در صنایع شیمیایی (۳۰٪)، الکتریکی، الکترونیکی و باتری سازی (۳۰٪) و ساخت لوازم و دستگاه های اندازه گیری، مصارف دارویی، ساخت دماسنج ها، انواع آفت کش ها، تهیه ملغمه، تولید سود سوزآور و کلر و کلینیک های دندان پزشکی (۴۰٪) کاربرد دارد.

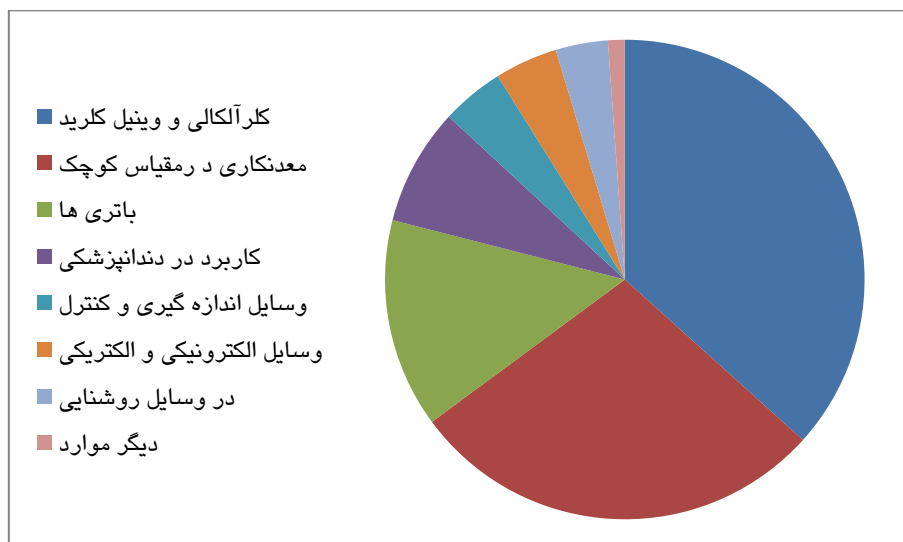
در جدول زیر مصارف جهانی جیوه در بخش های مختلف (سال ۲۰۰۵) آمده است:

کلرآلکالی و وینیل کلرید	۱۱۵۰-۱۵۵۰ تن
معدنکاری در مقیاس کوچک	۸۰۰-۱۱۰۰ تن
باتری ها	۳۰۰ تا ۶۰۰ تن

<sup>۱</sup> Hydrargyrum

<sup>۲</sup> Argentum Vivum

کاربرد در دندانپزشکی	۲۴۰ تا ۳۰۰ تن
وسایل اندازه گیری و کنترل	۱۲۰ تا ۲۵۰ تن
وسایل الکترونیکی و الکتریکی	۱۰۰ تا ۲۵۰ تن
در وسایل روشنایی	۱۰۰ تا ۱۵۰ تن
دیگر موارد	۲۰ تا ۶۰ تن



جیوه به دو شکل کلی وجود دارد: جیوه غیرآلی (عنصری، معدنی) و آلی. مهم ترین شکل جیوه، جیوه غیرآلی است که از طریق فرایندهای طبیعی و به شکل بخار در هوا آزاد می شود. بخارات جیوه عنصری سمی و تقریباً بدون بو هستند. جیوه قابلیت ترکیب با سایر عناصر مثل کلرین، سولفور یا اکسیژن را دارد. علاوه بر آن جیوه در ترکیب با کربن ترکیبات آلی جیوه را تشکیل می دهد.

جیوه غیرآلی برای ساخت گاز کلر و سود سوز آور و نیز در دما سنجهای جیوه ای و پر کننده های دندانپزشکی و نیز در باتریها کاربرد دارد. از نمکهای جیوه گاهی اوقات در تهیه کرمهای ضد آفتاب پوست و کرم های ضد عفونی کننده و پمادها استفاده می شود.

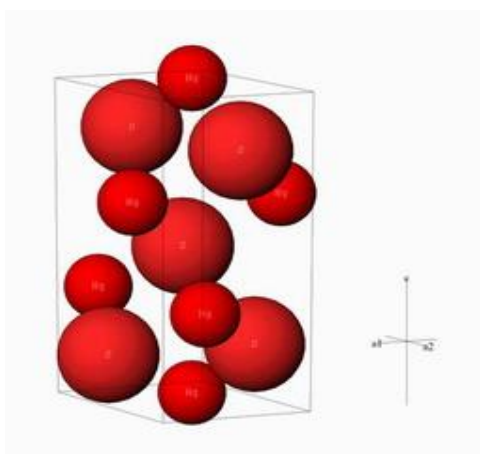
تماس افراد جامعه با جیوه غیرآلی از طریق مصرف ماهی و محصولات دریایی، لامپ های جیوه ای و آمالگام دندان، و در محیط های شغلی عمدتاً از طریق تنفس بخارات و فیوم های جیوه در معادن و کارخانجات و استفاده از دماسنج ها و فشارسنج های جیوه ای است.

جیوه آلی به عنوان آفت کش کاربرد دارد. ترکیبات جیوه آلی یا به صورت آروماتیک اند مثل فنیل مرکوریک استات و فنیل مرکوریک بنزوات یا آلیفاتیک اند مثل فرم های اتیل و متیل کلرید جیوه. ترکیبات جیوه آلی محرک پوست و غشاهای مخاطی اند. بیماری مشهور میناماتا در ژاپن در اثر ترکیبات جیوه آلی به وجود آمد. در حالت هم وزن جیوه آلی ده برابر جیوه آلی سمی است. به طور کلی مواجهه با جیوه می تواند از حمل آن در طی تولید یا استفاده ایجاد گردد.

سنگ معدن جیوه بیش تر به صورت سولفور سرخ رنگ جیوه (HgS) یا سینابار با درجه خلوص ۸۶/۲٪ است که آن را تا حدود ۶۰۰ درجه سانتیگراد در کوره‌های دوار حرارت می‌دهند تا گوگرد آن با اکسیژن ترکیب شده و به صورت ان هیدرید سولفور از محیط خارج شود، آن گاه با سرد کردن بخار جیوه، فلز جیوه به دست می‌آید. غلظت جیوه در اغلب



خاک ها بین ۱۰ - ۶۰ ppb می باشد. کانسارهای این عنصر (به صورت رگه ای)، در کمربندهای کوهزائی بسیار جوان، در سنگ های آتشفشانی و نیز چشمه های آب گرم و بیش تر سنگ های آذرین به وفور وجود دارد. این فلز به آسانی تبخیر شده و به یک گاز بی بو و بی رنگ تبدیل می‌شود. لذا نگاه داری جیوه در ظروف درباز، موجب غلظت قابل توجه آن در هوای محوطه هایی که به خوبی تهویه نمی شوند می گردد. در میان فلزات سنگین، جیوه پایین ترین نقطه جوش را دارا بوده و تنها فلزی است که در درجه حرارت اتاق به صورت مایع می باشد. از این نظر جیوه در میان همه فلزات دارای یک موقعیت ویژه است، به طوری که از زمان های بسیار دور این فلز را خوبی می شناختند. جیوه در شرایط محیطی و بدن به جیوه مرکوریک ( $Hg^{2+}$ ) تبدیل می شود. بخار جیوه در مقادیر جزئی قابل حل در آب است ( $56 \mu g/l$  در  $25^\circ C$ ).



### مشخصات جیوه:

- عدد اتمی: ۸۰
- وزن اتمی: ۲۰۰/۶
- چگالی: ۱۳/۵
- فشار بخار Pa ۰/۲۶ در ۲۰ درجه سانتیگراد
- غیر قابل حل در آب
- نقطه جوش: بالاتر از ۳۵۷ درجه سانتیگراد
- نقطه انجماد: -۳۹ درجه سانتیگراد
- چگالی نسبی بخار نسبت به هوا: ۹۳/۶



## ساختمان سولفید جیوه

جیوه در طبیعت از آزاد شدن گازها از پوسته زمین و اقیانوس بوجود آمده و به شکل بخار در اتمسفر منتشر می‌گردد. این فلز همچنین از سوخت های فسیلی، سوزاندن زغال سنگ و مصارف صنعتی نیز آزاد می‌شود. جیوه به صورت طبیعی، به فرم های مختلفی در محیط وجود داشته که عبارتند از جیوه فلزی، ترکیبات غیرآلی مانند کلرید جیوه، هیدروکسید جیوه، سولفید جیوه و ترکیبات آلی.

یون متیل مرکوری، منومتیل مرکوری و دی متیل مرکوری. جیوه فلزی با عناصر دیگری از قبیل کلرین، سولفور یا اکسیژن ترکیب شده و تشکیل جیوه غیرآلی یا نمک ها را که به صورت پودرهای سفید یا کریستال هستند، می‌دهد. کلرالکالی (CA)، فرایندی است که طی آن از جیوه برای جهت تولید کلرید هیدروژن، هیدروکسید سدیم، سود سوزآور، مواد سفید کننده و محصولات دیگر از الکترولیز نمکها استفاده می‌شود. جیوه همچنین با کربن ترکیب شده و سایر ترکیبات جیوه آلی را می‌سازد که یکی از عمده‌ترین آن ها متیل کوری است، این فلز به راحتی با گوگرد و هالوژن‌ها ترکیب شده و غیر از اسید نیتریک گرم و غلیظ و مخلوط اسید نیتریک و اسید سولفوریک، بر سایر اسیدها بی اثر است. به لحاظ ثابت ماندن ضریب انبساط حرارتی جیوه در محدوده ۳۰۰ - ۰ درجه سانتیگراد، از آن در ساخت دماسنج ها استفاده می‌شود. گابریل فارنهایت میزان الحرارة جیوه ای را در سال ۱۷۱۴ میلادی اختراع نمود که همچنان مورد استفاده می‌باشد. به لحاظ ناچیز بودن ضریب فشردگی جیوه، از آن در ساخت مانومترها استفاده می‌شود.

خاصیت مهم دیگر جیوه قابلیت حل کردن کلیه فلزات به جز آهن و پلاتین و تشکیل ملغمه است، که در دندانپزشکی کاربرد وسیعی دارد. بعد از طبیعت، حضور پرکردگی آمالگام مهم ترین منبع برای مواجهه مستقیم جمعیت های عمومی با جیوه شناخته شده است. ملغمه‌ها اغلب در اثر الکترولیز محصولات فلزی که کاتد آن جیوه می‌باشد، حاصل می‌شوند. باید توجه داشت که جیوه یکی از آلاینده‌های مهم زیست محیطی بوده و در برخی کشورها مانند ژاپن و عراق سابقه ناخوشایندی از خود به جا گذاشته است.

انسان از طریق منابع بسیاری مانند رژیم غذایی، آب، هوا و مواجهه شغلی در معرض جیوه قرار می‌گیرد. در بیش تر افراد، منبع اصلی مواجهه با این فلز، جیوه آلی موجود در غذا است. متیل کوری فرم بسیار سمی جیوه می‌باشد که اغلب به وسیله میکروارگانیسم‌های موجود در آب، خاک و بافت بدن ماهی های خار دار دریایی و تیونا (Tuna) ساخته می‌شود. ماهی های بزرگ نیز تمایل زیادی به خوردن جیوه دارند. مسمومیت از طریق خوردن ماهی های آلوده یکی از بزرگ‌ترین منابع مسمومیت با جیوه برای اکثر مردم می‌باشد. آب های سطحی به طور طبیعی میزان بسیار کمی جیوه دارند که از کاربرد های صنعتی، پزشکی و علمی جیوه و ترکیبات آن ناشی می‌شود. استفاده از قارچ کش هایی که در ترکیب آن ها جیوه به کار رفته، ضایعات آمالگام (مواد پر کننده دندان)، صنایع داروسازی و کاغذ سازی، برخی از روش های استخراج طلا و روی، سوخت های فسیلی مانند بنزین و زغال سنگ، صنایع تولید کننده سود سوزآور و فرآیند تهیه سیمان از دیگر منابع ورود جیوه به اکوسیستم طبیعی به شمار می‌روند.

با توجه به ژئوشیمی، متالوژی و زمین شناسی کانسارهای جیوه، به نظر می‌رسد که پتانسیل های خوبی برای این فلز در ایران وجود داشته باشد. نشانه هائی از وجود جیوه و کانی سینابر در جنوب کاشمر، شمال تکاب، غرب همدان و آذربایجان غربی گزارش شده است. میزان واردات جیوه در ایران از ۶۶۰۰۰ تن

در سال ۱۹۹۸ به ۱۲۲۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۹ افزایش یافته است. مواجهات شغلی با جیوه در ایران عمدتاً در واحدهای کلرالکالی صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه های تولید دماسنج، معادن طلا و کلینیک های دندان پزشکی رخ می دهد.

