بسم الله الرحمن الرحیم

جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی
مرکز سلامت محیط و کار

دانشگاه علوم پزشکی تهران
پژوهشکده محیط زیست

راهنمای
مواجهه با جیوه در محیط کار

الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار

مرکز سلامت محیط و کار
پژوهشکده محیط زیست

تابستان ۱۳۹۴

شابک: ۹۷۸۶۰۰۶۹۳۷۳۲۸

نام کتاب: راهنمای مواجهه با جیوه در محیط کار

تهیه کننده پیش نویس: دکتر محمدجواد عصاری

ناشر: پژوهشکده محیط زیست

تاریخ و نوبت چاپ: تابستان ۹۴ نوبت اول

سرشناسه: عصاری، محمدجواد، ۱۳۴۶-

عنوان و نام پدیدآور: راهنمای مواجهه با جیوه در محیط کار: الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار/ تهیه کننده محمدجواد عصاری، فرین فاطمی؛ [به سفارش] مرکز سلامت محیط و کار، پژوهشکده محیط زیست.

مشخصات نشر: تهران: وزارت بهداشت درمان و آموزش پزشکی، معاونت بهداشتی، ۱۳۹۴.

مشخصات ظاهری: ۸۸ ص.: مصور.

شابک: ۹۷۸۶۰۰۶۹۳۷۳۲۸

وضعیت فهرست نویسی: فیپا

یادداشت: واژه نامه

یادداشت: کتابنامه

موضوع: جیوه- - پیش بینی های ایمنی- - دستنامه ها

موضوع: ایمنی صنعتی- - دستنامه ها

موضوع: بهداشت صنعتی- - دستنامه ها

شناسه افزوده: فاطمی، فرین، ۱۳۶۰ -

شناسه افزوده: ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. مرکز سلامت محیط و کار

شناسه افزوده: دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران. پژوهشکده محیط زیست

شناسه افزوده: ایران. وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی. معاونت بهداشتی

رده بندی کنگره: ۱۳۹۴ ۶۶ع۹ج/TP ۲۴۵

رده بندی دیویی: ۶۶۱/۰۶۶۳

شماره کتابشناسی ملی: ۳۹۶۲۳۶۶

تاریخ درخواست: ۱۳۹۴/۰۶/۲۳

تاریخ پاسخگویی:

کد پیگیری: ۳۹۵۷۳۱۱

- عنوان: راهنمای مواجهه با جیوه در محیط کار
- کد الزامات: ۱-۱۶-۰۹-۲۰۵۰۲۰۲
- تعداد صفحات: ۸۸

مرکز سلامت محیط و کار:

شهرک قدس ـ بلوار فرحزادی ـ بلوار ایوانک ـ ساختمان مرکزی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ـ بلوک A ـ طبقه ۱۱ـ واحد شمالی

تلفن: ۸۱۴۵۴۱۲۰

http://markazsalamat.behdasht.gov.ir

پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی تهران:

تهران ـ خیابان کارگر شمالی ـ نرسیده به بلوار کشاورز ـ پلاک ۱۵۴۷ طبقه هشتم

تلفن: ۸۸۹۷۸۳۹۹-۰۲۱، دورنگار: ۸۸۹۷۸۳۹۸-۰۲۱

http://ier.tums.ac.ir

تهیه کننده راهنما:

آقای دکتر محمد جواد عصاری

از سرکار خانم مهندس فرین فاطمی که در تهیه این راهنما همکاری داشتند صمیمانه سپاسگزاری می گردد.

فهرست:

۱– مقدمه	۱
۲– هدف	۲
۳– اصطلاحات و تعاریف	۳
۴– خواص فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی جیوه	۴
۴–۱ جیوه عنصری	۴
۴–۲ ترکیبات جیوه	۷
۵– منابع تولید جیوه	۹
۶– انتشار جیوه در هوا	۱۰
۷– راه های مواجهه با جیوه	۱۱
۷–۱ هوا	۱۱
۷–۲ آب آشامیدنی	۱۲
۷–۳ غذا	۱۲
۷–۴ سایر موارد	۱۳
۷–۵ اهمیت نسبی راه های مواجهه با جیوه	۱۳
۸– مصارف صنعتی و غیرصنعتی جیوه	۱۶
۸–۱ تولید و مصرف سوخت	۱۷
۸–۲ تولید فلزات و مواد خام	۱۷
۸–۳ تولید مواد شیمیائی	۱۷
۸–۴ محصولات حاوی جیوه	۱۸
۸–۵ مصارف متفرقه	۱۸
۸–۶ جیوه موجود در زباله و فاضلاب	۱۹
۹– مواجهه شغلی با جیوه	۱۹
۹–۱ مواجهه با جیوه در دندان پزشکی	۲۰

۱۰– کینتیک و متابولیسم جیوه ۲۱
۱۰–۱ جذب ۲۱
۱۰–۱–۱ جیوه عنصری (Hg°) ۲۲
۱۰–۱–۲ ترکیبات معدنی جیوه ۱ ظرفیتی (Hg^{+}) و ۲ ظرفیتی (Hg^{2+}) ۲۳
۱۰–۱–۳ جیوه آلی ۲۳
۱۰–۲ توزیع ۲۳
۱۰–۲–۱ جیوه عنصری (Hg°) ۲۳
۱۰–۲–۲ ترکیبات معدنی جیوه ۱ ظرفیتی (Hg^{+}) و ۲ ظرفیتی (Hg^{2+}) ۲۴
۱۰–۲–۳ جیوه آلی ۲۵
۱۰–۳ حذف ۲۵
۱۰–۳–۱ جیوه عنصری (Hg°) ۲۵
۱۰–۳–۲ ترکیبات معدنی جیوه ۱ ظرفیتی (Hg^{+}) و ۲ ظرفیتی (Hg^{2+}) ۲۶
۱۰–۳–۳ جیوه آلی ۲۷
۱۱– سمیت و خطرات جیوه ۲۸
۱۲– اثرات زیان آور جیوه ۲۹
۱۲–۱ جیوه عنصری ۲۹
۱۲–۲ ترکیبات معدنی جیوه (II) ۳۲
۱۲–۳ متیل جیوه ۳۳
۱۳– ارزیابی ریسک جیوه در انسان ۳۴
۱۳–۱ ارزیابی مواجهه ۳۴
۱۳–۲ گروه های جمعیتی حساس ۳۶
۱۳–۳ بخار جیوه ۳۶
۱۳–۴ ترکیبات معدنی ۳۷
۱۳–۵ متیل جیوه ۳۷

۱۴– حدود مجاز مواجهه شغلی ۳۸
۱۴–۱ PELs –OSHA ۳۸
۱۴–۲ RELs –NIOSH ۳۸
۱۴–۳ TLVs – ACGIH ۳۸
۱۴–۴ OELs ۳۹
۱۵– فوریت های پزشکی ۴۰
۱۶– درمان مسمومیت با جیوه ۴۰
۱۷– کنترل مواجهه با جیوه ۴۱
۱۷–۱ تحلیل ایمنی پروژه ۴۲
۱۷–۲ کنترل های مهندسی ۴۲
۱۷–۳ کنترل های مدیریتی ۴۳
۱۷– ۳–۱ ارزیابی خطر ۴۳
۱۷–۳–۲ وظایف واحد HSE ۴۴
۱۷–۳–۳ آموزش ۴۴
۱۷–۴ روش ایمن کار با جیوه ۴۵
۱۷–۵ برچسب زنی و ذخیره سازی ۴۶
۱۷–۶ بسته بندی و حمل و نقل ۴۷
۱۷–۷ جمع آوری و دفع پسماندهای حاوی جیوه ۴۸
۱۷–۸ پایش کارگران در مواجهه با جیوه ۴۹
۱۷–۸–۱ پایش هوای محیط کار ۴۹
۱۷–۸–۱–۱ تکنیک های اندازه گیری گونه های جیوه در هوا ۴۹
۱۷–۸–۲ پایش بیولوژیک ۵۰
۱۷–۸–۲–۱ جیوه در ادرار ۵۱
۱۷–۸–۲–۲ جیوه در خون ۵۲

۱۷–۸–۲–۳ شاخص های بیولوژیکی مواجهه ۵۳
۱۷–۸–۳ پایش های پزشکی ۵۴
۱۷–۸–۳–۱ ارزیابی پزشکی قبل از شروع به کار ۵۵
۱۷–۸–۳–۲ ارزیابی های پزشکی دوره ای ۵۶
۱۷–۸–۳–۳ ارزیابی های خروج از کار ۵۷
۱۷–۸–۳–۴ دور نمودن شاغلین از مواجهه ۵۷
پیوست ها ۵۹
مراجع ۷۶

پیشگفتار

جیوه از جمله عناصر فلزی اســت که کاربرد وســیعی دارد و به علت اثرات ســمی شناخته شده در انســان و همچنین تجمع زیســتی آن در زنجیره غذایی، از آلاینده های پرخطر شــغلی و زیســت محیطی به شــمار می رود. بر همین اســاس ســازمان ملل متحــد با حضــور نمایندگانی از ۱۳۹ کشــور جهان؛ کنوانسیون منع استفاده از جیوه مینه ماتا را تصویب نمود. کشور جمهوری اسلامی ایــران نیز با توجه به عضویت در این کنوانســیون و پذیــرش آن، ملزم به انجام تعهدات مربوطه در خصوص حذف تدریجی جیوه تا ســال ۲۰۲۰ بر اســاس جدول اجرایی شده است. برای نیل به این هدف ضروری اســت در گام نخست، شناخت صحیح و کاملی از وضعیت بکارگیری جیوه در کشور فراهــم آورد، تا بتوان نســبت به تبیین روش های جایگزین و یــا برنامه ریزی جهت کاهش مصرف آن اقدام نمود.

در راستای حصول به هدف فوق و همچنین ارتقاء سطح آگاهی کلیه کارشناسان بهداشت حرفه ای، کارفرمایان، شاغلین صنایع مرتبط، پزشکان فعال در صنعت و سیاستگزاران سیستم های بهداشتی- درمانی، راهنمای حاضر تحت عنوان «مواجهه با جیوه در محیط کار» تهیه و منتشر گردید.

به منظور دسترسی بیشتر کاربران، این راهنما بر روی تارگاه های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشــکی (وبدا)، معاونت بهداشتی، پژوهشکده محیط زیست دانشــگاه علوم پزشکی تهران و مرکز ســلامت محیط و کار قرار می گیرد. در انتها وظیفه خود می دانم از زحمات کلیه دســت اندرکاران تهیــه و تدویــن این راهنما صمیمانه تشــکر و قدردانــی نموده و بدینوســیله از کلیه متخصصین، کارشناســان و صاحبنظران ارجمند دعوت می شــود تا با ارائه نظرات و پیشنهادات خود این مرکز را در تکمیل این راهنما و همچنین تدوین راهنما در رابطه با دیگر مواجهات آســیب رســان شغلی یاری نمایند.