### موارد کاربرد صنعتی و غیر صنعتی جیوه:

در حال حاضر بیش از ۶۰۰ شغل وجود دارد که با جیوه مواجهه دارند. برخی از این مشاغل عبارتند از: تولید وسایل اندازه گیری (مانند دماسنج ها و فشار سنج ها)، لامپ های الکتریکی، باتری ها (به ویژه باتری های آلکالاین تا قبل از سال ۱۹۹۶)، ترموستات ها، لامپ های فلورسنت و نئون، رنگ های لاتکس قدیمی، آینه ها، دیگ های بخار، اکسیداسیون ترکیبات آلی (به عنوان کاتالیست)، استخراج طلا و نقره از سنگ های معدنی، کاتد در الکترولیز، یک سو کننده های جریان برق، تولید کلر و کاغذ، آمالگام های دندان پزشکی، گریس، رنگ های محافظ چوب، مواد منفجره، فتوگراف ها، حشره کش ها، قارچ کش ها، تولید فولاد، تعمیر دستگاه های هواشناسی، کلیدهای الکتریکی بی صدا، زباله سوزها، آبکاری، چرم سازی، تاکسی درمی، نیروگاه های زغال سوز و گاز سوز، کارهای آزمایشگاهی مرتبط با جیوه، خنک کننده های راکتورهای هسته ای، نقاشی، جواهرسازی و غیره. ویژگی های فیزیکی و شیمیایی، این فلز را جهت مصارف تکنیکی زیر مناسب می سازد:

- تجزیه به روش اسپکتروسکوپی، به دلیل فشار بخار بالا و انتشار از راه تبخیر
- استفاده در دماسنج به علت کشش سطحی زیاد و انبساط حرارتی یکسان
- در ساخت ترموستات، سوئیچ های الکتریکی و الکترودها، به علت هدایت الکتریکی بالا
- در فشارسنج ها، بارومترها و دیگر وسائل کنترلی به دلیل گرمای ویژه و وزن مخصوص بالا
- استفاده در ساخت آمالگام و سایر ملغمه ها

جیوه در صنایع به سه شکل فلز، ترکیبات آلی و ترکیبات معدنی استفاده می شود. ترکیبات آلی جیوه شامل گروه های هیدروکربنی آروماتیک یا آلیفاتیک و ترکیبات معدنی جیوه معمولاً شامل نمک های جیوه نظیر کلریدها یا اکسیدهای جیوه می باشد. از فرم فلزی جیوه در ساخت گاز کلر و سود سوز آور، دما سنج های جیوه ای، پر کننده های دندان پزشکی، مخازن فشارسنج، باتری ها، بعضی از رنگ های پلاستیکی، لامپ های فلورسنت، تهیه کرم های ضد آفتاب و ضد عفونی کننده، انواع پماد و از فرم غیرآلی جیوه در ساخت آفت کش ها، مواد ضد عفونی کننده، باتری های خشک و مواد نگاه دارنده موجود در بعضی ترکیبات دارویی استفاده می شود.

یکی از کاربردهای مهم جیوه، ساخت ملغمه می باشد. ملغمه، آلیاژ جیوه با فلزات یا ترکیبات فلزی است. به عنوان مثال، ملغمه دندان که برای پر کردن دندان به کار می رود، آلیاژی به نسبت برابر از جیوه مایع و مخلوط نقره و قلع است. از ملغمه جیوه از سال ۱۵۷۰ تا سال ۱۹۰۰ برای استخراج نقره استفاده می شد که به ازای هر گرم نقره، یک گرم جیوه وارد جَو می کرد. امروزه هم در برخی کشورها برای استخراج طلا از

ملغمه جیوه استفاده می‌کنند، به این ترتیب که با افزودن جیوه به خاک معدنی که حاوی مقدار کمی طلا یا نقره است، با تشکیل ملغمه آن را استخراج کرده و سپس با گرم کردن، جیوه را تبخیر می‌کنند. در برخی از کارخانجات کلر-قلیا که از طریق الکترولیز محلول آبی، سدیم کلرید را به محصولات تجاری کلروهیدروکسید تبدیل می‌کنند، ملغمه‌ای از سدیم و جیوه را به کار می‌برند. وقتی سدیم در ملغمه جیوه حل می‌شود، از میزان واکنش‌پذیری آن نسبت به سدیم آزاد کاسته می‌شود، به طوری که سدیم بسیار واکنش‌پذیر با آب، به صورت ملغمه  $Hg-Na$  با آب واکنش نمی‌دهد. از طریق سدیم، هیدروکسید عاری از نمک به دست می‌آوردند و جیوه را بازیابی و مجدداً به سلول اصلی بر می‌گردانند. اما به هر حال، بازیافت جیوه کامل نبوده و مقداری از آن به هوا یا به رودخانه‌ای که آب مورد نیاز خنک کردن دستگاه‌ها از آن تامین می‌شود، راه می‌یابد. امروزه در کشورهای صنعتی برای جدا کردن محلول  $NaCl$  از محلول عاری از کلرید، از الکترودهای غشایی شناساگر فلزی (حساس به  $Na^+$ ) استفاده می‌شود. در پساب کارخانجات کلر-قلیا، یون مرکوریک ( $Hg^{2+}$ ) وجود دارد. مهم‌ترین کانی جیوه،  $HgS$ ، نمک بسیار نامحلول در آب است و برای بهسازی پساب کارخانجات با افزودن نمک محلول  $Na_2S$ ، یون جیوه را به صورت  $HgS$  رسوب می‌دهند. نمک نیترات  $Hg^{2+}$  که حلال در آب است، زمانی برای آماده‌سازی خز جهت ساختن کلاه نمدی به کار می‌رفت. به همین دلیل کارگران کلاه دوزی، اغلب دچار ناهنجاری‌های عصبی مانند لرزش ماهیچه، افسردگی، فراموشی و... می‌شدند.

یکی دیگر از مصارف عمده جیوه، تولید لامپ بخار جیوه یا لامپ‌های کم‌مصرف می‌باشد. این لامپ‌ها باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و طول عمر بیشتری دارند. لامپ‌های کم‌مصرف، مصرف را ۴ تا ۶ برابر لامپ‌های معمولی، بهینه می‌کنند، اما کمتر کسی است که بداند این لامپ‌ها به دلیل وجود جیوه، جزء زباله‌های خطرناک هستند و در صورتی که همراه با زباله‌های دیگر و به روش سنتی دفع شوند، موجب آلودگی محیط زیست خواهند شد. در برخی کشورها قرار دادن این لامپ‌ها همراه سایر زباله‌ها جریمه‌های سنگینی دارد اما متأسفانه در کشور ما در این زمینه اقدامات و اطلاع‌رسانی مناسبی صورت نگرفته و مراکزی هم برای جمع‌آوری زباله‌های خطرناک وجود ندارد و حتی روی بسته‌بندی این لامپ‌ها نیز هیچ هشدار دربارۀ خطرناک بودن بخار جیوه ذکر نشده است. وقتی یک لامپ کم‌مصرف می‌شکند، بخار جیوه سمی آن متصاعد می‌شود. به همین خاطر نباید به خرده‌های لامپ کم‌مصرف دست زد یا برای جمع کردن آن از جاروبرقی استفاده کرد، بلکه باید فوراً پنجره‌ها را باز، و به مدت ۱۵ دقیقه اتاق را ترک کرد تا بخار جیوه از محیط خارج شود و سپس با ماسک و دستکش، خرده‌های لامپ را در ظرف شیشه‌ای دردار یا دو لایه کیسه پلاستیک گذاشت و در آن را بست. در صنعت ساخت لامپ نیز این امر معمولاً پیش می‌آید.

استفاده از جیوه و ترکیبات آن در قارچ کش‌ها، با توجه به تأثیر خاصیت سمی جیوه بر موجودات زنده، اهمیت زیادی دارد. در کشاورزی ترکیبات آلی جیوه به منظور پوشش‌های دانه‌ای به کار برده می‌شوند تا از رشد قارچ روی بذور کشاورزی جلوگیری کنند.

ترکیبات جیوه در لوازم بهداشتی و آرایشی به عنوان کرم‌های زیبایی، محافظ پوست و جلوگیری از آکنه به کار می‌روند، ۶ تا ۱۰ درصد وزن این فرآورده‌ها را کالومل (کلرید جیوه) تشکیل می‌دهد. از آن جایی که

ترکیبات جیوه به راحتی جذب پوست می‌شوند، سازمان نظارت بر مواد غذایی و دارویی آمریکا (FDA) استفاده از این ترکیبات را در فرآورده‌های بهداشتی منع کرده است.

### جیوه در دندان پزشکی:

آمالگام آلیاژ جیوه فلزی با یک فلز دیگر شامل قلع و نقره بوده و حدود ۱۵۰ سال است که در دندان پزشکی کاربرد دارد. اگرچه آمالگام از نظر زیبایی نسبت به ترمیم‌های هم‌رنگ دندان در سطح پایین تری قرار دارد، ولی همچنان به دلیل هزینه کم، طول عمر، دوام، مهر و موم کردن، آسان بودن مراحل کارکرد و پرداخت، برای کاربرد مستقیم به عنوان ماده ترمیمی در دندان‌های خلفی به خصوص در مناطق تحت فشار، ترجیح داده می‌شود. در سال ۲۰۰۱ ترمیم‌های آمالگام برای ترمیم حفرات تحت نیرو در دندان‌های خلفی، توسط بیش از ۷۵٪ از دندان‌پزشکان انگلیس و ۵۴٪ از دندان‌پزشکان در ایالات متحده آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است.

دندان‌پزشکان یکی از گروه‌های در معرض خطر مواجهه شغلی با آمالگام بوده و چون جیوه در دمای اتاق تبخیر می‌شود، هنگام آماده‌سازی، خارج کردن و یا پرداخت دندان پر شده، منجر به مواجهه دندان‌پزشکان با بخارات جیوه می‌شود. اگرچه بعضی از مطالعات حاکی از بی‌خطر بودن مواجهه مزمن با جیوه در دندان‌پزشکان می‌باشد، ولی گروهی دیگر از مطالعات اثبات کرده‌اند که آمالگام عوارض قابل توجهی روی سلامت دندان‌پزشکان ایجاد می‌کند. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که مهم‌ترین فاکتورهای موثر در افزایش میزان مواجهه دندان‌پزشکان با جیوه عبارتند از: میزان قطرات جیوه فلزی و باقی مانده‌های ذرات آمالگام در محل کار، آماده‌سازی، جای‌گذاری و برداشتن ترمیم‌های آمالگامی، برش و تراش آمالگام، پرتاب تصادفی ذرات، آمالگام‌هایی که برای مصرف کنار گذاشته شده‌اند، روش مخلوط کردن آمالگام، پالیش کردن آمالگام، نشت از کپسول آمالگام حین آمالگام‌سازی، نوع آمالگام مصرفی، برداشتن اضافات جیوه تازه مخلوط شده با دست، آمالگاماتورهای مکانیکال، کندانسورهای اولتراسونیک، عدم استفاده از ساکشن با مکش بالا هنگام برداشتن آمالگام‌های قدیمی، استفاده از استریلیزاسیون خشک (فور) و بخار جیوه برخاسته از روی زمین، تهویه و نوع پوشش کف.

علاوه بر موارد ذکر شده، افزایش سابقه کار و عمر مطب، رعایت استانداردهای بهداشتی مانند عادات شستشو و تمیز کردن وسایل، سن و سابقه کار دندان‌پزشک، ساعات کار در هفته و تعداد ترمیم‌ها در هفته، از عوامل دیگری است که در میزان مواجهه دندان‌پزشکان با جیوه دخالت دارد. تماس پوست با آمالگام نیز می‌تواند باعث جذب جیوه گردد. اگرچه این مواجهه اندک است ولی به مرور زمان باعث تجمع جیوه در بدن می‌شود. در ضمن استفاده از ماسک و دستکش خطر مواجهه را به طور کامل از بین نمی‌برد.

## تصاویری از مصارف عمده جیوه



جیوه در ساخت مهتابی یا لامپ فلورسنت



استفاده از جیوه در تولید سوخت



به عنوان آفت کش



استفاده در تولید دماسنج و فشارسنج های پزشکی



استفاده در باتری تخت ساعتی



برای پرکردن دندان



صنایع ریخته گری



استفاده در صنعت سیمان



شکل بالا: فیوزها و کلیدهای جیوه ای  
 شکل سمت راست: فشار سنج جیوه ای  
 شکل پایین: انواع لامپ های حاوی جیوه



## منابع انتشار جیوه

### الف- سوخت ها، مصرف و تولید انرژی

#### مصرف سوخت

۱. احتراق ذغال سنگ، در کارخانجات برق بزرگ به خصوص در بویلر های گرمایی ۳۰۰ مگاوات به بالا
۲. دیگر استفاده های ذغال سنگ
۳. کاربرد نفت سنگین و کک نفتی
۴. احتراق یا استفاده از گازوئیل، بنزین و نفت و کروزن
۵. احتراق یا کاربرد گاز طبیعی
۶. تولید برق و تولید گرما(با چوب و...)
۷. احتراق زغال چوب

#### تولید سوخت

۱. استخراج نفت
۲. تصفیه نفت
۳. استخراج و فرایند کردن گاز طبیعی

### ب- تولید داخلی فلزات و مواد خام

#### تولید اولیه فلز(صنعتی)

۱. استخراج اولیه جیوه و فرایند اولیه آن
۲. تولید روی از کنستانتره
۳. تولید مس از کنستانتره
۴. تولید سرب از کنستانتره
۵. تولید سرب از کنستانتره
۶. استخراج طلا به روشی به غیر از امالگام سازی جیوه
۷. تولید آلومین از بوکسیت(تولید آلومینیوم)
۸. تولید فلزات آهنی اولیه(آهن، تولید فولاد)

#### معدنکاری طلا با آمالگام کردن جیوه

۱. معدنکاری طلا با آمالگام کردن جیوه- از کل سنگ معدن
۲. معدنکاری طلا با آمالگام کردن جیوه- از کنستانتره
۳. معدنکاری طلا با آمالگام کردن جیوه- از کنستانتره و با استفاده از پساب

#### تولید دیگر مواد با حجم بالا با انتشارات جیوه

۱. تولید سیمان
۲. تولید مقوا و کاغذ

## پ- تولید داخلی و فرایند کردن به همراه کاربرد عمدی جیوه

### تولید مواد شیمیایی و پلیمرها

۱. تولید کلرآلکالی با سلولهای جیوه
۲. تولید VCM با کاتالیست جیوه
۳. تولید استالدهید با کاتالیست جیوه

### تولید محصولات محتوی جیوه

۱. دماسنجهای جیوه ای (پزشکی، هوا، آزمایشگاهی و صنعتی)
۲. سوئیچ های الکتریکی و رله های حاوی جیوه
۳. منابع نوری حاوی جیوه (لامپ های مهتابی، لامپ های فشرده و کم مصرف جیوه ای و...)
۴. باتری های حاوی جیوه
۵. فشارسنج ها و گیج های حاوی جیوه
۶. آفت کش ها یا بیوساید های حاوی جیوه
۷. رنگهای حاوی جیوه
۸. کرم های روشن کننده پوست و صابون های با مواد شیمیایی حاوی جیوه

## ت- تصفیه و بازیافت فاضلاب

### بازیافت

۱. تولید جیوه بازیافتی (محصول ثانویه)
۲. تولید فلزات آهنی بازیافتی (آهن و ورق)

### سوزاندن پسماند ها

۱. سوزاندن پسماندهای شهرداری و عمومی
۲. سوزاندن پسماندهای خطرناک
۳. سوزاندن پسماندهای پزشکی
۴. سوزاندن لجن فاضلاب
۵. سوزاندن پسماند به صورت روباز (در منطقه دفن یا به صورت غیر رسمی)

### رسوب/دفن پسماند

۱. دفن پسماندهای شهری
۲. تل انبار کردن غیر رسمی پسماندهای عمومی

### تصفیه فاضلاب

## ث- مصرف کلی جیوه در محصولات، به عنوان جیوه فلزی و سایر مواد حاوی جیوه

۱. استفاده و دفع محصولات حاوی جیوه



#### استفاده در یونیت های دندانپزشکی:

۲. پرکردن دندان با آمالگام دندانپزشکی
۳. تهیه مواد مربوطه به پرکردن دندان در کلینیک های دندانپزشکی
۴. دفع مواد پسماند مربوط به پرکردن دندان در دندانپزشکی ها

#### دماسنج ها:

۵. ترمومتر های پزشکی جیوه ای
۶. سایر ترمومتر های جیوه ای شیشه ای (آزمایشگاهی، هوا، سنجش روزانه و...)
۷. سوئیچ ها و رله های الکتریکی حاوی جیوه

#### منابع نوری حاوی جیوه:

۸. لامپ های مهتابی و کم مصرف فشرده و دیگر منابع مرتبط

#### باتری های حاوی جیوه:

۹. باتری اکسید جیوه (سلول های دکمه ای (مثل باتری ساعت) و دیگر سایزهای باتری که همچنین سلول های جیوه-روی نیز نامیده می شوند.
۱۰. دیگر سلول های دکمه ای (روی-هوا، سلولهای قلمی آلکالین، اکسید-نقره)
۱۱. دیگر باتریهای حاوی جیوه (باتریهای تخت، قلمی، پرمنگنات و...)

#### سایر موارد:

۱۲. اسفنج پلی اوری تان (PU, PUR) تولید شده با استفاده از کاتالیست جیوه
۱۳. رنگ های با نگهدارنده جیوه
۱۴. کرم های سفید کننده پوست و صابون های شیمیایی حاوی جیوه
۱۵. گیج ها یا نشانگر های فشارخون پزشکی (مانومترهای پزشکی)
۱۶. دیگر مانومترها و نشانگرهای حاوی جیوه
۱۷. مواد شیمیایی آزمایشگاهی
۱۸. دیگر تجهیزات آزمایشگاهی و پزشکی حاوی جیوه (پروسیمتری، پیکونومتری، الکترودهای معلق = پلاریمتری و...)

#### ج-منابع متفرقه کاربرد جیوه در صنعت

۱. احتراق سنگ رس نفتی
۲. احتراق ذغالسنگ
۳. تولید ژئوترمال برق
۴. تولید دیگر فلزات بازیافتی به غیر از موارد مذکور
۵. تولید لایم
۶. تولید توده های سبک وزن مثل مهره های رسی برای کاربردهای ساختمانی
۷. تولید کلرید و هیدروکسید سدیم ناشی از تکنولوژی سلولهای جیوه ای
۸. تولید پلی اوری تان با کاتالیست جیوه ای
۹. آراستن دانه های گیاهی با مواد شیمیایی حاوی جیوه
۱۰. نیمه رسانه های تشخیص پرتو زیر قرمز

۱۱. مصارف آموزشی
۱۲. پمپ های خلاء حاوی جیوه
۱۳. ژيروسکوپ حاوی جیوه
۱۴. استفاده از جیوه به عنوان خنک کننده در برخی سیستم های سرما ساز
۱۵. استفاده در دباغی ها
۱۶. پیگمان سازی
۱۷. انواع خاصی از برگه های چاپی رنگی
۱۸. مواد منفجره (فولمینات جیوه در چاشنی بسیاری از فشنگها)
۱۹. مواد آتش بازی
۲۰. در تولید برخی اسباب بازیها

### منابع عمده جیوه در فاضلاب ها و پسماندها

- یونیت های دندانپزشکی (بزرگترین منبع)
- فاضلابهای انسانی
- تولیدات خانگی
- آب حاصل از شستن لباس ها
- بیمارستانها،
- صنعت،
- آزمایشگاهها
- مدارس و دانشگاهها

که ۳ مورد اول بزرگترین منابع را تشکیل می دهند.

با توجه به موارد مذکور بایستی در حین تکمیل فرم بازدید کارگاهی توسط بازرسان بهداشت کار، تاکید لازم در جهت استخراج اطلاعات مورد نیاز برای تکمیل فرم های گزارشدهی جیوه صورت پذیرد.

## جیوه، حفظ محیط زیست و سلامت انسان

### راه های ورود جیوه به محیط زیست:

افزایش جمعیت، تقاضا برای تولید محصولات گوناگون را به دنبال داشته است. رشد اقتصادی، پیشرفت صنایع و مدرن تر شدن تکنولوژی، علاوه بر تحولات مثبتی که در زندگی بشر ایجاد کرده، مشکلاتی را نیز برای او فراهم کرده که بارزترین آن ورود آلاینده های مختلف از طریق صنایع به محیط زیست می باشد. در این میان صنایع شیمیایی به دلیل وارد کردن ترکیبات غیر قابل تجزیه بیولوژیک و تجمع پذیر مانند سموم دفع آفات و فلزات سنگین از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشد. از جمله فلزات سنگینی که از طریق صنعت وارد آب دریا می گردد، فلز جیوه است که به دلیل خطرناک بودن یک تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت افراد بوده و تا آن جا که ممکن است، باید مقدار آن را در پساب ها کاهش داد.

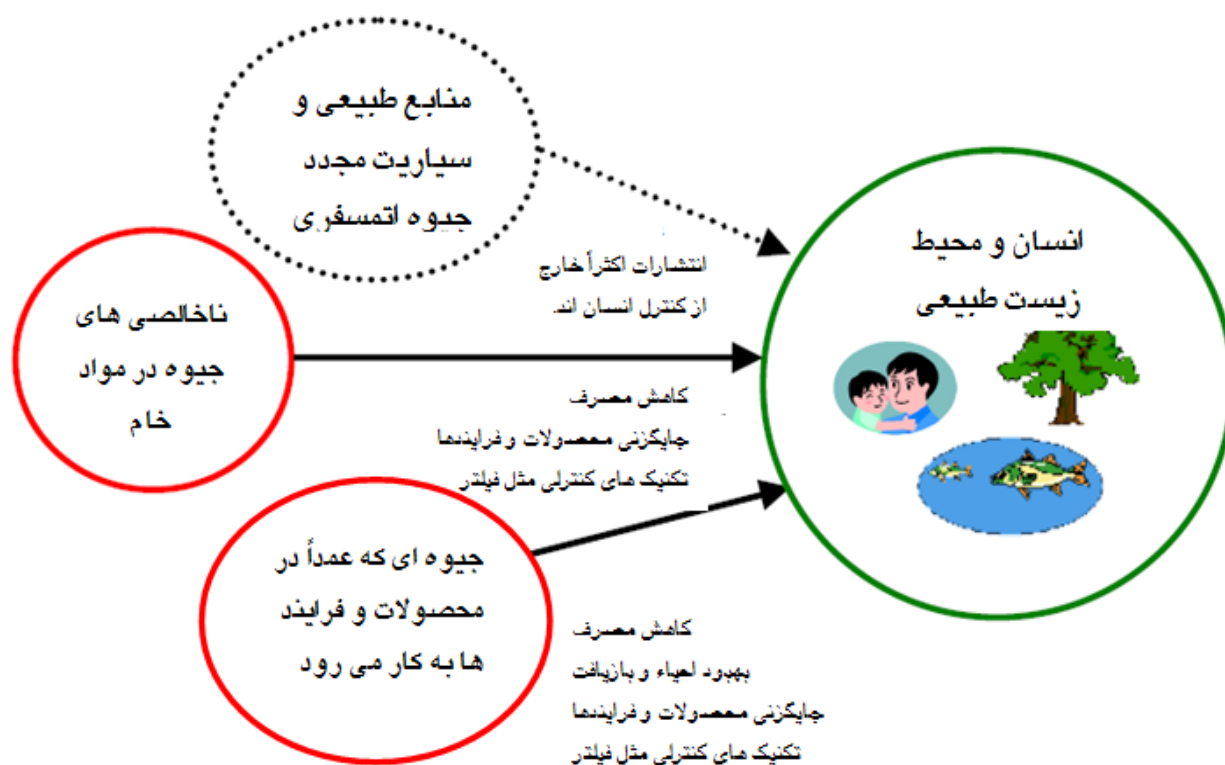
جیوه به عنوان یک گاز از منابع طبیعی و فعالیت های مانند سوزاندن پسماندها (مانند مرکوریک اسید  $HgO$ ) موجود در باتری های معمولی مستعمل که برای جلوگیری از خورده شدن الکتروود روی استفاده می شود) در کوره های شهرداری ها، احتراق زغال سنگ و مازوت حاوی مقادیر کم جیوه، استفاده در صنایع الکترونیک (سوئیچ الکتریکی و لامپ های بخار جیوه) و استخراج فلزات قیمتی سریعاً تبخیر و به صورت بخار وارد اتمسفر می شود. این منابع جیوه جوی، امروزه رقیب مواد خروجی از آتشفشان هاست که قبلاً منبع عمده جیوه معلق در هوا محسوب می شدند. جیوه در هوا اغلب به شکل گاز است و مقدار اندکی از آن، به ذرات معلق متصل است. جیوه گازی معلق در هوا می تواند مسافت های زیادی را در اتمسفر طی کرده و پس از شسته شدن به وسیله بارش، در خاک و آبراه ها رسوب کند. شاید بتوان گفت مهم ترین منبع آلودگی آب ها به جیوه تخلیه فاضلاب های صنعتی کارخانه های کاغذ سازی، PVC و تولید کلر و سود می باشد. استفاده از ترکیبات آلی جیوه به صورت قارچ کش ها در کشاورزی، از منابع مهم متیل جیوه است. این ترکیبات در نتیجه تماس با خاک شکسته شده و جیوه آن در نتیجه اتصال با گروه های گوگردار در خاک های رس، و ماده آلی آن نیز به صورت ترکیبات نامحلول، وارد محیط زیست می شوند. هر چند فعالیت های انسانی بیش ترین منابع بالقوه ایجاد جیوه در محیط زیست هستند، اما باید توجه داشت که طبیعت نیز خود یکی از این عوامل بالقوه ایجاد جیوه می باشد، به دلیل متنوع بودن زمینه های طبیعی جیوه، تفریق سطوح طبیعی و تجاری در هر بخش از محیط دشوار است. از طریق رخدادها و شرایط آب و هوایی مانند رسوبات طبیعی، فعالیت های آتشفشانی، فرسایش زمین و طوفان ها، سالیانه حدود ۵۰۰۰ تن جیوه وارد دریا می شود. از طرفی ۵۰۰۰-۴۰۰۰ تن از جیوه معادن (در حدود نصف تولید جهانی سالیانه از ۹۰۰۰ تن) در دریا، خاک و اتمسفر رها شده و در آرگانیزم های حیاتی جمع می شود. به طوری که جیوه و تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ ها، سالانه در حدود ۲۳۰ تن جیوه وارد دریاها و اقیانوس ها می شود.