دکتر خسرو صادق نیت

رئیس مرکز سلامت محیط و کار

۱– مقدمه

جیــوه به علت پایداری در محیط زیســت و تجمع زیســتی در زنجیره غذایــی، از خطرناک ترین آلاینده های زیست محیطی بوده و در برخی کشورها مانند ژاپن و عراق سابقه ناخوشایندی از خود بر جای گذاشــته است. جیوه و ترکیبات آن توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا [1](EPA) در فهرســت III آلاینده های خطرناک هوا [2](HAPs) قرار گرفته اســت. این سازمان همچنین در سال ۲۰۰۵ قانون هوای پاک جیوه را صادر کرد، تا بدینوسیله با ایجاد استانداردهای عملکردی، با کنترل انتشار جیوه، به تصفیه پایدار آن کمک کند. برنامه زیست محیطی سازمان ملل [3](UNEP)، نیز تلاش فوق العاده ای در شناسایی و کمی سازی آلودگی جیوه در سراسر جهان انجام داده، و با استقرار برنامه جیوه، به کاهش ریسک مواجهه کمک کرده است. میزان واردات این فلز در ایران از ۶۶۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۸ به ۱۲۲۰۰۰ تن در سال ۱۹۹۹ افزایش یافته است.

جیوه، فلزی است که در دمای اتاق شکل مایع یا بخار دارد، اما بسته به تغییرات دما و فشار، ممکن است در حالات فیزیکی و اشکال شیمیایی مختلفی وجود داشته باشد. از لحاظ فیزیکی، گونه های جیوه گازی بر ترکیبات ذره ای موجود در هوا غلبه دارد. جیوه گازی به سه دسته گروه بندی شده است: (۱) جیوه عنصری، (۲) جیوه غیرآلی و (۳) جیوه آلی. با توجه به گرایش جیوه به انجام تعامل بیولوژیکی، به‌طور کلی پیش بینی تغییرات غلظت و اشــکال شــیمیایی این فلز دشــوار و پیچیده می باشــد. تشــکیل گونه های مختلف جیوه، یک پارامتر مهم در درک چرخه های جوی و انتشار و رسوب آن در جو می باشد. جو یا هوای موجود در محل مسیر اصلی انتقال جیوه از منابع و انتشار به محیط های مختلف می باشد. رها شدن جیوه به داخل جو در سال ۱۹۸۰، حدود ۶۰۰۰ تن برآورد شــده اســت. غلظت های جیوه در جو، در نتیجه فعالیت های انسانی به ویژه سوزاندن سوخت های فسیلی و زباله های شهری دچار تغییر شده است.

منابع تولید جیوه شــامل منابع نقطه‌ای (واحدهای صنعتی) و منابع انتشــاری (موتورهای احتراق داخلی در کلان شهرها) می گردد. انسان از طریق رژیم غذایی، آب، هوا و مواجهه شغلی در معرض جیوه قرار می گیرد. جیوه آلی موجود در غذا، منبع اصلی مواجهه با این فلز در بیش تر افراد است. آب های سطحی به طور طبیعی میزان بسیار کمی جیوه دارند که از کاربردهای صنعتی، پزشکی و تحقیقاتی جیوه و ترکیبات آن ناشی می شود. متیل جیوه شکل بسیار سمی جیوه است که اغلب به

[1] Environmental Protection Agency
[2] Hazardous air pollutants
[3] United Nations Environment Program

وسیله میکروارگانیسم های موجود در آب، خاک و بافت بدن ماهی ها ساخته می شود. مسمومیت از طریــق خــوردن ماهی های آلوده یکی از بزرگ ترین منابع مســمومیت با جیوه برای اکثر مردم است. بیشترین میزان جیوه معمولاً در بدن ماهی هایی تجمع پیدا می کند که در اقیانوسها زندگی می کنند و وزن بالایی دارند (مانند ماهی تون و شیر).

کنترل جیوه فلزی با توجه به خواص منحصر به فرد آن، بســیار مشکل است. جیوه فلزی وقتی که در معرض هوا قرار می گیرد، می تواند تبخیر گردیده، وارد هوا شــود و در اثر استنشاق جذب بدن گردد. با افزایش دما، جیوه با ســرعت بیش تری وارد هوا می شــود. افزایش دما از ۱۸°C به ۲۶°C، فشار بخار جیوه را دو برابر می کند. جذب جیوه از طریق پوست، چندان قابل ملاحظه نیست. اگر جیوه نشــت پیدا کرده به طور کامل پاک نشود، به آسانی در اطراف پخش می گردد. قطرات جیوه مــی تواند در فضاهای کوچکی مانند درزهای ســطوح و زیر ناخن تجمــع یابد. حذف این قطرات لغزنده از ســطوح کار و یا پوســت، بسیار مشکل اســت. در صورت بروز آلودگی با جیوه، بخار جیوه ایجاد شــده می تواند در کل محیط کار منتشــر، و ســبب آلوده شــدن محیط اطراف کارگر گردد. قطــرات کوچک جیوه فلزی از طریق کفش، لباس، مو و اشــیاء دیگر نیز می تواند در اطراف محل کار، ماشین، و خانه پخش گردد.

این دســتورالعمل باتوجه به الزامات قانونی وزارت بهداشــت، درمان و آموزش پزشــکی و مطابق با ماده ۹۸ و تبصره ۲ ماده ۶۹ قانون‌کار، در راستای صیانت از سلامت نیروی کار و ارتقاء بهداشت و ایمنی محیط کار تهیه و تدوین گردیده تا بتواند کارشناســان بهداشت‌حرفه ای و سایر کارشناسان مرتبط با حوزه بهداشــت، ایمنی و محیط زیســت که برای انجام موثر برنامه های ایمنی و بهداشت به چنین اطلاعاتی نیاز دارند را در مدیریت صحیح ریســک مواجهه با جیوه یاری نماید. امید است رعایت کنترل های توصیه شده در این دستورالعمل، گامی موثر جهت پیشگیری از اثرات بهداشتی ســوء ناشــی از استفاده و یا ریخت و پاش جیوه توسط شاغلین و یا دانشجویانی که با این فلز سر و کار دارند، باشد.

۲–هدف

هدف از انتشار این دستورالعمل عبارت است از:

- ارائه گزیده ای از اطلاعات در زمینه شناســایی، ارزیابی و مدیریت مواجهه با جیوه با اســتفاده از آخرین منابع علمی موجود
- ارتقاء آگاهی، نگرش و مهارت پزشکان طب‌کار، کارشناسان بهداشت‌حرفه ای و همچنین کارگران

و کارفرمایان در خصوص مواجهه با جیوه در محیط‌کار
- جلوگیری از اثرات زیان آور مواجهه با جیوه بر سلامت انسان در شاغلین
- ارزیابی و کنترل سیستماتیک مواجهه با جیوه و ترکیبات آن
- هشدارها و کنترل های مدیریت ایمن فلز جیوه

۳- اصطلاحات و تعاریف

در این دستورالعمل ازاصطلاحات و واژه های زیر استفاده شده است:

جیـوه: این واژه به انواع گونه های جیوه شـامل جیوه عنصـری، جیوه معدنی و کلیه ترکیبات آلی حاوی جیوه اطلاق می گردد.

جیـوه عنصری گازی: جیوه عنصری گازی[1] ($Hg^{o}GEM$:)، با فراریت بالا، که به سـرعت از حالت مایع تبخیر شده و به این ترتیب، شایع ترین شکل جیوه در جو را ایجاد می کند.

جیـوه معدنی: گونه های مهمی مانند، HgO، $HgCl_2$، $HgBr_2$ و $Hg(OH)_2$ که معمولاً به آن ها جیوه گازی فعال[2](RGM) و یا جیوه (II) اطلاق می گردد، این شـکل، جیوه گازی اکسـید شده[3](GOM) نیز نامیده می شود.

جیـوه آلی: این واژه به جیوه ترکیب شـده با مولکول های حاوی کربـن، مانند ترکیبات منومتیل جیوه ($HgCH_3$) و دی متیل جیوه $[Hg(CH_3)_2]$ اطلاق می گردد.

محیط کار: محوطه یا سـاختمان اصلی انجام کار و محل های جنبی (غذاخوری، نمازخانه و...) که جهت استفاده، تردد و یا تجمع کارگران حین کار در نظر گرفته شده است.

منبع: قسمتی از فرایند تولید که منشاء ورود آلاینده به محیط کار است.

پایش هوا: اندازه گیری غلظت جیوه در هوای تنفسی شاغلین در مواجهه با جیوه مطابق روش های استاندارد موجود نظیر طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد

حد تشخیص[4] (LOD): حداقل میزان یک آلاینده که با یک روش تجزیه خاص، قابل شناسائی باشد.

پایش بیولوژیک[5]: اندازه گیری غلظت جیوه در خون یا ادرار افراد در مواجهه با جیوه

اقدامات کنترلی: برنامه ریزی و مستندات مورد نیاز برای کلیه عملیات مهندسی، تحقیق و آموزش، به منظور کاهش میزان مواجهه با جیوه

---
[1] Gaseous elemental mercury
[2] Reactive gaseous mercury
[3] Gaseous oxidized mercury
[4] Limit of ditection
[5] Biological monitoring

خطر بالقوه: پتانسیل آسیب رسانی به سلامتی

ریسک: احتمال آسیب رسانی به سلامتی

ارزیابی ریسک: ارزیابی خطرات بهداشتی در افراد در مواجهه با جیوه

وسایل حفاظت فردی[1]: تجهیزات و لباس هایی که جهت حفاظت از سلامتی کارگر در مقابل مواجهات محیط کار استفاده می شود.

پایش پزشکی: ارزیابی وضعیت سلامت افراد در مواجهه با جیوه با روش های بالینی و پایش بیولوژیکی

حدود مواجهه شغلی[2]: میانگین غلظت یک آلاینده هوا در طول یک دوره زمانی معین در محیط کار

جذب: روشی که به موجب آن یک ماده می تواند وارد بدن گردد.

آمالگام: مخلوط یا آلیاژ جیوه با فلزات دیگر مانند نقره، طلا، مس و روی

حوضچه یا سینی جمع آوری: وسیله مورد استفاده جهت جمع آوری ریخت و پاش های جزئی

سیستم اعصاب مرکزی (CNS): بخشی از سیستم عصبی، شامل مغز و نخاع

مانومتر: ابزاری که برای اندازه گیری فشار گازها و بخارات استفاده می شود.

مکنده جیوه: نوعی مکنده طراحی شده ویژه جهت جمع آوری ایمن ریخت و پاش جیوه

پسماندهای جیوه: به باقیمانده عنصر جیوه در اشیاء، مواد حاوی جیوه یا ترکیبات جیوه ای اطلاق می گردد.