مکانیسم هایی که به وسیله آن ها جیوه وارد زنجیره غذایی می شود به طور کامل شناخته شده نیستند و ممکن است در میان اکوسیستم ها متفاوت باشند، که در این رابطه برخی باکتری ها نقش مهمی را بازی می کنند. باکتری های موجود در محیط زیست که در پروسه سولفات هستند، جیوه را از فرم معدنی غیر آلی می گیرند و آن را به واسطه فرایند متابولیکی به متیل مرکوری تبدیل می کنند. تغییر جیوه معدنی به متیل

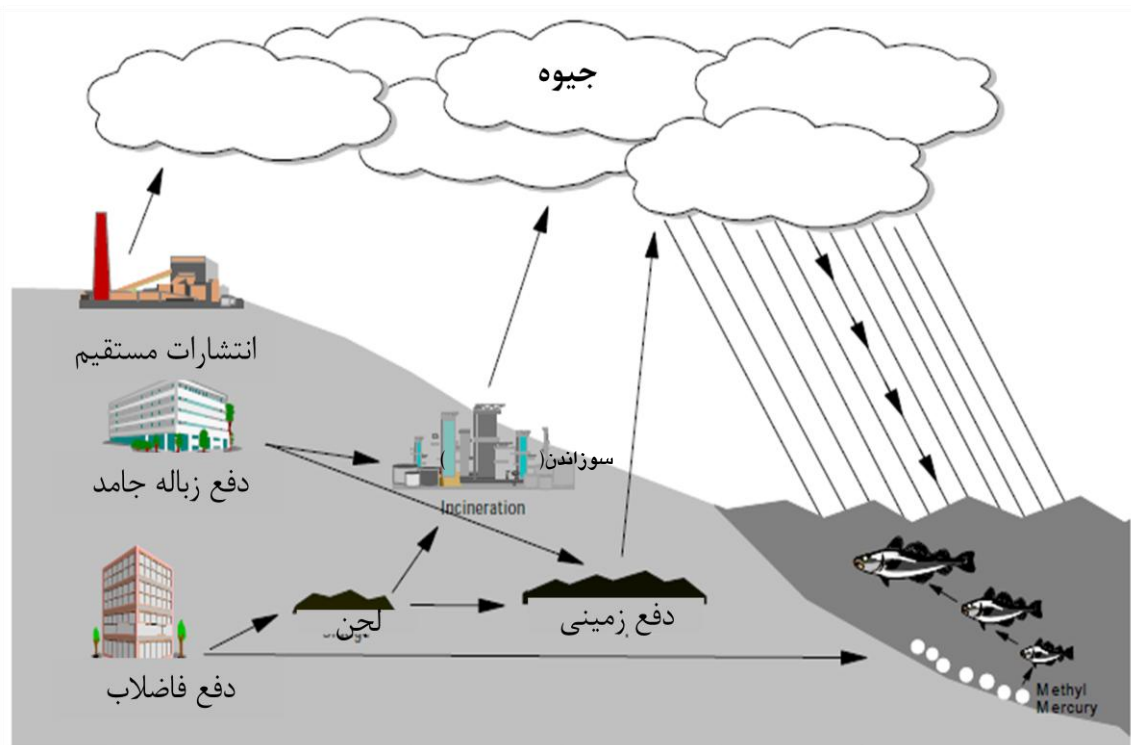
مرکوری مهم است، زیرا سمیت آن بیش تر شده و ارگانیس‌ها زمان طولانی‌تری را برای حذف متیل مرکوری نیاز خواهند داشت. باکتری‌های حاوی متیل مرکوری ممکن است به وسیله سطح بالاتر در زنجیره غذایی مصرف شده و یا توسط باکتری به داخل آب دفع شوند، که در آن جا سریعاً به وسیله پلانکتون‌ها جذب شده و پلانکتون‌ها نیز به وسیله سطح بعدی در زنجیره غذایی مصرف می‌شوند. به دلیل این که حیوانات متیل مرکوری را سریع تر از آن که دفع کنند، انباشته می‌کنند، لذا غلظت بالاتری از جیوه توسط حیوانات در هر سطح از زنجیره غذایی مصرف می‌شود، از این رو غلظت‌های کم متیل مرکوری در حیوانات به ویژه ماهی و پرندگان که ماهی مصرف می‌کنند، به آسانی غلظت‌های بالقوه مضر ایجاد کرده و در نهایت در بدن انسان تجمع می‌یابد. منابع انسانی انتشار جیوه، تجمع زیستی و راه‌های کنترل آن در محیط زیست، در شکل‌های صفحه بعد نشان داده شده است:

تماس‌های شغلی با جیوه در ایران به خصوص در صنعت عمدتاً در واحدهای کلرکالی صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه‌های تولید دماسنج، معادن طلا و کلینیک‌های دندانپزشکی رخ می‌دهد (۹). بزرگترین محل استفاده از جیوه در فرایند الکترولیز نمک طعام در تولید سود و کلر است.

منابع تولید مختلفی برای جیوه وجود دارد که از راه‌های مختلف انتشار یافته و بر انسان و محیط زیست تاثیر می‌گذارند (شکل ۱). انتشار جیوه ناشی از تولیدات انسان در محیط زیست نیز از منابع مختلفی است که از راه‌های خاصی نیز منتشر می‌شود که خلاصه آن را می‌توانید در شکل ۲ ببینید (۳).



شکل ۱- منابع اصلی انتشار جیوه و راه‌های کنترلی



شکل ۲- منابع انسانی انتشار جیوه و تجمع زیستی آن

### کینتیک و متابولیسم جیوه:

کینتیک جیوه که شامل مراحل جذب، انتشار، متابولیسم و دفع آن می‌باشد، به میزان زیادی به فرم جیوه (جیوه عنصری، ترکیبات غیر آلی، آریل، الکوئیل و آلکیل) جذب شده بستگی دارد. به طور مثال آمالگام که حاوی ۶۰ - ۴۵ درصد جیوه و ۳۰ درصد نقره بوده و به عنوان ماده ترمیمی در دندان پزشکی به کار می‌رود، یک سم است اما نمی‌تواند برای ما خطرناک باشد، زیرا اتم‌های نقره به سختی اتم‌های جیوه را نگاه می‌دارند. همچنین کلرور مرکورو که هر مولکول آن دو اتم جیوه و دو اتم کلر دارد، یک دارو است. در حالی که کلرور مرکوریک که مولکول آن یک اتم جیوه و دو اتم کلر دارد یک سم است. فولمینات جیوه که هر مولکول آن یک اتم جیوه، یک اتم اکسیژن، یک اتم ازت و یک اتم کربن دارد، خطرناک بوده و خیلی زود منفجر می‌شود. همچنین هر مولکول مرکورکروم که برای معالجه زخم‌ها به کار می‌رود نیز دارای یک اتم جیوه است.

جیوه از طریق دستگاه تنفس، دستگاه گوارش و پوست می‌تواند وارد بدن شود. اصلی‌ترین راه جذب جیوه در مواجهات شغلی، استنشاق هوای آلوده یا تماس پوستی در محیط کار دندان پزشکی، خدمات بهداشتی، صنایع شیمیایی و غیره می‌باشد. در حالی که خوردن ماهی و حلزون‌های صدف آلوده به متیل مرکوری، استنشاق بخارات موجود در هوا، کوره‌های زباله‌سوز و صنایعی که سوخت حاوی جیوه را می‌سوزانند و رها شدن جیوه در اثر امور دندان پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی، راه‌های مهم مواجهه

جمعیت های عمومی با جیوه می باشند. جیوه غیر آلی (جیوه فلزی و ترکیبات غیر آلی جیوه) از طریق ته نشست طبیعی، زباله ها و فعالیت های انفجاری، وارد آب یا خاک، و از طریق سنگ معدن، سوزاندن زغال سنگ و زباله و پساب صنایع وارد آب می شود. فرم آلی جیوه نیز از طریق فضولات بعضی کارخانجات وارد محیط زیست شده و توسط میکروارگانیسم های آب و خاک به متیل مرکوری تبدیل می شود، سپس وارد بدن ماهی و سایر آبزیان می گردد و نهایتاً توسط انسان مصرف می شود. این ترکیبات به علت حلالیت در چربی زیاد، در مقایسه با ترکیبات معدنی آن سمی تر می باشند.

مهم ترین راه مواجهه شغلی با جیوه، استنشاق بخار جیوه می باشد. در حالی که پر کردن دندان با آمالگام، منبع اصلی مواجهه در جمعیت های عمومی است. ریه ارگان هدف اصلی در طی تماس حاد با بخار جیوه بوده و تماس به مدت چند ساعت می تواند ایجاد برونشیت و پنومونیت کند، جیوه از شش ها به جریان خون نفوذ کرده، سپس از سد خونی- مغزی گذشته و آسیب شدیدی به سیستم اعصاب مرکزی می رساند. جیوه از تمام فلزات، فرآرتر و بخار آن کاملاً سمی است. فرم فلزی جیوه محلول در چربی است و بعد از استنشاق به آسانی از طریق آلوئول ها وارد جریان خون می شود. بلع املاح غیرآلی جیوه به صورت حاد در طی چند ساعت با علائم گاستروآنتریت، کلاپس قلبی- عروقی، نکروز حاد توبولی و مرگ تظاهر می کند. حدود ۱۰٪ نمک های غیرآلی جیوه از دستگاه گوارش جذب می شود و با ایجاد HgS در روده، باعث کندهوشی می گردد، این مورد سابقاً جهت بیمارانی که برای درمان یبوست از بلعیدن جیوه استفاده می کردند، مصداق داشته است. استنشاق راه مهمی برای مواجهه با Hg<sup>0</sup> محسوب می شود، به طوری که حدود ۸۰٪ از بخار جیوه استنشاق شده در جریان خون باقی مانده و از این طریق در بافت ها توزیع می شود. اهمیت جذب پوستی Hg<sup>0</sup> ناچیز بوده و بخار جیوه با سرعت متوسط ۰/۲۴ µg/m<sup>2</sup> در دقیقه جذب می شود. این مقدار فقط ۲٪ جذب جیوه هم زمان با جذب ریوی را تشکیل داده و فقط نیمی از جیوه جذب شده از راه پوست، می تواند مانند جیوه سیستمیک رفتار کند. بخار جیوه مکرراً در تمام بدن توزیع شده و به آسانی از سد خونی-مغزی و جفت عبور کرده و در شیر و سایر مایعات بیولوژیک ظاهر می گردد. مکانیسم بیولوژیکی انجام این اکسیداسیون، آنزیم کاتالاز در حضور پراکسید هیدروژن می باشد. البته در حیوانات واکنش احیای Hg<sup>۲+</sup> به Hg<sup>0</sup> نیز دیده می شود. Hg<sup>0</sup> تمایل زیادی جهت تبدیل شدن به متیل جیوه دارد، که در این صورت به راحتی از غشاء سلولی و سد خونی-مغزی عبور نموده و سپس در حد وسیعی به Hg<sup>۲+</sup> اکسید شده و اعمال سمیت می کند.

ادرار و مدفوع مسیرهای اصلی دفع جیوه می باشند که در صورت مواجهه زیاد، ادرار مسیر دفع غالب است. نیمه عمر جیوه در ادرار حدود ۲ ماه بوده و از آن جایی که مقادیر جیوه ادرار ارتباط نزدیکی با سطوح سطح جیوه در کلیه ها دارد، اندازه گیری جیوه ادرار به طور گسترده ای برای ارزیابی مواجهه با جیوه غیر آلی (عمدتاً بخار جیوه) کاربرد دارد. مطالعه کلیرانس بخار جیوه رادیو اکتیو، حاکی از دفع ۷٪ جیوه استنشاق شده با یک نیمه عمر ۱۸ ساعته می باشد. نیمه عمر جیوه کل در کلیه ۶۴ روز می باشد که با میزان اکسید شدن به Hg<sup>۲+</sup> متناسب است.