۴- خواص فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی جیوه

۴-۱ جیوه عنصری

جیوه عنصری (Hg^o)، علی رغم فلز بودن، در درجه حرارت طبیعی به حالت مایع است. این ویژگی منحصر به فرد، علاوه بر وزن مخصوص و هدایت الکتریکی بالائی که به جیوه بخشیده، سبب استفاده گسترده آن در صنعت و انواع دستگاه ها و تجهیزات آزمایشگاهی شده است. این کاربردها شامل لامپ قوس الکتریکی جیوه، لامپ های نئون و فلورسنت، دیگ های بخار جیوه، الکترودهای مورد استفاده در الکترولیز، یک سو کننده های قوس الکتریکی، انواع باتری ها، سوئیچ ها، دماسنج ها، فشارسنج ها، رطوبت‌سنج ها و سایر تجهیزات مربوطه می گردد. غیر از جیوه عنصری، اشکال دیگری از جیوه که کاربرد گسترده ای داشته و یا در محیط زیست یافت می گردد

[1] Personal protective equipment
[2] Occupational exposure limit

عبارتند از: ترکیبات جیوه معدنی (II)، مانند هیدروکسید جیوه (II) ($Hg(OH)_2$)، سولفید جیوه (II) (HgS) و کلرید جیوه (II) ($HgCl_2$) و اشکال جیوه آلی شامل گونه های متیل جیوه، مانند منو متیل جیوه (CH_3HgX)، که در آن X، تعداد یون‌های غیرآلی، مانند-Cl و OH و دی متیل جیوه ($(CH_3)_2Hg$) می باشد. در یک جایگاه آلوده، ممکن است اشکال مختلف جیوه وجود داشته و تحت برخی از شـرایط زیسـت محیطی، این ترکیبات می تواند از گونه ای به گونه دیگر تبدیل گردد. رفع آلودگی اشـکال مختلف جیوه به روش های مختلفی نیاز دارد. بنابراین، آگاهی کامل از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی، هیدرولوژیکی، کانی شناسی و بیولوژیکی موثر بر انتقال و سرنوشت جیوه در محیط زیسـت، گام اول و کلیدی در تلاش های موفق با هدف رفع آلودگی می باشد. این آگاهی پایه و اساسی برای انتخاب یا توسعه موثر تکنیک های رفع آلودگی و بازسازی ارائه می کند. جیوه موجود در جو اغلب به شکل بخار جیوه عنصری است. مهم ترین خواص فیزیکی و شیمیایی جیوه عنصری در جدول ۱ ذکر شده است. خواص فیزیکی یک ماده به ویژگی هائی نظیر بو، رنگ، چگالی، نقطه ذوب و نقطه جوش اشاره دارد، که در ترکیب شیمیایی ماده تغییری ایجاد نمی کند. جیوه عنصری، فلزی سنگین به رنگ سفید نقره‌ای است که در دمای معمولی محیط و فشار اتمسفر مایع اسـت. فشار بخار فلز جیوه شـدیداً به دما وابسته بوده و تحت شرایط محیط به آسانی تبخیر می شـود. نقطه ذوب جیـوه ۳۸/۸۷ °C- (۳۷/۹۷ °F-)، و نقطه جـوش آن ۳۵۷ °C (۶۷۵ °F) اسـت. جیوه عنصری همچنین بسیار چگال اسـت، به طوری‌که چگالی آن تحت شرایط محیطی، ۱۳/۵ برابر آب اسـت. این چگالی بالا، فشـار بخار اشباع بالا و نیز کشش سطحی پایین، آزاد شدن فوری جیوه عنصری در سطح زمین را توجیه می کند. انجمن ملی حفاظت از آتش، قابلیت اشتعال خاصی برای بخار جیوه قائل نشـده اسـت. مهار آتش‌سوزی مربوط به بخار جیوه باید خلاف جهت باد و از حداکثر فاصله ممکن انجام پذیرد. منطقه خطر ایزوله گردیده، و از دسترسـی پرسـنل غیر ضروری ممانعت گردد. در هنگام مبارزه با آتش سـوزی ناشی از بخار جیوه، آتشنشانان بایستی به مجموعه‌ای کامل از لباس های محافظ و تجهیزات تنفسی انفرادی مجهز گردند.

خواص شیمیایی به ویژگی های ناشی از واکنش های شیمیایی بین یک ماده با مواد دیگر اشاره دارد. یکی از مهم ترین خواص شیمیایی اشکال مختلف جیوه، ظرفیت های آن ها می‌باشد. جیوه می تواند در سـه حالت اکسایش وجود داشـته باشـد: Hg^o (فلزی)، Hg_2^{2+} (مرکورو) و Hg^{2+} (مرکوریک). خواص و رفتار جیوه به حالت اکسایش آن بستگی دارد. ظرفیت جیوه در سلامت و ایمنی انسان، در آگاهی از انتقال و سرنوشـت جیوه و توسعه فن آوری های موثر در بازسازی، نقش مهمی دارد. جیوه

موجود در آب، خاک، رســوبات یا موجودات ذره بینی (تمام محیط ها به جز جو) بیش‌تر به صورت املاح معدنی و اشکال آلی جیوه می باشد. اطلاعات مربوط به حلالیت جیوه عنصری و ترکیبات جیوه، به ویژه در آب، در آگاهی از انتقال و سرنوشت جیوه مهم هستند. در مقایسه با سایر ترکیبات جیوه، جیوه عنصری نسبتاً در آب نامحلول است (به قسمت بعدی برای ترکیبات جیوه نگاه کنید). پتانسیل ردوکس[1] یکی دیگر از پارامترهای کلیدی چرخه بیوشیمیائی جیوه می باشد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیائی جیوه فلزی

خصوصیات فیزیکی	
عدد اتمی	۸۰
شعاع اتمی	۱/۵ Å
حجم اتمی	۱۴/۸۱ cm^3/g-atom
وزن اتمی	۲۰۰/۵۹
نقطه جوش	۳۵۷/۷۳ °C (۶۷۵ °F)
نقطه جوش/ افزایش فشار	۰/۰۷۴۶ °C/torr
هدایت (حرارتی)	۰/۰۲۲ cal/sec/cm^3.°C
زاویه تماس	۱۳۲درجه
چگالی	۱۳/۵۴۶g/cm^3در ۲۰ °C (۰/۴۸۹ lb/in^3 در ۶۸ °F)
ضریب پخش	۰/۱۱۲cm^2/sec
آرایش فضائی الکترون	$[Xe]4f^{14}5d^{10}6s^2$
ظرفیت حرارتی	۰/۰۳۳۲ ۰/۰۳۳۲ cal/g در ۲۰ °C (۰/۰۶۰Btu/lb در ۶۸ °F)
ثابت قانون هنری	۰/۰۱۱۴atm m^3/mol
کشش دو وجهی (Hg/H_2O)	۳۷۵dyn/cm در ۲۰ °C (۶۸°F)
پتانسیل یونیزاسیون (اولیه)	۱۰/۴۳۷۵ev
پتانسیل یونیزاسیون (ثانویه)	۱۸/۷۵۱ev
نسبت فراوانی ایزوتوپ	(۰/۱۵) ۱۹۶، (۹/۹۷) ۱۹۸، (۱۶/۸۷) ۱۹۹، (۲۳/۱) ۲۰۰، (۱۳/۱۸) ۲۰۱، (۲۹/۸۶) ۲۰۲، (۶/۸۷) ۲۰۴
نقطه انجماد	-۳۸/۸۷°C (-۳۷/۹۷ °F)
بو	ندارد
ضریب انعکاس	۷۱/۲٪ در نور ۵۵۰۰ Å
مقاومت ویژه (حرارتی)	۹۵/۸ × 10^{-6} ohm/cm در ۲۰ °C (۶۸°F)
فشار بخار اشباع	۰/۱۶ N/m^2 (پاسکال) در ۲۰ °C (۶۸°F)
وزن مخصوص	۱۳/۵۴۶ در ۲۰ °C (۶۸°F)
کشش سطحی (در هوا)	۴۳۶dyn/cm در ۲۰ °C (۶۸°F)
مقدار تبخیر (فقط در هوا)	۰/۰۰۷ mg/cm^2.hr. برای ۱۰/۵ cm^2 قطره در ۲۰ °C (۶۸°F)
گرانروی	۱/۵۵۴cp در ۲۰ °C (۶۸°F)

[1] Redox potential

ادامه جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیائی جیوه فلزی

خصوصیات شیمیائی	
E^0 برای $Hg^{2+} + 2e^- = Hg(l)$	۰/۸۵۴ V
E^0 برای $Hg_2^{2+} + 2e^- = 2Hg(l)$	۰/۷۸۸V
E^0 برای $2Hg^{2+} + 2e^- = 2Hg_2^{2+}$	۰/۹۲۰V
الکترونگاتیویته	۱/۹۲ (مقیاس پائولینگ)
حلالیت در آب:	۶۰-۸۰µg/L در ۲۰ °C (۶۸°F)
در بنزن:	۲۰۰۰µg/L در ۲۰ °C (۶۸°F)
در دی اکسان،	۷۰۰۰µg/L در ۲۰ °C (۶۸°F)
در اسید نیتریک:	"محلول"
ظرفیت	۰

۲-۴ ترکیبات جیوه

غیر از جیوه عنصری، اشکال دیگری از جیوه که کاربرد گسترده ای داشته و یا در محیط زیست یافت می گردد عبارتند از: ترکیبات جیوه معدنی(II)، مانند هیدروکسید جیوه (II) ($Hg(OH)_2$) ، سولفید جیوه(II) (HgS) و کلرید جیوه(II)($HgCl_2$) و اشکال جیوه آلی شامل گونه های متیل جیوه، مانند منومتیل جیوه (CH_3HgX)، که در آن X، تعداد یون های غیرآلی، مانند Cl^- و OH و دی متیل جیوه ($(CH_3)_2Hg$) می باشد.

در جداول ۲ و ۳ به ترتیب خواص اصلی برخی از ترکیبات معدنی و آلی جیوه ذکر شده است. اطلاعات مربوط به حلالیت برخی ترکیبات (معدنی و آلی) مهم جیوه در جدول ۴ ذکر شده است. علی رغم دسترسی به اطلاعات کّمی در خصوص حلالیت در آب جیوه عنصری و بسیاری از ترکیبات معدنی جیوه، در خصوص حلالیت ترکیبات آلی جیوه در آب، اطلاعات مختصری موجود بوده و به اطلاعات کیفی محدود می گردد. در اثر ترکیب شدن منومتیل جیوه با آنیون های معدنی با الکترونگاتیویته بالا مانند فلوراید، نیترات، سولفات، فسفات ترکیباتی تولید می گردد که حلالیت آن در آب و الکل بیش تر و در حلال های غیرقطبی (مانند بنزن) کم تر است، در حالیکه در ترکیب شدن آنیون های حاوی هیدروکسید با الکترونگاتیویته پائین با منومتیل جیوه، عکس این موضوع صادق است.

حلالیت یک پارامتر اساسی درگیر در تشکیل آمالگام بین جیوه عنصری و فلزات مختلف می باشد. در شرایط محیطی، نقره، طلا، مس، روی و آلومینیوم در حضور جیوه عنصری مایع یا گازی به آسانی تشکیل آمالگام می دهند. با این‌حال به جز روی، حلالیت این فلزات در جیوه عنصری نسبتاً کم است. حلالیت روی در جیوه، ۲/۱۵ g در ۱۰۰g جیوه است، در حالیکه حلالیت طلا در جیوه تنها

۰/۱۳ g در ۱۰۰g جیوه است. حلالیت نقره، مس و آلومینیوم حتی از طلا نیز پایین تر است. با این حال، این میزان حلالیت کافی است تا تنها مقدار کمی از جیوه عنصری مایع یا گازی، برای خوردگی یا شـکنندگی لوله ها و شـیرهای ساخته شـده از آلیاژ مس، آلومینیوم و فولاد کفایت کند. احتمال خوردگی ناشـی از جیوه عنصری در فلز گالوانیزه که حاوی روی می باشـد، حتی از این نیز بیش تر می باشد. آمالگاماسیون طبیعی جیوه با مواد معدنی فلزی یا تجهیزات فلزی موجود در نزدیکی محل نشت، می تواند انتقال و سرنوشت جیوه عنصری در محیط طبیعی را تحت تاثیر قرار دهد.

جدول ۲- خصوصیات ترکیبات معدنی انتخابی جیوه

	وزن مولکولی (gr/mol)	نقطه جوش (°C)	چگالی در ۲۵ °C (۷۷ °F)، (g/cm^3)	نقطه ذوب (°C)
$HgCl_2$	۲۷۱/۵۰	۳۰۴	۵/۶	۲۷۶
$Hg(NO_3)_2$	۳۲۴/۶۰		۴/۳	۷۹
HgO	۲۱۶/۵۹		۱۱/۱	در ۵۰۰ °C (۹۳۲ °F) متلاشی می شود
HgS (سیاه)	۲۳۲/۶۶		۷/۷۰	در ۵۸۳/۵°C (۱۰۸۲°F) تصعید می شود
HgS (قرمز)	۲۳۲/۶۶		۸/۱۷	در ۳۸۶°C به HgS سیاه تبدیل می شود

جدول ۳- خصوصیات ترکیبات آلی انتخابی جیوه

	وزن مولکولی (gr/mol)	نقطه جوش (°C)	چگالی در ۲۵ °C (۷۷ °F)، (g/cm^3)	نقطه ذوب (°C)
CH_3HgCl	۲۵۱/۰۹	تبخیر در ۱۰۰	۴/۰۶۳	۱۷۰
$(CH_3)_2Hg$	۲۳۰/۶۶	۹۶	۳/۰۶۹	
$(C_2H_5)_2Hg$	۲۵۸/۷۱	۱۵۹	مایع ۲/۴۴۴	

جدول ۴- حلالیت ترکیبات جیوه در آب در ۲۰°C (۶۸°F)

ترکیب	حلال	حلالیت
Hg^o	آب	۶۰-۸۰ µg/L
HgF_2	آب	هیدرولیز می‌شود
$HgCl_2$	آب	۷۰۰۰۰۰۰۰ µg/L
Hg_2Cl_2	آب	۲۰۰۰ µg/L
$HgBr_2$	آب	۶۲۰۵۰۰۰ µg/L
HgI_2	آب	۵۸۰۶۰ µg/L
HgO	آب	۵۳۰۰۰ µg/L
Hg_2O	آب	خیلی ناچیز
HgS	آب	~۱۰ µg/L

۵- منابع تولید جیوه

جیوه از طریق قابلیت گازربائی طبیعی توسط بخار جیوه ای که از قبل در سطح زمین جمع شده، ایجاد شده و به شکل بخار عنصری (Hg^{o}) داخل جو منتشر می گردد. تولید و انتشار طبیعی این فلز، سالانه بین ۲۷۰۰ و ۶۰۰۰ تن تخمین زده می شود، که منشاء برخی از آن ها به فعالیت های انسانی در گذشته برمی گردد. منابع انسانی جیوه متعدد، و گستردگی جهانی دارد. در کل، میزان جیوه آزاد شده ناشی از فعالیت های انسانی در جو در سراسر جهان، سالیانه حدود ۳۰۰۰ ۲۰۰۰ تن تخمین زده می شود. با این حال، باید خاطر نشان نمود که در برآورد میزان گونه های جیوه وارد شده در جو، عدم اطمینان قابل ملاحظه ای وجود داشته و مقدار جیوه آزاد شده در جو ناشناخته است. جیوه توسط استخراج معادن و ذوب سنگ معدن سینابار تولید می گردد. معدن جیوه آلمادن[1] در اسپانیا با تولید بیش از ۱۰۰۰ تن در سال، حدود ۹۰ ٪ از کل تولید اتحادیه اروپا را به خود اختصاص داده است. چرخه جهانی جیوه، انتشار Hg^{o} از زمین و آب های سطحی به جو، انتقال Hg^{o} در جو در مقیاس جهانی، تبدیل احتمالی به گونه های محلول ناشناخته، و بازگشت به زمین و آب با فرایندهای رسوبی مختلف را شامل می گردد. اعتقاد بر این است که رسوب احتمالی جیوه در اقیانوس ها سبب ایجاد سنگ معدن سینابار می گردد. بخشی از جیوه غیرآلی، به Hg^{2+} اکسید شده و در اثر متیله شدن یا سایر راه ها به متیل جیوه تبدیل می شود. تصور می گردد که متیلاسیون در نتیجه واکنش غیر آنزیماتیک بین Hg^{2+} و ترکیب متیل‌کوبالامین (آنالوگ ویتامین B۱۲) که توسط باکتری ها انجام می گردد، تولید شود. این واکنش عمدتاً در سیستم های آبزی صورت می گیرد. باکتری های فلور طبیعی روده انواع گونه های آبزی، از جمله ماهی قادر به تبدیل یون جیوه به ترکیبات متیل جیوه (CH_3Hg^{+}) به میزان بسیار کم می باشند. متیل جیوه به انباشته شدن در بدن ماهی و پستانداران دریایی تمایل زیادی داشته و در بدن گونه های صیادی بزرگ در بالای زنجیره غذائی آبی، به بالاترین حد غلظت خود رسیده و در نتیجه وارد رژیم غذایی انسان می گردد. برخی میکروارگانیسم ها قادر به دمتیله کردن CH_3Hg^{+}، و برخی نیز Hg^{2+} را به Hg^{o} احیا می‌کنند. بنابراین میکروارگانیسم ها نقش مهمی در سرنوشت جیوه در محیط زیست و در نتیجه مواجهه انسان ایفا می کنند.

[1] Almaden

۶- انتشار جیوه در هوا

این موضوع توسط لیندویست[1] و همکاران بررسی شده است. در حال حاضر سطوح زمینه ای جیوه در تروپوسفر نیمکره شمالی ۲ ng/m^3 تخمین زده شده است. این سطوح در لایه‌های بالای تروپوسفر تنها کمی پایین تر است، اما موارد اندازه گیری گزارش شده محدود است. متوسط محدوده غلظت جیوه کل ناشی از فعالیت های صنعتی، در جو مناطق دور افتاده اروپا از جمله مناطق روستایی جنوب سوئد و ایتالیا، در فصول تابستان و زمستان به‌ترتیب ۲-۳ ng/m^3 و ۳-۴ ng/m^3 گزارش شده است. متوسط غلظت جیوه در هوای شهرها معمولاً بالاتر است، این مقادیر به عنوان مثال، در ماینز[2] آلمان، و مناطق شهری ایتالیا، ۱۰ ng/m^3 گزارش شده است. اندازه گیری‌های جداگانه، طیف گسترده ای از مقادیر را پوشش می دهد. این محدوده در همان منطقه شهری ایتالیا، ۲-۳ ng/m^3 بوده است. در اتحادیه اروپا، محدوده های زیر برای جیوه موجود در جو به ثبت رسیده است: مناطق دور افتاده ۰/۰۰۱-۶ ng/m^3، مناطق شهری ۰/۱-۵ ng/m^3 و مناطق صنعتی ۰/۵-۲۰ ng/m^3. غلظت جیوه جوی در مناطق صنعتی یا مناطقی که از قارچ کش های جیوه به طور گسترده استفاده شده، به عنوان **نقاط بحرانی** گزارش شده است. فوجی مورا[3] سطوح جیوه هوا در نزدیکی مزارع برنجی که از قارچ کش های جیوه استفاده شده را ۱۰۰۰۰ ng/m^3، و این مقادیر را در نزدیکی یک بزرگراه شلوغ در ژاپن، ۱۸۰۰۰ ng/m^3 گزارش نموده است. مقادیر جیوه هوا در نزدیکی معادن جیوه و پالایشگاه ها تا ۶۰۰-۱۵۰۰ ng/m^3 نیز بالا می رود.