## کلیات

خطرات استفاده از جیوه توسط مصریان باستان که از بردگان جهت کار در معادن جیوه استفاده می کردند، کشف شده بود. احتمالاً به خاطر سمیت ملغمه جیوه در استخراج طلا، بردگانی که در معادن شنگرف (HgS) رومی‌ها کار می کردند، بعد از ۶ ماه می‌مردند. از اوایل قرن هجدهم میلادی توجه دانشمندان به احتمال مواجهه شغلی و مواجهه افراد عادی با جیوه جلب شد. انواع ترکیبات جیوه، سمیت متفاوتی دارند، ترکیباتی مانند فنیل مرکور و الکوکی الکیل، کمترین میزان سمیت، و ترکیبات الکیل جیوه بیشترین سمیت را دارند.

جیوه از راه تنفس، گوارش و نیز از طریق پوست قابل جذب می باشد، بخار جیوه به سیستم اعصاب مرکزی تمایل دارد، اما هدف اصلی  $Hg^{2+}$  کلیه‌ها و کبد است. تا کنون مدارک محدودی در ارتباط با سرطانزا بودن جیوه ارائه شده است.

مطالعات جهانی نشان می دهند که در نتیجه تماس مستقیم یا استنشاق بخارات جیوه، اختلالات مختلفی به وجود می آید که برخی از آن‌ها عبارتند از: اختلال سیستم اتو ایمنیون، اختلال در عملکرد کلیه، ناباروری، تأثیرات منفی روی جنین، مشکلات رفتاری-عصبی، ناکارآمدی قلبی، آلزایمر، تأثیرات مخرب بر سیستم عصبی مرکزی و محیطی، تأثیرات چشمی، مشکلات دهانی، نارسایی حاد تنفسی، درماتیت، دمانس، تهوع، استفراغ، اسهال، درد شکم، هماچوری، کونژکتیویت، برونشیت، پنومونی، ادم ریوی، تب بخار فلزی و اختلالات نوروسایکوتیک، اثر بر روی غده تیروئید، تولید مثل و سمیت ژنی.

استنشاق  $1 \text{ mg/m}^3$  بخار جیوه به ریه‌ها، کلیه‌ها و سیستم عصبی آسیب زده و باعث تحریک پذیری شدید، بی‌ثباتی احساس، لرزش، کاهش وزن، ورم لثه، سردرد، کاهش رشد، التهاب ریه و آماس پوست می شود. این عوارض ممکن است در جمعیت‌های عمومی در مواجهه با  $0.1 \text{ mg/m}^3$  نیز مشاهده گردد.

بعد از بخار جیوه، متیل جیوه خطرناک‌ترین شکل جیوه است. استفاده از متیل جیوه به عنوان قارچ‌کش



برای محافظت دانه‌ها سبب کاهش قابل ملاحظه پرنده‌گانی شد که از این دانه‌ها مصرف کرده بودند و همچنین صدها مرگ در عراق و آمریکا از مصرف نانی که دانه‌های گندم آن با متیل جیوه در تماس بوده گزارش شده است. ورود سمی‌ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان، بیماری میناماتا ایجاد میکند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در خلیج میناماتا مشاهده شد. بروز این بیماری در انسان با عوارض گوناگون عصبی از جمله اختلال در حواس پنج‌گانه، بروز آلزایمر در سنین پیری و در موارد حاد با مرگ بیمار، همراه است. متیل جیوه نسبت به

نمک‌های  $Hg^{2+}$  سمّ قوی تری است، زیرا علاوه بر انحلال‌پذیری در بافت چربی، قابلیت تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی دارد. همچنین می‌تواند از سد خونی- مغزی و جفت جنین عبور کند. فرایند متیل‌دار شدن جیوه در ته‌نشست‌های گل‌آلود رودخانه‌ها و به ویژه در شرایط ناهوازی توسط متیل‌کوبالامین صورت می‌گیرد. بیش‌تر جیوه موجود در بدن انسان به صورت متیل‌جیوه بوده و اغلب از طریق خوردن ماهی وارد بدن انسان می‌شود. متیل‌جیوه از راه دستگاه گوارش به خصوص در سیستم عصبی مرکزی و کلیه‌ها توزیع شده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری تظاهر می‌کند. از جمله این اختلالات: آتاکسی، پاراستزی، لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، دمانس پیش‌رونده، نکروز کانونی، تخریب سلول‌های گلیال، اختلالات حرکتی و مرگ می‌باشد.

سیستم عصبی احتمالاً حساس‌ترین ارگان در برابر تماس با بخارات جیوه است. طیف وسیعی از اختلالات تنفسی، روانی، قلبی عروقی، معده ای روده ای، تولید مثلی، کبدی، کلیوی، خونی، پوستی، اسکلتی-عضلانی ایمونولوژیکی، حسی و ادراکی و ژنوتوکسیک از اثرات جیوه می‌تواند باشد (۲).

### نشانه‌های اولیه مواجهه با جیوه

- تاری دید
- تحریک پذیری
- سوزش، خارش پوست
- التهاب لثه‌ها
- زخمی شدن دهان
- راه افتادن آب دهان

### نشانه‌های ثانویه مواجهه با جیوه

- بی‌حسی و سوزش
- لرزش یا ترمور
- فقدان هماهنگی
- افت بینایی و شنوایی
- تنگی نفس

### گروه‌های در معرض خطر بیشتر

- کودکان و به ویژه در دوران جنینی
- جمعیت‌هایی که مرتب ماهی و غذاهای دریایی مصرف می‌کنند.
- دندانپزشکان
- کارگران کارخانه‌هایی که در محل کار با جیوه مواجهه دارند



## درمان مسمومیت با جیوه:

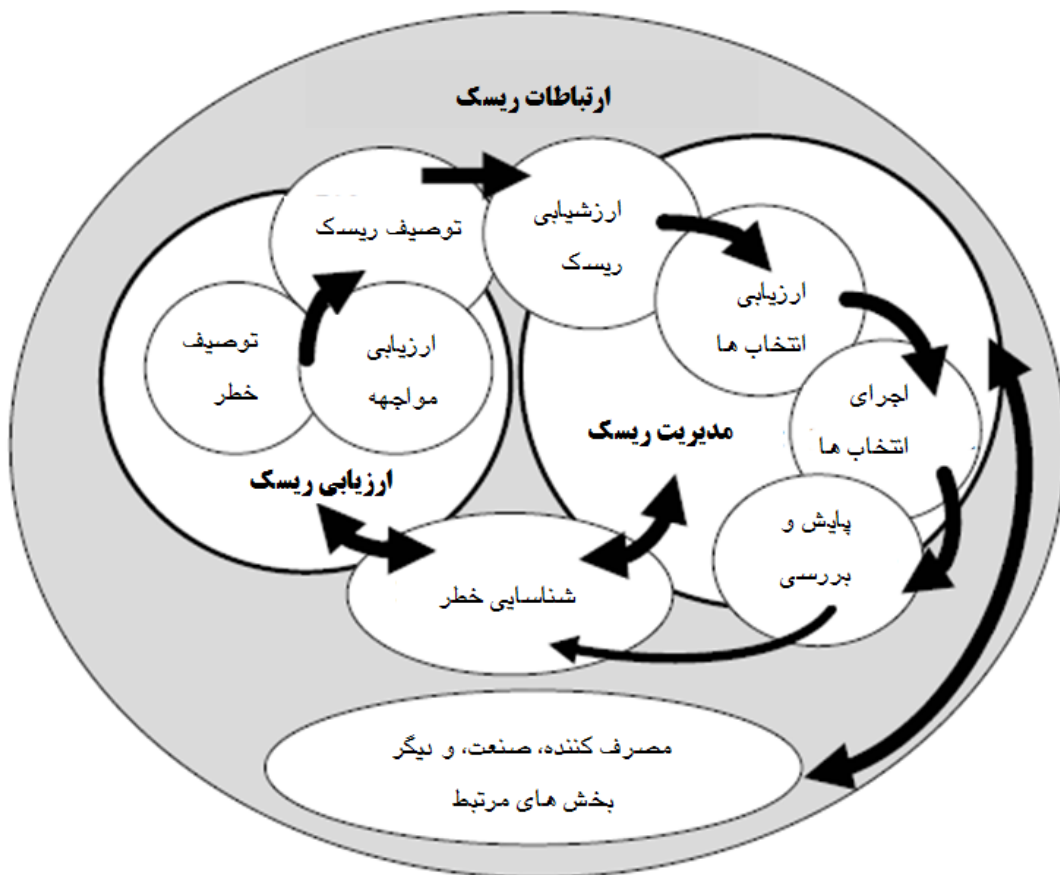
قطع فوری تماس، درمان های حمایتی و درمان با ترکیبات کلکتور (شلاتور)، راه های اصلی درمان مسمومیت با جیوه می باشند. جیوه فلزی با کلکتورها واکنش نمی دهد، معدلک حدود ۰.۸٪ جیوه فلزی در بدن به  $Hg^{2+}$  اکسید شده و به کلکتورها جواب می دهد. در مقایسه با سایر فلزات سنگین، استفاده از EDTA در درمان مسمومیت با جیوه، نسبت به ترکیبات دارای گروه سولفیدریل از اهمیت زیادی برخوردار نیست. ترکیبات منو تیول مانند گلوکوتاتیون، سیستئین، پنی سیلامین و مشتق N-استیله آن ها قادر به حذف جیوه از پروتئین ها و مولکول های زیستی می باشند. ترکیبات دی تیول مانند BAL (۳و۲ دی مرکاپتوپروپانول) یا DMSA (دی مرکاپتوسوکسینیک اسید) با ایجاد یک ساختار ۵ ضلعی محکم، به عنوان کلکتورهای مؤثر در درمان مسمومیت با جیوه کاربرد دارند.

با توجه به این که این فلز خطرناک ممکن است از طریق مغازه ها، وسائلی مانند فشارسنج و ترمومتر به صورت ناخواسته در دسترس اطفال قرار گیرد، لذا لازم است اطلاع رسانی مناسب در زمینه خطرات و رعایت اصول کار با جیوه و ترکیبات آن مورد توجه بیش تری قرار گیرد.

## کنترل مواجهه با جیوه:

برای پیشگیری از خطرات جیوه به خصوص در محل کار باید آن را کنترل کرد که این امر باید طبق سلسله مراتب کنترل (حذف، جایگزینی، اقدامات فنی مهندسی، اقدامات مدیریتی و تجهیزات حفاظت فردی) صورت گیرد. همانطور که می بینید بهترین راه کنترل جیوه، حذف کامل مواجهه با آن است که این کار باید به وسیله درخت آنالیز ریسک (شامل مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک، ارتباطات ریسک) صورت گیرد. به این منظور می توان از روش های پایش بیولوژیکی نیز استفاده کرد و میزان جیوه را در بدن افراد در مواجهه به دست آورد. به منظور پیشگیری از خطرات جیوه یکی از راههای مهم دیگر جایگزینی جیوه با مواد بی خطر یا کم خطرتر است که خوشبختانه برای بسیاری از محصولات جیوه چنین جایگزینی وجود دارد.

در هنگام مدیریت ریسک ناشی از جیوه پیش از هر چیز نیاز به ارزیابی ریسک ناشی از آن داریم. **ارزیابی ریسک** نوعی ارزشیابی اطلاعات علمی به عنوان پایه ای برای تخمین و ارزشیابی اثرات بالقوه بر سلامتی است که فرد یا یک جمعیت ممکن است در اثر مواجهه با مواد خطرناک تجربه کنند. ارزیابی ریسک معمولاً می تواند شامل ارزشیابی ریسک سرطان و پتانسیل توسعه اثرات بهداشتی غیر سرطانی مثل اختلال عملکرد عصبی گردد. برای حصول ریسک یا احتمال اثرات نامطلوب بهداشتی، اطلاعات کمی در مورد مواجهه با اطلاعات مربوط به سمیت ترکیب می گردد.



شکل ۳- پارادایم (انگاره/الگو) آنالیز ریسک

پیش از توضیح بیشتر فرایند آنالیز ریسک بهتر است با مفاهیم ریسک و خطر آشنا شویم.

خطر: پتانسیل ایجاد آسیب را گویند.

ریسک: احتمال ایجاد آسیب را گویند.