داده های کمی در خصوص گونه های جیوه در جو موجود است. تشکیل گونه های جیوه جهت درک سرنوشت آن در محیط زیست (به عنوان مثال، جیوه تا چه حد دور منتشر خواهد شد) مهم است. به‌طور کلی Hg^o در جو نسبتاً پایدار و مدت اقامت تروپوسفری آن ۱-۲۱ سال برآورد می گردد (جدول ۵). با این حال، فرض کلی بر این است که بخار جیوه فلزی، شکل غالب است. جانسون[4] و برامان[5] حضور ترکیبات آلی جیوه جوی در خلیج آلوده در فلوریدای ایالات متحده آمریکا را بسیار زیاد گزارش نمودند. در مورد اخیر، بخار جیوه ۵۰٪، بخار هالید و منومتیل جیوه به ترتیب ۲۵٪ و ۲۱ ٪، و دی متیل جیوه تنها ۱٪ از کل جیوه گازی محاسبه گردید. نسبت حلالیت در آب کل جیوه گازی، به طور متوسط ۱۰-۵٪ است. تمام مطالعات منتشر شده تا به

[2] Lindqvist
[2] Mainz
[3] Fujimura
[4] Johnson
[5] Braman

امروز نشان می دهد که میزان ذرات جیوه، از ۵ ٪ کل جیوه موجود در جو کم تر است. با این فرض که جیوه کل عمدتاً بخار جیوه فلزی باشـد، زمان ماندگاری ۳- ۰/۴ سـال داشته و به همین دلیل در سطح جهان توزیع شده است. زمان ماندگاری شکل **محلول در آب** ممکن است تنها چند هفته باشـند. شکل محلول در آب و جیوه ذره‌ای نیز زمان ماندگاری کوتاهی دارند، هر چند این موضوع تنها برای بخش کوچکی از کل جیوه محاسـبه می گردد، با این حال در حمل و نقل و فرآیندهای رسـوبی مهم می باشـند. علاوه بر این، امکان تبدیل برخی از اشکال نامحلول در آب جیوه موجود در جـو، به محلول در آب نیز مطرح شـده اسـت. هیچ داده ای در خصـوص آلودگی هوای محیط داخلی به علت بخار جیوه در دسـترس نیسـت. حرارت دادن جیوه فلزی و اشـیاء حاوی جیوه در منزل، باعث مرگ و میر و مسمومیت شدید می گردد. شکسته شدن منبع ترموستات جیوه ای در محفظه رشـد مورد استفاده جهت نوزادان نارس، سبب افزایش سطوح بخار جیوه نزدیک به مقدار حد آسـتانه مجاز شغلی در این محفظه شده اسـت. مواجهه با بخار سطوح جیوه آزاد شده از رنگ لاتکس ترکیبات حاوی جیوه با ماندگاری زیاد، می تواند تا ۳۰۰-۱۵۰۰ ng/m^3 نیز برسد. آلودگی هوای داخل ناشـی از ترموسـتات حرارت مرکزی و اسـتفاده از جاروبرقی مکنده به دنبال شکسته شدن دماسنج و غیره را نیز نباید از نظر دور داشت. انتشار جیوه از آمالگام پرکننده دندان که اخیراً توسط کلارکسون[1] و همکاران بررسی شده، نشان می دهد که بخار جیوه آزاد شده از سطوح آمالگام به داخل دهان، منبع اصلی مواجهه با جیوه غیرآلی در جمعیت های عمومی است.

جدول ۵- مدت اقامت گونه های مختلف جیوه در جو

ردیف	گونه های جیوه	علامت اختصاری	انتشار در هوا (٪)	مدت اقامت در جو	واکنش‌پذیری
۱	جیوه عنصری گازی	GEM، Hg (0) یا Hg°	>۹۵	۱ ماه تا ۱/۵ سال	بی‌اثر
۲	جیوه گازی فعال	RGM	<۱	۱ روز تا ۱ هفته	خیلی واکنش پذیر
۳	جیوه متصل به ذرات	Hg_p	<۱	۱ روز تا ۱ هفته	واکنش پذیر
۴	جیوه آلی		<۳ از TGM		واکنش پذیر

۷- راه های مواجهه با جیوه

۷-۱ هوا

جیوه موجود در جو و آمالگام، مهم ترین منابع مواجهه انسان با بخار جیوه از راه هوا می باشند. با فرض غلظت‌های روستایی ۲ ng/m^3 و غلظت های شهری ۱ ng/m^3، در نتیجه استنشاق، روزانه حدود ۳۲ ng در مناطق روسـتایی، و حدود ۱۶۰ ng در مناطق شـهری، جیوه وارد جریان خون

[1] Clarkson

بالغین می شود (نرخ جذب ۸۰ ٪). بسته به تعداد پرکردگی های دندان با آمالگام، برآورد مقدار بخار جیوه ای که روزانه از این طریق جذب می گردد، به طور متوسط بین ۱۷۰۰۰-۳۰۰۰ ng متفاوت می باشد. غلظت جیوه اندازه گیری شده در هوای تنفسی در محدوده ۶۰۰۰ -۱۰۰۰ ng/m^3 و هنگامی که تنفس صرفاً از طریق بینی انجام شود، کم تر از ۱۰۰۰ ng/m^3 می باشد. با این حال، برخی از محققین به این نتایج تردید داشته، و با انجام بررسی مجدد، مصرف جیوه روزانه ناشی از پرکردگی های دندان را حدود ۲۰۰۰ng تخمین می زنند.

۷-۲ آب آشامیدنی

جیوه موجود در آب آشامیدنی، معمولاً در محدوده ۱۰۰-۵ ng/l، و مقادیر متوسط آن حدود ۲۵ ng/l می باشد. اشکال مختلف جیوه در آب آشامیدنی، به خوبی مورد مطالعه قرار نگرفته، اما احتمالاً Hg^{2+} گونه غالبی است که به صورت شلات شده با لیگاندها، در آب موجود می باشد.

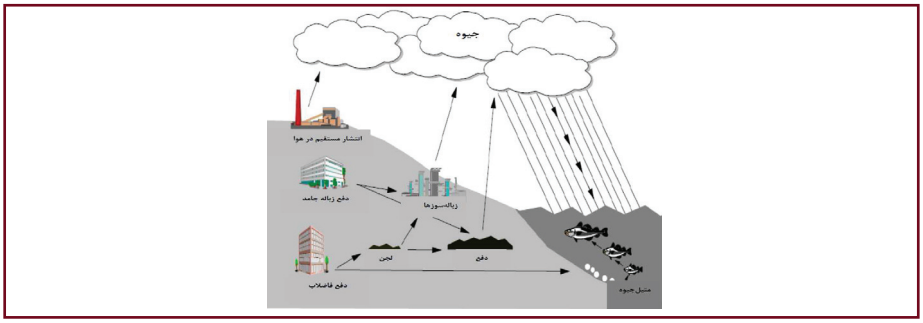
۷-۳ غذا

اغلب غلظت جیوه در بسیاری از مواد غذایی زیر حد تشخیص (معمولاً ۲۰ ng/g وزن تر) می باشد. ماهی و پستانداران دریایی منابع اصلی جیوه عمدتاً به شکل ترکیبات متیل جیوه (۹۰-۷۰ ٪ کل جیوه) می باشند. غلظت طبیعی جیوه در بافت خوراکی گونه های مختلف ماهی، بسته به عواملی مانند pH، پتانسیل اکسیداسیون، سن و اندازه ماهی، طیف گسترده ای بین ۱۴۰۰-۵۰ ng/g وزن تر را تشکیل می دهد. ماهی های صیاد بزرگی مانند کوسه، قزل آلا، ماهی تن و همچنین شیرماهی و نهنگ های دندان دار بالاترین غلظت متوسط جیوه را دارا می باشند.

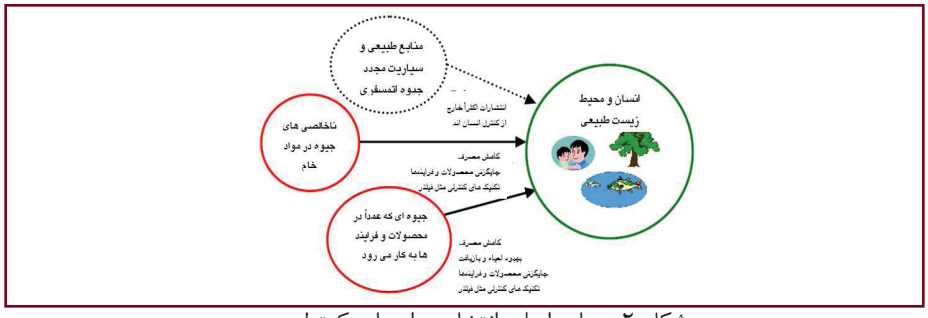
۷-۴ سایر موارد

علاوه بر این، مواجهه با ترکیبات آلی جیوه از طریق استفاده از کرم های روشن کننده پوست و سایر داروهای حاوی جیوه نیز رخ می دهد. از تیومرسال[1] (به میزان ۱۰۰ µg در هر تزریق) برای حفاظت واکسن و ایمونوگلوبولین استفاده می شود. منابع انسانی انتشار، تجمع زیستی و راه های کنترل جیوه در محیط زیست، در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است.

[1] Thiomersal



شکل ۱- منابع انسانی انتشار و تجمع زیستی جیوه



شکل ۲- منابع اصلی انتشار و راه های کنترل جیوه

۷-۵ اهمیت نسبی راه‌های مواجهه با جیوه

افزایش جمعیت، تقاضا برای تولید محصولات گوناگون را به دنبال داشته است. رشد اقتصادی، پیشرفت صنایع و مدرن تر شدن تکنولوژی، علاوه بر تحولات مثبت ایجاد کرده در زندگی بشر، مشکلاتی را نیز برای او به همراه آورده است. فلز جیوه که از طریق صنعت وارد آب دریا می گردد، یک تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت افراد بوده و لذا تا حد امکان باید مقدار آن را در پساب ها کاهش داد. جیوه به صورت گازی از منابع طبیعی و فعالیت هائی نظیر سوزاندن پسماندهائی مانند اکسید جیوه (HgO) موجود در باتری های معمولی مستعمل (که برای جلوگیری از خورده شدن الکترود 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 بود، محسوب می شود. 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. تخلیه فاضلاب های صنعتی کارخانه های کاغذسازی، PVC و کلرآلکالی، مهم ترین منابع آلودگی آب ها به جیوه می باشد. استفاده از ترکیبات آلی جیوه به صورت انواع قارچ کش ها در کشاورزی، از منابع مهم متیل جیوه اســت. این ترکیبات در نتیجه تماس با خاک شکســته شــده و جیوه آن در نتیجه اتصال با گروه های گوگرددار 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 هســتند، اما باید توجه داشــت که طبیعت نیز خود یکی از این عوامل بالقوه ایجاد جیوه می باشد، وجود جیوه در بدن شمشــیر ماهی های دور از منابع صنعتی، به جیوه حاصل از های آتشفشــانی نســبت داده می شــود. به دلیل متنوع بودن زمینه هــای طبیعی جیوه، تفریق ســطوح طبیعی و تجاری در هر بخش از محیط دشــوار اســت. از طریق رخدادها و شرایط آب و هوایی مانند رسوبات طبیعی، فعالیت های آتشفشــانی، فرســایش زمین و طوفان ها، سالیانه حدود ۵۰۰۰ تن جیوه وارد دریا می شــود. 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 ارگانیسم های حیاتی تجمع می یابد. مقدار جیوه در آب های غیر آلوده ng/l ۱ و میانگین برداشت روزانه جیوه کل جمعیت های عمومی در آمریکا از هوا µg/day ۰/۰۴ و از آب µg/day ۰/۰۵ برآورد شده است.