با توجه به این تعاریف و با توجه به الگویی که برای آنالیز ریسک ارائه شد متوجه می شویم که برای مدیریت یک ریسک باید ابتدا آن ریسک را ارزیابی کرد که ارزیابی ریسک فرایندی ۴ مرحله ای است که به ترتیب زیر صورت می گیرد:

**شناسایی خطر:** بررسی اطلاعات سم شناسی، بیولوژیکی و شیمیایی برای شناسایی اثرات نامطلوب مرتبط با یک خطر بالقوه تحت سناریوهای گوناگون مواجهه. مطالعات اپیدمیولوژیکی و حیوانی برخی از اطلاعات مورد بررسی هستند. برای شناسایی خطر مثلاً در مورد خطر جیوه می توان با بررسی اطلاعات مربوط به نوع تولید یا مواد خام کارخانه یا فرایندهای آن وجود جیوه را در آن صنعت شناسایی کرد که صنایعی که از این ماده احتمالاً استفاده می کنند در ادامه این متن آمده است. سپس می توان با توجه به آن ماده و فرایندها و امکانات کنترلی و... سناریوی مواجهه را به دست آورد.

**توصیف خطر شامل ارزیابی دوز - پاسخ:** رابطه بین درجه مواجهه ی مقدار دوز مشاهده شده در حیوان و انسان و بزرگی اثرات نامطلوب بهداشتی را تعریف می کند. این عمل معمولاً شامل یک اتمام کمی اثرات بهداشتی نامطلوب برای یک دامنه از دوزها می باشد. برای مواد سرطانزا، داده های دوز پاسخ برای محاسبه برآورد کمی ریسک افزایش یافته سرطان ایجاد شده به ازای هر واحد مواجهه به کار می رود. برای مواد شیمیایی که باعث اثرات نامطلوب بهداشتی به غیر از سرطان می شوند داده های دوز پاسخ برای محاسبه سطوح ایمن استفاده می شوند که توسعه این مقادیر معمولاً با انجام مطالعات گسترده و بررسی مدل های ریاضی به دست می آید.

**ارزیابی مواجهه:** در ارزیابی مواجهه مقدار، مدت، فراوانی، و بزرگی مواجهه با مواد شیمیایی از طریق راههای گوناگون (گوارشی، تنفسی یا بند ناف) برای افراد یا جمعیت ها برآورد می شود. مواجهه می تواند بوسیله اندازه گیری مواد شیمیایی در بافت های گوناگون بدن مثل مو، خون و ادرار) به عنوان بیومارگر یا نشانگر زیستی یا بوسیله کاربرد مدل (فرمول) های گوناگون ریاضی برآورد شود. ارزیابی مواجهه می تواند برای ارزیابی ریسک، و آنالیزهای وضعیت و روند ها و اپیدمیولوژی مربوطه استفاده شود. در صنعت معمولاً این اندازه گیریها از هوا و در خون و موی ادرار کارگران وجود دارد که شرح آن در پایین آورده می شود.

**توصیف ریسک:** از ادغام شناسایی خطر و توصیف خطر(با لحاظ ارزیابی دوز پاسخ و ارزیابی مواجهه برای شرح طبیعت و بزرگی ریسک های بهداشتی در یک جمعیت معلوم) توصیف ریسک حاصل می آید. توصیف خطر همچنین شامل ارائه عدم اطمینان ها در ارزیابی، بحث در مورد درجه اطمینان، فقدان داده ها، محدودیت ها و دیگر ملاحظات می باشد که به شرح ریسک بالقوه کمک می کند.

هرگاه ارزیابی مواجهه و تشخیص ریسک تکمیل شد، نتایج چنین ارزیابی ریسکی می تواند سپس برای کمک به شناسایی جمعیت در مواجهه استفاده شود و به دولتمردان و دیگر ارگان ها کمک کند تا برنامه ها و استراتژی های مناسبی را برای ریسک بالقوه توسعه دهند.

## ارزیابی مواجهه با جیوه:

برای تعیین ارتباط عوامل شخصی و عوامل بهداشت شغلی شاغلین در مواجهه با جیوه، تا کنون روش های مختلفی برای تعیین سطوح جیوه در هوای تنفسی، خون و ادرار در محیط کار ارائه شده است. روش های قبلی نمونه برداری از بخار جیوه شامل جذب سریع جیوه بر روی طلا، نقره یا زغال فعال و سپس اندازه گیری توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی (AAS) و یا تجزیه به روش فعال سازی نوترونی (NAA) و روش دی تیزون بود که معمولاً نیاز به نمونه برداری طولانی مدت دارند. همچنین استفاده از طیف سنج فلورسانس اتمی بخار سرد (CVAFS)، کروماتوگرافی مایع با عملکرد عالی متصل به طیف سنج جرمی پلازما جفت شده القایی (HPLC-ICP-MS)، کروماتوگرافی گازی جفت شده با آشکارساز نشر اتمی (GC-AED) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف سنج جرمی پلازما جفت شده القایی (GC-ICP-MS) از دیگر روش های جداسازی و تشخیص مقادیر مختلف جیوه عنصری می باشند. اگرچه GC-MS روشی کلاسیک برای تجزیه مولکول های آلی می باشد، معذک این روش معمولاً به صورت ICP-MS یا GC-MS، AAS نیز می تواند به عنوان یک روش جایگزین برای تجزیه ترکیبات غیر آلی نیز مورد استفاده قرار گیرد.

بهترین شاخص ارزیابی، اندازه گیری جیوه کل در خون و ادرار می باشد. مطالعات نشان می دهد که اندازه گیری جیوه ادرار عملی ترین و حساس ترین روش برای نشان دادن مواجهات شغلی با غلظت های پایین جیوه غیرآلی می باشد. اندازه گیری جیوه در خون را می توان در دو بخش خون کامل و پلازما انجام داد و به این ترتیب می توان مواجهه شغلی با جیوه فلزی و مواجهه غیر شغلی ناشی از غذاهای دریایی را مشخص کرد. در صورتی که جیوه ادرار فقط نمایانگر مواجهه با جیوه غیر آلی است. بعد از مواجهه، حداکثر غلظت جیوه در ادرار حاصل شده و در خون به آرامی کاهش می یابد. حداکثر غلظت خونی جیوه در خون، ۲-۴ روز پس از مواجهه اتفاق می افتد. لذا آنالیز خون پس از مدت های طولانی، فاقد اطلاعات مفید می باشد. به طور کلی غلظت جیوه ادرار ناشی از مواجهه با بخار جیوه، به جهت اکسید شدن به  $Hg^{2+}$  کاهش می یابد. دفع  $Hg^0$  ممکن است به دنبال تماس حاد با آمالگام، یا از طریق امکان احیای  $Hg^{2+}$  در بدن ایجاد گردد. تجزیه مو به سبب وجود همبستگی بین جیوه خون و مو دارای اهمیت است. با توجه به رشد مو (حدود ۳mm در هفته) می توان سیر پیشرفت مسمومیت را با تجزیه اجزاء مو بررسی نمود. تجزیه مو خصوصاً در بررسی مواجهه با متیل جیوه که با ترکیبات مو پیوستگی دارد، حائز اهمیت است.

مطالعات نشان می دهد که ادرار افراد دارای بیش از ۳۶ ترمیم دندانی، به طور متوسط دارای  $nmol/l$  ۳۰ جیوه در مقایسه با گروه کنترل  $nmol/l$  ۶ فاقد ترمیم با آمالگام می باشد. گزارشات WHO حاکی از افزایش دفع ادراری جیوه بیش از  $nmol/mmol$  ۳۰ Crea ناشی از مواجهه شغلی با غلظت  $\mu g/m^3$  ۵۰ هوا می باشد. همچنین مقادیر  $Hg^0$  در بازدم افرادی با پرکردگی های آمالگام برابر  $\mu g/m^3$  ۸/۲ می باشد، که ۱۰۰ برابر سطوح جیوه در هوای بازدم افراد بدون پرکردگی های آمالگامی است. افرادی که تعداد ترمیم آمالگامی زیادی دارند، روزانه حدود  $\mu g$  ۱۰-۱۲ جیوه جذب می کنند. وجود جیوه در بدن

شمشیر ماهی های دور از منابع صنعتی، به جیوه حاصل از فعالیت های آتشفشانی نسبت داده می شود. مقدار جیوه در آب های غیر آلوده  $1 \text{ ng/l}$  و میانگین برداشت روزانه جیوه کل جمعیت های عمومی در امریکا از هوا  $0.04 \text{ } \mu\text{g/day}$  و از آب  $0.05 \text{ } \mu\text{g/day}$  برآورد شده است. برداشت جیوه از غذاهای فاقد ماهی،  $3/6 \text{ } \mu\text{g/day}$  و در صورت مصرف ماهی  $6/6 \text{ } \mu\text{g/day}$  گزارش شده است. همچنین نشان داده شده است که جذب جیوه فلزی از آمالگام می تواند به بیش تر از  $21 \text{ } \mu\text{g/day}$  نیز افزایش یابد.

### مقادیر حدود مجاز جیوه:

سازمان های EPA، ACGIH، OSHA، NIOSH و مقادیر حدود مجاز تماس با جیوه فلزی و غیر آلی در هوا را به ترتیب برابر  $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ،  $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ،  $25 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  و  $0.3 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  اعلام نموده اند. حد آستانه ای (NOAEL) برای مواجهه استنشاقی مزمن با جیوه توصیه نشده، معدنک یک LOAEL جهت استنشاق شغلی جیوه در یک هفته کاری برابر  $9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  گزارش شده است. مقادیر شاخص بیولوژیکی تماس (BEI) جیوه کل در ادرار  $35 \text{ } \mu\text{g/gCrea}$  و در خون،  $15 \text{ } \mu\text{g/l}$  اعلام شده است. WHO اعلام نموده که جیوه آب های آشامیدنی باید  $1 \text{ mg/l}$  باشد که این حدود مطابق با استاندارد های بین المللی آب های طبیعی مورد مصرف جهت آشامیدن است.

### وظایف دولتمردان

- تهیه یک اینونتوری یا لیست کامل از موارد مصرف جیوه برای درک بهتر از میزان استفاده و نشر جیوه در کشور یا مناطق خاص آن
- یافتن راههایی برای کنترل استفاده، انتشار و دفع جیوه
- آموزش شهروندان، صنایع و کارکنان خدمات بهداشتی در مورد ریسک های ناشی از جیوه
- کار با صنعت، کارکنان خدمات بهداشتی، شهروندان و سازمان های غیرانتفاعی برای توسعه یک استراتژی کاهش جیوه
- نظارت بر انجام ارزیابی های ارزیابی مواجهه
- تعیین سطح ریسک گروههای در خطر

بررسی راه کارهای به حداقل رساندن مواجهه با جیوه و اثرات مضر آن در بدن بسیار با اهمیت می باشد. جیوه نیز مانند سایر فلزات سنگین تمایل به تجمع در ارگانهای زنده را دارد. لذا باید بتوان با استفاده از روش های گوناگون آن را تحت کنترل قرار داد، این روش های مختلف در واقع روش های فیزیکی، شیمیایی و

بیولوژیکی هستند که در نهایت باعث حذف جیوه موجود در محیط زیست خواهد شد. ارزیابی جیوه با تشکیل جلسه کمیته کارشناسان FAO/WHO در ۱۲-۴ آوریل ۱۹۷۲ در Genera آغاز شد.

مطالعات حاکی از آن است که تنها هزینه های ناشی از کاهش بهره هوشی کودکان و به تبع آن کاهش بهره وری مربوطه در سال ۲۰۰۰، سالانه نزدیک به ۸/۷ میلیارد دلار (با دامنه ۲/۲ تا ۴۳/۸ میلیارد دلار) برآورد شده که بخش اعظم آن مربوط به کارخانجات تولید برق (power plants) آمریکاست. مطالعه هزینه های زیست محیطی آلودگی جیوه نشان داد که برای جبران آلودگی ناشی از هر کیلوگرم جیوه در محیط زیست، به طور میانگین باید نزدیک به ۲۵۰۰ تا ۱/۱ میلیون دلار هزینه کرد. در صورتی که اگر هزینه های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از بیماری های مربوط به جیوه و همچنین هزینه های اجتماعی مرتبط را نیز مدنظر قرار دهیم، آنگاه اهمیت موضوع مشخص تر می گردد.