مکانیســم هایی که جیوه به وســیله آن ها وارد زنجیره غذایی می شود به طور کامل شناخته شده نیســتند و ممکن اســت در میان اکوسیستم ها متفاوت باشــند، که در این رابطه برخی باکتری ها نقــش مهمــی را بازی می کنند. باکتری های موجود در محیط زیســت که در پروســه ســولفات هســتند، جیوه را از فرم معدنی غیرآلی گرفته، و آن را به واســطه فرایند متابولیکی به متیل‌جیوه تبدیل می کنند. تغییر جیوه معدنی به متیل‌جیوه مهم اســت، زیرا ســمیت آن بیش تر شده و لذا ارگانیســم ها زمان طولانی تری را برای حذف متیل جیوه نیاز خواهند داشــت. باکتری های حاوی متیل جیوه ممکن اســت به وســیله سطوح بالاتر در زنجیره غذایی مصرف شده و یا توسط باکتری به داخل آب دفع شــوند، که در آن جا ســریعاً به وسیله پلانکتون ها جذب شده و پلانکتون ها نیز به وســیله سطح بعدی در زنجیره غذایی مصرف می شوند. به این دلیل که حیوانات متیل جیوه را ســریع تر از آن‌که دفع کنند، انباشــته می کنند، لذا غلظت بالاتری از جیوه توسط حیوانات در هر ســطح از زنجیره غذایی مصرف می شــود، از این رو غلظت های کم متیل جیوه در حیوانات به‌ویژه ماهــی و پرندگانی که ماهی مصرف می کنند، به آســانی غلظت هــای بالقوه مضر ایجاد کرده و در نهایت در بدن انسان تجمع می یابد. برداشت جیوه از غذاهای فاقد ماهی، µg/day ۳/۶ و در صورت مصرف ماهی µg/day ۶/۶ گزارش شده است.

مواجهه انسان با سه شکل عمده جیوه موجود در محیط زیست به طور خلاصه در جدول ۶ نشان شده است. اگر چه انتخاب مقادیر داده شده تا حدودی به صورت دلخواه انجام گرفته، با این حال، این جدول چشم اندازی از اهمیت نسبی مسیرهای مختلف مواجهه را ارائه می کند. انسان ممکن است از طریق شغلی و مناطق خیلی آلوده، با مقادیر زیادی از سایر اشکال جیوه مانند ترکیبات آریل و آلکوکسی‌آریل که به طور گسترده ای به عنوان قارچ کش استفاده می شوند، مواجهه داشته باشد. جذب جیوه از آب آشامیدنی حدود ۵۰ ng/day می باشد که عمدتاً به شکل Hg^{2+} بوده و تنها بخش کوچکی از آن جذب می شود. جذب روزانه متیل جیوه ناشی از مصرف ماهی و فراورده های آن در طول هفته‌ها یا ماه ها، به طور متوسط بین ۲۰۰۰-۴۷۰۰ng تخمین زده می شود. به علت نزدیکی سطوح جیوه کل موجود در بسیاری از مواد غذایی به حد تشخیص، و عدم شناخت کامل گونه های شیمیایی و پیوند لیگاند جیوه، برآورد جذب جیوه غیرآلی از مواد غذایی دشوار است.

جذب جیوه کل از رژیم غذائی، در گروه های سنی مختلف بیش از چند سال اندازه گیری شده است. در بررسی سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا[1] (FDA) (۱۹۸۴-۱۹۸۶)، جذب روزانه جیوه با توجه به گروه سنی، برای نوزادان ۱۱-۶ ماهه، ۳۱۰ ng، برای کودکان ۲ ساله، ۹۰۰ng و برای بالغین ۳۰۰۰-۲۰۰۰ ng اندازه گیری شده است. در بررسی های انجام شده در بلژیک، جذب جیوه کل از تمام مواد غذایی، بین ۶۵۰۰-۱۳۰۰۰ng برآورد شده است.

جدول ۶- تخمین میزان جذب روزانه ترکیبات جیوه باقی مانده بر حسب نانوگرم (ng)

تخمین میزان جذب روزانه ترکیبات جیوه (باقی مانده[a])			
محیط	بخار جیوه	ترکیبات معدنی جیوه	متیل جیوه
جو	۴۰-۲۰۰[b] (۳۰-۱۶۰)	۰[c]	۰[c]
غذا: ماهی	۰	۶۰۰ (۶۰)[d]	۲۴۰۰ (۲۳۰۰)[d]
غیرماهی	۰	۳۶۰۰ (۳۶۰)	۴
آب آشامیدنی	۰	۵ (۵۰)	۰
آمالگام دندان	۳۸۰۰-۲۱۰۰۰ (۳۰۰۰-۱۷۰۰۰)	۰	۰
کلیه موارد	۳۹۰۰-۲۱۰۰۰ (۳۱۰۰-۱۷۰۰۰)	۴۲۰۰ (۴۲۰)	۲۴۰۰ (۲۳۰۰)

a. مقادیر داخل پرانتز مقادیر باقی مانده حاصل از پارامترهای فارماکوکینتیکی است. به طور مثال، ۸۰٪ بخار استنشاق شده، ۹۵٪ متیل جیوه خورده شده و ۱۰٪ جیوه معدنی.

b. با فرض غلظت هوا ۱۰-۲ ng/m^3 و حجم تنفس روزانه $20 m^3$.

c. از غلظت سایرگونه ها در مقابل بخار جیوه جهت اهداف مقایسه ای، صرف نظر شده است.

d. فرض بر این است که ۸۰٪ کل جیوه موجود در بافت های ماهی خوراکی به صورت متیل جیوه و ۲۰٪ آن به شکل ترکیبات معدنی جیوه می باشد. میزان جذب جیوه، به طور قابل ملاحظه ای در بین افراد مختلف یک جمعیت متفاوت است. در برخی جوامع که منبع اصلی تأمین پروتئین، ماهی می باشد، مقادیر جذب ممکن است چندین برابر از مقدار برآورد شده بیش تر باشد.

[1] Food and Drug Administration

۸- مصارف صنعتی و غیرصنعتی جیوه

جیوه در صنایع به سه شکل فلز، ترکیبات آلی و 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 سوزآور، دماسنج های جیوه ای، پرکننده های دندان پزشکی، مخازن فشارسنج، انواع باتری ها، رنگ های پلاستیک، لامپ های فلورسنت و تهیه کرم های ضد آفتاب، ضد عفونی‌کننده و انواع پماد استفاده می گردد. از جیوه معدنی نیز در ساخت آفت‌کش ها، مواد ضد عفونی‌کننده، باتری های خشک و مواد نگاه دارنده موجود در بعضی ترکیبات دارویی استفاده می شود. یکی از کاربردهای مهم جیوه، ساخت آمالگام[1] می باشد. آمالگام، آلیاژ جیوه با فلزات یا ترکیبات فلزی است. به‌عنوان مثال، آمالگامی که برای پر کردن دندان به کار می رود، آلیاژی به نسبت برابر از جیوه مایع و مخلوط نقره و قلع است. از سال ۱۵۷۰ تا سال ۱۹۰۰، از آمالگام جیوه 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 آمالگام جیوه استفاده می کنند، به این ترتیب که با افزودن جیوه به خاک معدنی حاوی مقادیر کمی طلا یا نقره، با تشکیل آمالگام آن را استخراج کرده و سپس با گرم کردن، جیوه را تبخیر می کنند. در برخی از کارخانجات کلرآلکالی، از طریق الکترولیز، محلول آبی کلرید سدیم را به محصولات تجاری کلر و هیدروکسید سدیم تبدیل می کنند.

یکی دیگر از مصارف عمده جیوه، تولید لامپ بخار جیوه یا لامپ های کم مصرف می‌باشد. این لامپ ها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی شده و طول عمر بیش تری دارند. این لامپ ها، مصرف را ۴ تا ۶ برابر لامپ های معمولی، بهینه می کنند، اما به دلیل وجود جیوه، جزء زباله های خطرناک هستند و در صورتی‌که همراه با زباله های دیگر و به روش سنتی دفع شوند، موجب آلودگی محیط زیست خواهند شد. در برخی کشورها قرار دادن این لامپ ها همراه سایر زباله ها جریمه های سنگینی دارد، اما متاسفانه در کشور ما در این زمینه اقدامات و اطلاع رسانی مناسبی صورت نگرفته و مراکزی هم برای جمع آوری زباله های خطرناک وجود ندارد و حتی روی بسته بندی این لامپ ها نیز هیچ هشداری درباره خطرناک بودن بخار جیوه ذکر نشده است.

استفاده از جیوه و ترکیبات آن در قارچ کش ها، با توجه به تأثیر خاصیت سمّی جیوه بر موجودات

[1] Amalgamation

زنـــده، اهمیت زیادی دارد. در کشـــاورزی ترکیبات آلی جیوه به منظور پوشـــش هـــای دانه ای به کار برده می شـــوند تا از رشـــد قارچ روی بذور کشـــاورزی جلوگیری کنند. ترکیبات جیوه در لوازم بهداشـــتی و آرایشی به عنوان کرم های زیبایی، محافظ پوست و جلوگیری از آکنه به کار می روند، ۶ تـــا ۱۰ درصـــد وزن این فـــرآورده ها را کالومل (کلرید جیوه) تشـــکیل می دهـــد. از آن جایی‌که ترکیبات جیوه به راحتی جذب پوســـت می شوند، ســـازمان نظارت بر مواد غذایی و دارویی آمریکا (FDA) اســـتفاده از این ترکیبات را در فرآورده های بهداشـــتی منع کرده است. مصارف صنعتی و غیرصنعتی جیوه را می توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

۸-۱ تولید و مصرف سوخت

- احتراق زغال سنگ در نیروگاه های بزرگ، خصوصاً در بویلرهای گرمایی ۳۰۰ مگاوات به بالا
- کاربرد نفت سنگین و کک نفتی
- احتراق گازوئیل، بنزین، نفت، کروزن، گاز طبیعی و زغال چوب
- استخراج و تصفیه نفت و گاز طبیعی

۸-۲ تولید فلزات و مواد خام

- تولید روی، مس و سرب از کنستانتره
- فرایند تولید و استخراج اولیه فلز جیوه
- استخراج طلا به روشی غیر از ملغمه با جیوه
- تولید آلومین از بوکسیت (آلومینیوم) و فلزات آهنی (آهن و فولاد)
- معدن‌کاری طلا با ملغمه کردن جیوه (از سنگ معدن، از کنستانتره و از پساب)
- تولید سیمان، مقوا و کاغذ

۸-۳ تولید مواد شیمیائی

-تولید مواد شیمیایی و پلی مرها
- تولید کلرآلکالی با سلول های جیوه
- تولید استالدئید با کاتالیست جیوه
- تولید منومر کلرید وینیل با کاتالیست جیوه

- تولید کلرید و هیدروکسید سدیم
- تولید اسفنج پلی اوره تان با استفاده از کاتالیست

۸-۴ محصولات حاوی جیوه

- دماسنج های جیوه ای (پزشکی، هوا، آزمایشگاهی و صنعتی)
- سوئیچ های الکتریکی و رله های حاوی جیوه
- منابع نوری حاوی جیوه (لامپ های مهتابی، لامپ های فشرده و کم مصرف جیوه ای)
- باتری های حاوی جیوه
- فشارسنج ها و انواع گیج های حاوی جیوه
- آفت‌کش های حاوی جیوه
- رنگ های حاوی جیوه
- کرم های روشن کننده پوست و صابون های با مواد شیمیایی حاوی جیوه
- استفاده در دندان پزشکی (پرکردن دندان با آمالگام، تهیه آمالگام و دفع پسماندهای مربوطه)
- باتری های حاوی جیوه (مانند باتری اکسید جیوه، باتری ساعت، باتری های تخت، قلمی، پرمنگنات و غیره)
- سلول های حاوی جیوه (مانند دکمه ای، قلمی آلکالین، اکسید- نقره و انواع سلول های جیوه- روی)

۸-۵- مصارف متفرقه

- تولید توده های سبک وزن مثل مهره های رسی برای کاربردهای ساختمانی
- آراستن دانه های گیاهی با مواد شیمیایی حاوی جیوه
- نیمه رساناهای تشخیص پرتو زیر قرمز
- مصارف آموزشی
- پمپ های خلاء حاوی جیوه
- استفاده از جیوه به عنوان خنک‌کننده در برخی سیستم های سرماساز
- استفاده در دباغی ها
- پیگمان سازی
- انواع خاصی از برگه های چاپی رنگی

- مواد منفجره (فولمینات جیوه در چاشنی بسیاری از فشنگ ها)
- مواد آتش بازی
- در تولید برخی اسباب بازی ها

۸-۶ جیوه موجود در زباله و فاضلاب

- فاضلاب ها و پسماندهای یونیت های دندان پزشکی (بزرگ ترین منبع)
- فاضلاب های صنعتی و خانگی
- فاضلاب بیمارستان ها، آزمایشگاه ها، مدارس و دانشگاه ها
- تصفیه فاضلاب و بازیافت جیوه (محصول ثانویه)
- پسماندهای شهرداری و عمومی، پسماندهای خطرناک، پسماندهای پزشکی، لجن فاضلاب
- تل انبار کردن و دفن غیر رسمی پسماندهای شهری و عمومی
- سوزاندن پسماند به صورت روباز (در منطقه دفن یا به صورت غیر رسمی)

۹- مواجهه شغلی با 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 فشارسنج‌ها)، لامپ های الکتریکی، باتری ها (به‌ویژه 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، یک سوکننده های جریان برق، تولید کلر و کاغذ، آمالگام های دندان پزشکی، گریس، رنگ های محافظ چوب، مواد منفجره، فتوگراف ها، حشره‌کش ها، قارچ‌کش ها، تولید فولاد، تعمیر دستگاه های هواشناسی، کلیدهای الکتریکی بی صدا، زباله سوزها، آب‌کاری، چرم سازی، تاکسی درمی، نیروگاه های زغال سوز و گازسوز، عملیات آزمایشگاهی مرتبط با جیوه، خنک‌کننده های راکتورهای هسته ای، نقاشی، جواهرسازی و غیره. مواجهات شغلی با جیوه در ایران، عمدتاً در واحدهای کلرآلکالی، صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه های تولید دماسنج، معادن طلا و کلینیک های دندان پزشکی رخ می‌دهد.

مواجهه شغلی با بخار جیوه متعاقب تنفس، دارای پتانسیل قوی ایجاد اثرات بهداشتی از طریق جذب از ریه ها، می باشد. شدت مواجهه با جیوه به تعدادی از عوامل مانند دوز، سن فرد در

معرض (حساس ترین جنین است)، مدت زمان مواجهه، راه مواجهه (مانند، استنشاق، بلع و تماس پوستی)، و وضعیت سلامت فرد در معرض بستگی دارد. که می تواند شامل اثرات کوتاه مدت، علائم برگشت‌پذیر (مانند، لرزش، تغییرات احساسی، بی خوابی، تغییرات عصبی و عضلانی، سردرد، اختلال در حس، تغییرات در پاسخ های عصبی و اختلال در عملکرد آزمون عملکرد شناختی. علاوه بر این، و جدی تر، می تواند باعث آسیب های بهداشتی شدید یا غیرقابل برگشت (مانند: نارسایی کلیوی و تنفسی، و در موارد شدید، حتی مرگ) گردد.

۹-۱ مواجهه با جیوه در دندان‌پزشکی

آمالگام، آلیاژ جیوه فلزی با یک فلز دیگر شامل قلع و نقره بوده و حدود ۱۵۰سال است که در دندان پزشکی کاربرد دارد. اگرچه آمالگام از نظر زیبایی نسبت به ترمیم های هم رنگ دندان درسطح پایین تری قرار دارد، ولی همچنان به دلیل هزینه کم، طول عمر، دوام، مهروموم کردن، آسان بودن مراحل کارکرد و پرداخت، برای کاربرد مستقیم به عنوان مادۀ ترمیمی در دندان های خلفی خصوصاً در مناطق تحت استرس، ترجیح داده می شود. در سال ۲۰۰۱ ترمیم های آمالگام برای ترمیم حفرات تحت نیرو در دندان های خلفی، توسط بیش از ۷۵٪ از دندان پزشکان در انگلستان و ۵۴٪ از دندان پزشکان در آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است.

دندان پزشکان و تکنسین های دندانی یکی از گروه های در معرض خطر مواجهه شغلی با آمالگام بوده و چون جیوه در دمای اتاق تبخیر می شود، هنگام آماده‌سازی، خارج کردن و یا پرداخت دندان پرشده، در مواجهه با بخارات جیوه می باشند. اگر چه بعضی از مطالعات حاکی از بی خطر بودن مواجهه مزمن با جیوه در دندان پزشکان می باشد، ولی گروهی دیگر از مطالعات اثبات کرده اند که آمالگام عوارض قابل توجهی روی سلامت دندان پزشکان ایجاد می کند. مهم ترین فاکتورهای موثر در افزایش میزان مواجهه دندان پزشکان با جیوه عبارتند از: میزان قطرات جیوۀ فلزی و باقی مانده های ذرات آمالگام در محل کار، آماده سازی، جای گذاری و برداشتن ترمیم های آمالگامی، برش و تراش آمالگام، پرتاب تصادفی ذرات، آمالگام هایی که برای مصرف کنار گذاشته شده اند، روش مخلوط کردن آمالگام، پولیش کردن آمالگام، نشت از کپسول آمالگام حین آمالگام سازی، نوع آمالگام مصرفی، برداشتن اضافات جیوه تازه مخلوط شده با دست، آمالگاماتورهای مکانیکی، کندانسورهای اولتراسونیک، عدم استفاده از ساکشن با مکش بالا[1] هنگام برداشتن آمالگام های

[1] High Vacuum

قدیمی، اســتفاده از استریلیزاســیون خشــک (فور) و بخار جیوه برخاســته از روی زمین، تهویه و نوع پوشــش کف. علاوه بر موارد ذکر شــده، افزایش ســابقه کار و عمر مطب، رعایت استانداردهای بهداشــتی مانند عادات شستشــو و تمیزکردن وسایل، سن و ســابقهٔ کار دندان پزشک، ساعات کار در هفته و تعداد ترمیم ها در هفته، از عوامل دیگری اســت که در میزان مواجهه دندان پزشــکان با جیوه دخالت دارد. تماس پوست با آمالگام نیز می تواند باعث جذب جیوه گردد. اگر چه این مواجهه اندک اســت ولی به مرور زمان باعث تجمع جیوه در بدن می شــود. در ضمن اســتفاده از ماسک و دستکش خطر مواجهه را به طور کامل از بین نمی برد.

۱۰– کینتیک و متابولیسم جیوه

کینتیک جیوه شــامل مراحل جذب، انتشــار، متابولیســم و دفع بوده و به میزان زیادی به شــکل جیوه (عنصری، ترکیبات معدنی یا آلی) جذب شــده بســتگی دارد. به طور مثال آمالگام که حاوی ۶۰ـ۴۵ درصــد جیــوه و ۳۰ درصد نقره بــوده و به عنوان ماده ترمیمی در دندان پزشــکی به کار می رود، یک ســم است اما نمی تواند برای ما خطرناک باشد، زیرا اتم های نقره به سختی اتم های جیــوه را نــگاه می دارند. همچنین کلرور مرکورو ($HgCl$) که هر مولکول آن دو اتم جیوه و دو اتم کلر دارد، یک دارو است. در حالیکه کلرور مرکوریک ($HgCl_2$) که هر 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 می شود. همچنین هر مولکول مرکورکروم که در گذشته برای معالجه زخم ها به کار می رفت، نیز دارای یک اتم جیوه است.

۱۰-۱ جذب

جیوه از طریق دســتگاه تنفس، دســتگاه گوارش و پوســت می تواند وارد بدن شــود. اصلی ترین راه جذب جیوه در مواجهات شــغلی، استنشــاق هوای آلوده یا تماس پوستی در محیط کار دندان پزشکی، خدمات بهداشتی، صنایع شیمیایی و غیره می باشد. در حالیکه خوردن ماهی و حلزون های صدف دار آلوده به متیل جیوه، استنشاق بخارات موجود در هوا، کوره های زباله سوز و صنایعی که ســوخت حاوی جیوه را می سوزانند و رها شدن جیوه ناشی از خدمات دندان پزشکی و بهداشتی-درمانی، راه های مهم مواجهه جمعیت های عمومی با جیوه می باشند. جیوه معدنی (جیوه عنصری و ترکیبات معدنی) از طریق رســوبات طبیعی، زباله هــا 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 جیوه 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 جیوه سمی تر می باشند. جذب ترکیبات جیوه معدنی از دستگاه گوارش بسیار ناچیز است. مهم ترین راه مواجهه شغلی با جیوه، استنشاق بخار جیوه می باشد. در حالیکه پر کردن دندان با آمالگام و همچنین جیوه آلی موجود در منابع غذایی دریایی، 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 برونشیولیت و پنومونیت کند، جیوه از ریه ها به جریان خون نفوذ کرده، سپس از سد خونی- مغزی[1](BBB) گذشته و آسیب شدیدی به CNS می رساند. جیوه از تمام فلزات، فرّارتر و بخار آن کاملاً سمی است. شکل 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 باعث ایجاد گاستروآنتریت، کلاپس قلبی- عروقی، نکروز حاد توبولی در کلیه و مرگ می گردد. حدود ۱۰٪ املاح معدنی جیوه از دستگاه گوارش جذب می شود و با ایجاد HgS در روده، باعث کند هوشی می گردد، این مورد سابقاً جهت بیمارانی که برای درمان یبوست از بلعیدن جیوه استفاده می کردند، مصداق داشته است.