در مورد هزینه های ناشی از جیوه و ترکیبات آن در ایران، متاسفانه مطالعه ای صورت نگرفته است ولی با توجه به مطالعات سایر کشورها پس از مشخص شدن منابع و مناطق خطر و تهیه آمارهای مربوطه، می توان با توجه به مطالعات سایر کشورها این هزینه ها را محاسبه کرد. در این میان مطالعات محدودی نیز انجام شده است که از جمله آن مطالعه سازمان محیط زیست در آب های بندر ماهشهر است که در آن میزان جیوه، چندین برابر حدود مجاز گزارش شده است. بالاترین رکوردی که در سال گذشته ثبت شده است ۱۴۲۵ ppb می باشد، در حالی که حد مجاز جیوه ۱۵۰ ppb است. میزان آلودگی جیوه در بوشهر و عسلویه نیز در حد مجاز اعلام شده است. یکی دیگر از مناطق زیست محیطی ما که درگیر مشکل آلودگی جیوه می باشد، تالاب انزلی است، که میزان بالای آلودگی آن به خاطر فاضلاب هایی است که به این تالاب وارد می شود. با توجه به این که برای پایش جیوه در محیط های زیست دریایی از شاخص های بیولوژیکی مختلفی مثل میزان جیوه در بدن صدف ها، ماهیان و غیره استفاده می شود (در بدن انسان از خون، ادرار، بندناف و... استفاده می کنند)، در مطالعه ای در کشور، ماهی زروک به عنوان یک نشانگر زیستی مناسب در آب های خلیج فارس معرفی شده است.

لذا حذف جیوه یک اولویت و برنامه جهانی بوده و تهیه، تدوین و اجرای برنامه ای که بتواند این مشکل را برطرف کند الزامی می باشد. برای پیش گیری از خطرات جیوه بهترین راه، حذف کامل مواجهه با آن است که این کار باید به وسیله ارزیابی ریسک صورت گیرد. به این منظور می توان از روش های پایش بیولوژیکی نیز استفاده کرد و میزان جیوه را در بدن افراد در مواجهه به دست آورد. به منظور پیش گیری از خطرات جیوه یکی از راه های مهم جایگزینی جیوه با مواد بی خطر یا کم خطرتر است که خوشبختانه امکان آن وجود دارد.

طبق بررسی ها و برنامه جامع سازمان جهانی UNEP<sup>۳</sup> دو رویکرد برای حذف و کاهش جیوه و مواد حاوی جیوه، تحت عناوین لیست مثبت و لیست منفی پیشنهاد شده است. لیست مثبت بدین معنی است که تولید، مصرف و حمل و نقل کلیه مواد و ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که طی این لیست مشخص شده، اجازه استفاده دارند. لیست منفی نیز بدین معناست که تولید، مصرف و حمل و نقل کلیه مواد و ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که در طی این لیست اعلام شده، ممنوع است. رویکردی که به نظر می

رسد با توجه به شرایط کشور در قالب برنامه عملیاتی قابل اجرا باشد، رویکرد لیست مثبت می باشد. در این راستا مرکز سلامت بهداشت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، در قالب یک طرح پژوهشی تحت عنوان کاهش و حذف جیوه و جایگزینی آن با مواد بی خطر یا کم خطر به منظور حفظ و ارتقاء سلامت عموم جامعه تا پایان سال ۹۵، استراتژی و فعالیت های زیر را پیشنهاد نموده است:

## استراتژی ها

- آموزش مخاطرات، روش های نمونه برداری، تجزیه و راه های کنترل جیوه به کارشناسان شاغل در کارگاه های در مواجهه با جیوه
- آموزش مخاطرات و راه های کنترل جیوه به کارگران و کارفرمایان کارگاه های در مواجهه با جیوه
- آموزش رسانه های عمومی جامعه نسبت به خطرات جیوه و راه کارهای کنترل مواجهه
- جلب و تقویت مشارکت سازمان های مرتبط، جهت کنترل و حذف جیوه از کارگاه ها و کارخانجات
- اطلاع رسانی در مورد جایگزینی جیوه با مواد کم خطرتر و توسعه مکانیسم های اقتصادی و فنی در ایجاد انگیزه برای این جایگزینی.
- تهیه و تدوین پروتکل و آئین نامه اجرایی کنترل و حذف جیوه از کارگاه ها و کارخانجات
- ارائه روش های کاهش مواجهه با جیوه در شرایط فعلی مصرف و تا پایان اجرای برنامه حذف و کاهش
- تقویت بازرسی های کارشناسان بهداشت حرفه ای و محیط با رویکرد توجه بیشتر به مسئله جیوه
- اعلام لیست مواد، ترکیبات و تجهیزات که به علت استفاده از جیوه باید جایگزین یا حذف شوند
- تهیه و تدوین پروتکلی با همکاری سازمان های ذی ربط برای دفع و امحاء صحیح پسماندهای لامپ های حاوی جیوه
- پایش و اندازه گیری جیوه محیطی

## فعالیت ها

- ☑ تدوین برنامه عملیاتی جیوه و ابلاغ به کلیه دانشگاه های علوم پزشکی کشور
- ☑ تعیین اولویت های برنامه
- ☑ برگزاری کارگاه آموزشی برای کارشناسان مسئول و سایر گروه های هدف
- ☑ تهیه چک لیست های لازم در مورد کنترل جیوه توسط کارفرمایان و کارشناسان بهداشت حرفه ای شاغل در صنایع
- ☑ تهیه دستورالعمل شیوه برچسب زنی جهت بسته ها و ظروف حاوی جیوه و ترکیبات آن و علامت گذاری محل های خطر مرتبط با جیوه

- ✓ تهیه دستورالعمل نحوه ارزیابی و شناسایی مناطق، کارگاه ها و افراد در خطر مواجهه با جیوه
- ✓ تهیه دستورالعمل ها و راهنمای کار ایمن با جیوه و ترکیبات آن به همراه ارائه جایگزین های کم خطر و بی خطر
- ✓ ارائه روش استاندارد نمونه برداری و تجزیه نمونه های حاوی جیوه
- ✓ تهیه و تدوین مجموعه های آموزشی در مورد خطرات جیوه و نحوه پیشگیری از آن برای گروه های هدف مختلف
- ✓ طراحی فرم ثبت نتایج اندازه گیری جیوه در محل های مورد ارزیابی برای آزمایشگاه های مربوطه
- ✓ طراحی برگه های نرم افزاری مربوط به آمارهای جیوه (مطابق فرمت های بین المللی) به منظور تهیه پروفایل ملی جیوه
- ✓ ارزیابی و مقایسه اطلاعات جمع آوری شده
- ✓ تهیه راهنمای شناسایی مناطق و افراد در معرض خطر مواجهه با جیوه
- ✓ تهیه نمایه ملی جیوه (شامل اطلاعات مرتبط با چگونگی مصرف، منابع و مناطق پرخطر و...)
- ✓ تهیه برنامه نرم افزاری نمایش روند اجرای برنامه به صورت مصور
- ✓ انجام اقدامات لازم جهت شناسایی سازمان های ذی نفع جهت جلب حمایت های آنان
- ✓ تقویت بازرسی های محیط های کار و مدنظر قرار دادن کارگاه های دارای ریسک فاکتور جیوه در درجه خطر ۱ بازرسی هدفمند
- ✓ انجام پی گیری های لازم جهت اطمینان از اجرای برنامه های کنترل جیوه در کارگاه ها و نظارت بر عملکرد واحدهای تابعه
- ✓ تهیه پرسشنامه اطلاعات شغلی در ارتباط با کارکنان در معرض مواجهه با جیوه
- ✓ تهیه لیستی از مواد و فرآیندها و تجهیزاتی که باید ممنوع شوند. (لیست مثبت)
- ✓ مشارکت در تدوین پروتکل استفاده صحیح و معدوم سازی لامپ های حاوی جیوه
- ✓ تدوین دستورالعمل اندازه گیری میزان جیوه در زنجیره غذایی ذی ربط برای گروه های هدف مشمول برنامه
- ✓ تدوین دستورالعمل اندازه گیری میزان جیوه در پسماندهای بیمارستانی برای گروه های هدف مشمول برنامه
- ✓ انجام اقدامات لازم جهت شناسایی کارگاه ها و صنایع تولید، مصرف یا نگاه داری جیوه
- ✓ انجام اقدامات لازم پژوهشی جهت شناسایی و تهیه آمار وسایل و مواد مصرفی حاوی جیوه و ترکیبات آن



## روش های نمونه برداری و تجزیه جیوه:

### الف) روش نمونه برداری و تجزیه جیوه در هوا:

روش های نمونه برداری و تجزیه جیوه فلزی و ترکیبات معدنی آن در متدهای NIOSH (۶۰۰۲) و OSHA (ID 140) ارائه شده است.

وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه جذب اتمی مجهز به سیستم بخار سرد، لوله جاذب سطحی (Hopcalite in single section, 200 mg) پمپ نمونه بردار فردی (با دبی  $0.15-0.25$  L/min، ترازوی حساس (با دقت  $0.0001$  گرم)، بالن ژوژه، میکرو پی پت و بطری BOD.

مواد شیمیایی لازم:

اکسید جیوه (HgO (II))، آب اکسیژنه (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)، اسید نیتریک HNO<sub>3</sub>، اسید کلریدریک (HCL) و آب دیونیزه.

مراحل انجام کار

الف) نمونه برداری:

- ۱) پمپ نمونه برداری را با استفاده از یک کالیبراتور مناسب، کالیبره نمائید.
- ۲) جاذب سطحی را از طرفین برش داده و به پمپ وصل نمائید.
- ۳) با دبی  $0.15-0.25$  L/min، تا حجم  $100-200$  Lit، اقدام به نمونه برداری نمائید. (با هر سری از نمونه ها، یک نمونه شاهد نیز تهیه کنید).
- ۴) پس از خاتمه نمونه برداری، درپوش جاذب را گذاشته و به آزمایشگاه منتقل نمائید.

ب) آماده سازی نمونه:

جاذب سطحی مورد استفاده را به همراه پشم شیشه آن به درون یک بالن ژوژه  $50$  ml منتقل کنید. ابتدا  $2/5$  ml HNO<sub>3</sub> غلیظ و سپس  $2/5$  ml HCl غلیظ به نمونه بیافزائید. نمونه را به مدت ۱ ساعت باقی گذاشته تا جاذب به طور کامل حل شود. محلول را توسط آب دیونیزه به حجم برسانید. رنگ محلول بایستی آبی یا آبی مایل به سبز گردد.  $20$  ml نمونه توسط پی پت به داخل بطری BOD حاوی  $80$  ml آب دیونیزه اضافه کنید. چنان چه پیش بینی می کنید مقدار جیوه از استانداردها بیش تر است، می توانید مقدار نمونه برداشتی را کاهش دهید، ولی در هر صورت حجم نهائی بایستی  $100$  ml باشد.

ج) کالیبراسیون:

- (۱) محلول استاندارد مادر<sup>۴</sup> جیوه ( $1000 \mu\text{g/ml}$ ): این محلول را با حل نمودن  $1/0.80$  گرم کلرید جیوه در  $50 \text{ ml}$  اسید کلریدریک  $1\%$  و رساندن به حجم  $1$  لیتر توسط آب دیونیزه، تهیه نمائید.
- (۲) محلول استاندارد میانی ( $1 \mu\text{g/ml}$ ): برای ساخت این محلول،  $0/1 \text{ ml}$  محلول استاندارد مادر را به داخل یک بالن ژوژه  $100 \text{ ml}$  حاوی  $10 \text{ ml}$  اسید کلریدریک  $1\%$  منتقل و سپس توسط آب دیونیزه به حجم برسانید.
- (۳) محلول های استاندارد کاربردی<sup>۵</sup>: محلول های کاربردی حاوی  $0/5-0/1-0/01 \mu\text{g}$  جیوه را با اضافه نمودن مقادیر معینی از محلول استاندارد میانی به بطری های BOD حاوی مقادیر کافی اسید کلریدریک  $1\%$  و رساندن حجم نهائی محلول به  $100 \text{ ml}$  بسازید.

(د) اندازه گیری:

- (۱) دستگاه جذب اتمی و سیستم بخار سرد را مطابق توصیه شرکت سازنده تنظیم نمائید.
- (۲) ظروف BOD را ابتدا با آب دیونیزه آبکشی، و سپس محلول استاندارد را به آن اضافه کنید.
- (۳)  $5 \text{ ml}$  محلول کلرید قلع  $\text{SnCl}_2$   $10\%$  در  $\text{HCl}$  به داخل بطری افزوده و صبر کنید که دستگاه جذب اتمی حداکثر میزان جذب را نشان دهد. (جهت ساخت این محلول،  $20 \text{ gr}$  کلرید قلع را در  $100 \text{ ml}$   $\text{HCl}$  غلیظ حل کرده و به آهستگی  $100 \text{ ml}$  آب دیونیزه به آن بیافزائید).
- (۴) میزان جذب را جهت استانداردهای کاربردی قرائت و سپس منحنی استاندارد مربوطه را رسم و غلظت جیوه نمونه هوا را تعیین نمائید.

(ه) محاسبه غلظت جیوه در هوا:

با استفاده از رابطه زیر غلظت جیوه در هوا را محاسبه نمائید:

$$C = \frac{W \frac{V_s}{V_a} - B}{V}$$

که در آن:

C: غلظت جیوه در هوا بر حسب  $\text{mg/m}^3$

Vs: حجم بالن ژوژه در مرحله ۱ آماده سازی نمونه ( $50 \text{ ml}$ )

Va: حجم نمونه در بطری BOD در مرحله ۵ آماده سازی نمونه ( $20 \text{ ml}$ )

B: میانگین غلظت جیوه در نمونه شاهد بر حسب  $\mu\text{g}$

V: حجم هوای نمونه برداری شده بر حسب Lit

W: غلظت نمونه بر حسب  $\mu\text{g}$

<sup>۴</sup> Stock

<sup>۵</sup> Working Standard

## ب) روش نمونه برداری و تجزیه جیوه در خون:

تعیین میزان غلظت جیوه خون، شاخص بیولوژیکی ارزنده ای جهت تعیین میزان مواجهه با جیوه در محیط های کاری است. فشار بخار جیوه ( $0.0012 \text{ mmHg}$  در  $20^\circ \text{C}$ )، اندازه گیری این عنصر را به روش بخار سرد<sup>۶</sup> امکان پذیر می سازد.

وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه جذب اتمی مجهز به سیستم بخار سرد، انکوباتور، ترازوی حساس (با دقت  $0.0001$  گرم)، ورتکس، بطری BOD، لوله های آزمایش یک بار مصرف، بالن ژوژه، پی پت، سرنگ استریل  $5$  میلی لیتری با سرسوزن شماره ۲۱، پنبه الکل، تورنیکه و پوار لاستیکی.

مواد شیمیایی لازم:

اکسید جیوه ( $\text{HgO (II)}$ )، آب اکسیژنه  $\text{H}_2\text{O}_2$ ، اسید سولفوریک  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ، اسید کلریدریک  $\text{HCl}$ ، پرمنگنات پتاسیم  $\text{KMnO}_4$ ، هیدروکسیل آمین هیدروکلراید  $\text{HONH}_2\text{Cl}$ ، کلرید قلع  $\text{SnCl}_2$ ، هپارین و آب دیونیزه.

روش کار:

در این روش تمامی جیوه موجود در نمونه به شکل بخار جیوه (بخار اتمی خنثی) درآمده و از طریق گاز آرگون، به داخل سلول جاذب دستگاه هدایت می گردد. در نهایت میزان غلظت جیوه خون از مقایسه مقادیر جذب نمونه با منحنی کالیبراسیون در طول موج  $253.7$  نانومتر به دست می آید.

الف) نمونه برداری:

(۱) یک نمونه خون توسط سرنگ تهیه نمائید.

(۲) جهت جلوگیری از انعقاد، حدود  $0.5 \text{ ml}$  هپارین ( $1000 \text{ i.u}$ ) به داخل لوله آزمایش ریخته و خون داخل سرنگ را پس از برداشتن سرسوزن به آهستگی به آن اضافه کنید. سپس لوله آزمایش را به ملایمت تکان دهید تا هپارین به خوبی با خون مخلوط شود. این نمونه در حرارت  $4^\circ \text{C}$  به مدت  $3$  روز پایدار می باشد.

ب) کالیبراسیون:

(۱) محلول استاندارد مادر ( $1000 \mu\text{g/ml}$  Stock) جیوه را با حل نمودن  $1.080$  گرم کلرید جیوه در  $1 \text{ ml}$   $50$  اسید کلریدریک  $1:1$  و رساندن به حجم  $1$  لیتر توسط آب دیونیزه، تهیه نمائید.

۲) محلول های استاندارد کاربردی  $2 \mu\text{g/ml}$  و  $4$  و  $6$  و  $8$  و  $10$  جیوه. این محلول ها که بایستی به صورت تازه و روزانه تهیه گردند، را می توانید با رقیق کردن محلول استاندارد مادر توسط اسید کلریدریک ۱:۱ بسازید.

ج) آماده سازی:

۱)  $0.5 \text{ ml}$  نمونه خون داخل لوله های آزمایش که از قبل به دقت شسته و توسط آب دیونیزه آبکشی شده بریزید.

۲) به هر لوله  $3 \text{ ml H}_2\text{SO}_4$  و  $1 \text{ ml H}_2\text{O}_2$  اضافه کنید.

۳) نمونه ها را به مدت ۲۰ دقیقه در دمای  $25^\circ\text{C}$  انکوبه نمائید.

۴) به هر نمونه  $2 \text{ ml}$  پرمنگنات پتاسیم  $5\%$  افزوده و سپس نمونه ها را مجدداً به مدت ۳۰ دقیقه در دمای  $50^\circ\text{C}$  انکوبه کنید.

۵) مقداری هیدروکسیل آمین هیدروکلراید  $12\%$  به نمونه ها اضافه کنید، تا رنگ بنفش نمونه به رنگ سفید تبدیل شود. (در صورت لزوم)

۶) حجم کلیه نمونه ها را توسط آب دیونیزه به  $10 \text{ ml}$  رسانده و جهت اندازه گیری جیوه به داخل بطری BOD دستگاه بریزید.

مراحل فوق را به طور هم زمان جهت محلول های استاندارد کاربردی و بلانک نیز انجام دهید.

د) اندازه گیری:

۱) دستگاه جذب اتمی و سیستم بخار سرد را مطابق توصیه شرکت سازنده تنظیم نمائید.

۲)  $0.5 \text{ ml}$  محلول کلرید قلع  $\text{SnCl}_2$   $25\%$  در  $\text{HCl}$  به نمونه ها اضافه نموده و حداکثر ظرف ۲ ساعت ابتدا میزان جذب را جهت استانداردهای کاربردی قرائت کنید.

۳) منحنی استاندارد مربوطه را رسم و غلظت جیوه نمونه خون را تعیین نمائید.

۱. بهرامی، عبدالرحمن. روش های نمونه برداری و تجزیه آلاینده ها در هوا. جلد دوم، (چاپ دوم)، انتشارات دانشگاه علوم پزشکی همدان، ۱۳۸۱.
۲. پهلوان، داریوش. صادق نیت، خسرو. بررسی وضعیت سطح جیوه خون دندان پزشکان دانشگاه علوم پزشکی تهران. مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی سمنان، جلد ۸، شماره ۴ (تابستان ۱۳۸۶).
۳. خاموردی، زهرا. عصارى، محمد جواد. ملکی، کیکوس. بررسی میزان جیوه ادرار دندان پزشکان شهرستان همدان با سابقه کاری بیش از چهار سال. مجله دندان پزشکی جامعه اسلامی دندانپزشکان، شماره ۱۶ (۸۳) صفحات ۴۸-۴۲.
۴. سینا، محمود. درویش بسطامی، کاظم. زیادلو، آلمار. کرد جزی، سپیده. وجدانیان، مهناز. بررسی پروتئین متالوتیونین به عنوان نشانگر زیستی آلودگی جیوه در ماهی زروک. مجله علمی شیلات ایران، سال نوزدهم، شماره ۳ (پاییز ۱۳۸۹).
۵. ذوالفقاریان، فریبرز. آریا، شراره. خداینده شهرکی، علی رضا. جیوه، خطرات و راه های جلوگیری از مسمومیت جیوه. اولین همایش ملی مهندسی ایمنی و مدیریت HSE، (اسفند ۸۴).
۶. [شهبواری پور](#)، ناهید. بررسی آلودگی جیوه به عنوان یک عنصرسمی زیست محیطی در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی (جنوب غربی دریای خزر). [اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست](#)، (۱۳۸۵).
۷. طاهری آبکوه، رضا. قاسمی هادی. خطرات شغلی در حرفه دندان پزشکی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۱۳۷۸.
۸. گلبابائی، فریده. شریعتی، بتول. حسنی طباطبائی، معصومه. بررسی میزان جیوه ادرار دندان پزشکان شهر تهران و عوامل مؤثر بر آن. مجله دندان پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، دوره ۱۹، شماره ۳ (پاییز ۱۳۸۵).
۹. میرزائی، نیما. کارگر، محمد. کارگر، مهدی. بررسی توانایی باکتری های رودخانه کر در حذف بیولوژیکی جیوه. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره یازدهم، شماره یک، (بهار ۸۸).
۱۰. نقاب، مسعود. کاردانیان، محمدرضا. نوروزی، محمد امین. اثرات بهداشتی مواجهه شغلی با غلظت های کم بخارات جیوه توسط کارگران یک واحد کلرآلکالی. فصل نامه سلامت کار ایران، دوره ۷، شماره ۱ (بهار ۱۳۸۹) صفحات ۳۳-۲۶.
۱۱. اثرات بهداشتی مواجهه شغلی با غلظت های کم بخارات جیوه توسط کارگران یک واحد کلرآلکالی، مسعود نقاب، محمدرضا کاردانیان، محمد امین نوروزی، فصلنامه سلامت کار ایران، دوره ۷، شماره ۱، بهار ۱۳۸۹
۱۲. بررسی آلودگی جیوه به عنوان یک عنصرسمی زیست محیطی در رسوبات سطحی تالاب بین المللی انزلی(جنوب غربی دریای خزر)، ناهید شهبواری پور، خلاصه مقالات اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست
۱۳. بررسی پروتئین متالوتیونین به عنوان نشانگر زیستی آلودگی جیوه در ماهی زروک، محمود سینای، کاظم درویش بسطامی، آلمارا زیادلو، سپیده کرد جزی و مهناز وجدانیان، مجله علمی شیلات ایران، سال نوزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۹ صفحه ۱
۱۴. ACGIH, Threshold limit values for chemicals substances and Physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, Ohio, 2010.
۱۵. Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace Guidelines, World Health Organization, Geneva: 1996.
۱۶. Ghasem Zolfaghari, Abbas Esmaili-Sari, Seyed Mahmoud Ghasempouri, Soghra Faghihzadeh: Evaluation of environmental and occupational exposure to mercury among Iranian dentists: Science of the Total Environment. 2007; 381: 59-67.
۱۷. Guidance for identifying populations, at risk from mercury exposure, Issued by UNEP DTIE Chemicals Branch and WHO Department of Food Safety, Zoonoses and Foodborne Diseases, August 2008.
۱۸. Chemicals, IOMC, Global Mercury Assessment, Issued by UNEP 2002. Geneva, Switzerland, December
۱۹. Kasraei Sh., Mortazavi H., Vahedi M., Bakianian Vaziri P., Assari MJ.: Blood Mercury Level and Its Determinants among Dental Practitioners in Hamadan, Iran: Journal of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences. 2010; 7: 55-63.
۲۰. Lars D. Hylander, Michael E. Goodsite: Environmental costs of mercury pollution: Science of the Total Environment. 2006; 368: 352-370.
۲۱. NIOSH, Analytical Methods Manual. METHOD 6009, Issue 2, dated 15 August 1994.

Patty's Toxicology, Bingham, E., Cohrssen, B. and Powell, H. C. (Eds) (2000) 5 <sup>th</sup> edition, New York: John Wiley & Sons, inc.	.22
Ping Li, Xinbin Feng, Guangle Qiu, Zhonggen Li, Xuewu Fu, Minishi Sakamoto, Xiaojie Liu, Dingyong Wang: Mercury exposures and symptoms in smelting workers of artisanal mercury mines in Wuchuan, Guizhou, China: Environmental Research. 2008; 107:108–114.	.23
Sudhir Kumar Pandey, Ki-Hyun Kim, Richard J.C. Brown: Measurement techniques for mercury species in ambient air: Trends in Analytical Chemistry. 2011; 30: 935-1188.	.24
Wai on phoon, Ramnik Parekh, occupational and environmental health, page 196, 2008 Occupational toxicology, Stacy and winder, chapter 8. Page 291, 2009	.25 .26
GUIDANCE FOR IDENTIFYING POPULATIONS, AT RISK FROM MERCURY EXPOSURE, Issued by UNEP DTIE Chemicals Branch and WHO Department of Food Safety, Zoonoses and Foodborne Diseases, August 2008	.27
Public Health and Economic Consequences of Methyl Mercury Toxicity to the Developing Brain	.28
Leonardo Trasande,1,2,3,4 Philip J. Landrigan,1,2 and Clyde Schechter VOLUME 113 , NUMBER 5 , Environmental Health Perspectives May 2005	.29
Environmental costs of mercury pollution, Lars D. Hylander a,□, Michael E. Goodsite Science of the Total Environment 368 (2006) 352–370	.30
GUIDANCE FOR IDENTIFYING POPULATIONS, AT RISK FROM MERCURY EXPOSURE, August 2008, Issued by UNEP DTIE Chemicals Branch and WHO Department of Food safety, Zoonoses and Foodborne Diseases, Geneva, Switzerland	.31
TOOLKIT FOR IDENTIFICATION AND QUANTIFICATION OF MERCURY RELEASES Guideline, for Inventory Level I, Version 1.1 January 2011	.32





[www.behdasht.gov.ir](http://www.behdasht.gov.ir)