۱۰-۱-۱ جیوه عنصری (Hg°)

استنشاق راه مهمی برای مواجهه با Hg^{o} محسوب می شود، به‌طوری که حدود ۸۰ ٪ از بخار جیوه استنشاق شده در جریان خون باقی مانده و از این طریق در بافت ها توزیع می شود. مقدار جیوه وارد شده از طریق استنشاق با بینی یا دهان یکسان است. جذب پوستی ناشی از مواجهه انسان با بخار جیوه ناچیز بوده و با سرعت متوسط ۰/۲۴ $\mu g/m^2$ در دقیقه از پوست 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. جذب جیوه عنصری در دستگاه گوارش ضعیف است (کمتر از ۰/۰۱٪ در موش صحرایی)، البته افزایش سطح جیوه خون انسان بعد از بلع تصادفی چند گرم فلز جیوه اندازه گیری شده است.

[1] Blood Brain Barrier

۱۰-۱-۲ ترکیبات معدنی جیوه ۱ ظرفیتی (Hg^{+}) و ۲ ظرفیتی (Hg^{2+})

ته نشینی و جذب ذرات معلق جیوه معدنی استنشاق شده، به اندازه ذرات و حلالیت بستگی دارد. هیچ داده ای در این خصوص برای انسان گزارش نشده است. مورو[1] و همکاران با انجام مطالعه ای در سگ گزارش کردند که ۴۵٪ از ذرات معلق اکسید جیوه (II) (با قطر متوسط ۰/۱۶ µm) ته نشین شده، در کم تر از ۲۴ ساعت و مابقی با یک نیمه عمر ۳۳ روزه پاک می گردد. حدود ۱۵-۱۰٪ از یک دوز خوراکی غیر سمی جیوه (II) از جدار دستگاه گوارش افراد بالغ جذب شده و در بافت های بدن آنان باقی می ماند. جذب از دستگاه گوارش کودکان، احتمالاً بیش تر است.

۱۰-۱-۳ جیوه آلی

در خصوص جذب ریوی دی متیل جیوه گازی و ذرات معلق ترکیبات منو متیل جیوه، اطلاعاتی وجود ندارد. با توجه به موارد مسمومیت انسان از طریق استنشاق و توانایی عبور سریع این ترکیبات از غشای سلولی، به نظر می رسد که بخش زیادی از آلکیل جیوه استنشاق شده به جریان خون جذب شود. ترکیبات آلکیل جیوه تقریباً به طور کامل از دستگاه گوارش جذب شده و در بدن باقی می مانند. برخی از ترکیبات متیل جیوه احتمالاً از طریق پوست جذب می شوند.

۱۰-۲ توزیع

۱۰-۲-۱ جیوه عنصری (Hg^{o})

پس از مواجهه با بخار جیوه، فلز جیوه عنصری به صورت فیزیکی در خون حل می شود. در عرض چند دقیقه، جیوه موجود در گلبول‌های قرمز توسط واکنش کاتالیزی آنزیم کاتالاز، سریعاً به یون Hg^{2+} اکسید می شود. واکنش اکسیداسیون Hg^{o} به Hg^{2+} در بدن و محیط های آبی مطابق شکل زیر است:

$$(Hg\text{-}Hg)^{++} \rightleftharpoons Hg^{2+} + Hg^{o}$$

مکانیسم بیولوژیکی این اکسیداسیون، توسط آنزیم کاتالاز در حضور پراکسید هیدروژن انجام می گیرد. البته در حیوانات واکنش احیای Hg^{2+} به Hg^{o} نیز دیده می شود. Hg^{o} 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 پس از اکسید شدن به Hg^{2+}، در حد وسیعی اعمال سمیت می کند.

[1] Morrow

پـس از مواجهه کوتـاه مدت با بخار جیوه، حداکثر غلظت جیوه در گلبـول های قرمز در کم تر از ۱ ساعت دیده می شود، در حالیکه سطوح پلاسمائی پس از حدود ۱۰ ساعت به حداکثر می رسد. قبل از اکسیداسیون، Hg^{o} به آسانی از غشای سلولی موانعی مانند خون، مغز و جفت عبور می کند. پس از اکسیداسیون، یون‌های Hg^{2+} (یا کمپلکس‌ها) از طریق خون در بدن توزیع می شود. کلیه ها و مغـز، ارگان هـای هـدف اصلی برای جایگزینی جیـوه پس از مواجهه با بخار جیوه می باشـند، نمک هـای غیرآلـی جیوه عمدتاً در کلیـه تجمع می کنند. مصرف الکل، جـذب یا حذف جیوه را تغییر می دهد، که احتمالاً به علت مهار کاتالاز اسـت. بنابراین مقدار جیوه موجود در گلبول های قرمز خون افرادی که قبل از مواجهه با جیوه الکل مصرف کرده باشند، به طور قابل توجهی کاهش می یابد. بخار جیوه مکرراً در تمام بدن توزیع شـده و به آسـانی از سد خونی- مغزی و جفت عبور کرده و در شیر و سایر مایعات بیولوژیک ظاهر می گردد.

۱۰-۲-۲ ترکیبات معدنی جیوه ۱ ظرفیتی (Hg^{+}) و ۲ ظرفیتی (Hg^{2+})

کلیه جایگاه اصلی تجمع جیوه غیرآلی است. در حالیکه این ترکیبات در سلول های غشای مخاطی دستگاه گوارش نیز، تجمع پیدا می کنند، البته بخش قابل توجهی از این تجمع، حذف شده و هرگز به گردش خون عمومی نمی رسد. جیوه (II) موجود در خون، به طور مساوی بین گلبول های قرمز و پلاسـما تقسـیم می گردد. در گلبول های قرمز، جیوه عمدتاً به گروه های سـولفیدریل مولکول هموگلوبیـن و همچنین به گلوتاتیـون متصل می گردد. توزیع بین بخش های مختلف پلاسـما- پروتئیـن، بـا دوز و زمان مواجهه تغییر می کند. جیوه (II) به میزان محدودی در موانع خون، مغز و جفـت نفوذ می کند. با این‌حال، جیوه (II) در جفت، غشـاهای جنینی و مایع آمنیوتیک تجمع می یابد.

میزان جذب از خون، در اندام های مختلف به طور گسترده ای متفاوت است، بسته به میزان حذف از ارگان های مختلف، توزیع جیوه در بدن و ارگان های مختلف به طور گسترده ای با دوز و زمان پس از جذب تغییر می کند. در هر حال تحت هر شـرایط، کلیه بهترین جایگاه جیوه در بدن پس از مواجهه با جیوه (II) می باشـد. جیـوه دو ظرفیتی معدنی می تواند متالوتیونین را کاهش دهد، بخـش زیادی از جیوه محلول درکلیـه ها به متالوتیونین متصل می گردد. علاوه بر این، یون جیوه غیرآلی احتمالاً با سـلنیوم کمپلکسـی ایجاد می کند، که چربی دوستی آن از یون های خود جیوه بیش تر بوده و با توجه به مطالعات تجربی، به میزان معینی از غشاهای بیولوژیکی عبور می کند.

۱۰-۲-۳ جیوه آلی

متیل جیوه از طریق جریان خون به تمام بافت ها در بدن توزیع می گیرد، فاز اولیه در حدود ۳ روز کامل می شود. جز گلبول های قرمز که غلظت جیوه آن ۲۰-۱۰ برابر غلظت پلاسمایی است، الگوی توزیع بافتی مواجهه با جیوه آلی از جیوه غیرآلی بسیار یکنواخت تر است، متیل جیوه به آسانی از موانع خون مغز و جفت عبور می کند. متیل جیوه در جنین، خصوصاً در مغز انباشته و تغلیظ می گردد. مانند سایر اشکال جیوه، بالاترین غلظت بافتی در کلیه ها جایگزین می گردد، هر چند مقدار جیوه کل ته نشین شده ممکن است در عضلات بیش تر باشد. مطالعات تجربی نشان داده که کینتیک و حذف متیل جیوه تفاوت هائی را در دو جنس نشان می دهد. در پایان فاز اول توزیع، در یک لیتر خون یک فرد بالغ با وزن ۷۰ کیلوگرم، حدود ۱٪ متیل جیوه یافت می شود. نسبت غلظت در مغز به خون، حدود ۵ به ۱ است. با فرایند شکل گیری رشته های مو، متیل جیوه در مو تجمع می یابد. در زمان ورود جیوه به مو، نسبت غلظت خون به مو در فرد، حدود ۲۵۰ به ۱ می باشد. متیل جیوه تحت تاثیر تغییرات زیستی در روده، به جیوه غیرآلی تبدیل می گردد.

۱۰-۳ حذف

۱۰-۳-۱ جیوه عنصری (Hg^{o})

پس از مواجهه کوتاه مدت با بخار جیوه، حدود یک سوم از جیوه جذب شده بدون تغییر از طریق بازدم دفع می گردد، در حالی که باقی مانده عمدتاً از طریق مدفوع حذف خواهد شد. پس از مواجهه طولانی مدت (چند سال)، مقدار حذف از طریق ادرار و مدفوع برابر خواهد شد. انجام مطالعات تحقیقی با افراد داوطلب نشان می دهد که کاهش سطح جیوه در خون، پس از مواجهه با یک دوز واحد، به خوبی توسط دو تابع نمایی با نیمه عمر معادل حدود ۳ و ۳۰ روز برای هر یک قابل توصیف است. کم ترین نیمه عمر برای جیوه در خون حدود ۹۰٪ محاسبه شده است. در حالی که حذف جیوه معدنی با وجود تغییر نیمه عمرهای بیولوژیکی با توجه به بافت و مدت زمان مواجهه، از یک الگوی پیچیده پیروی می کند. بنابراین نیمه عمر جیوه معدنی در کلیه، همانند کل بدن، ۶۴ روز به دست آمده است. اخیراً در مطالعه انجام شده در ۱۰ دندان پزشک و پرستار دندان پزشکی در مواجهه شغلی با جیوه، با فرض کینتیک درجه اول برای کلیرانس جیوه ادرار حاصل از بخار جیوه، نیمه عمر به طور متوسط ۴۱ روز گزارش شده است.

از سطوح خونی جیوه می توان به عنوان شاخص مواجهه اخیر با بخار جیوه استفاده نمود، هر چند

بـــه منظور حذف تاثیـــر احتمالی جذب جیوه از رژیم غذایی حاوی ماهـــی، نوع گونه جیوه نیز باید مشخص گردد. معذلک در حال حاضر هیچ شاخص کلی و مناسبی که منعکس کننده وجود غلظت جیوه معدنی در اندام‌های بحرانی نظیر مغز و کلیه در شـــرایط متفاوت مواجهه باشـــد، وجود ندارد. این موضوع از الگوی پیچیده پیشنهاد شده برای متابولیسم ترکیبات مختلف جیوه ناشی می شود. یکی از نتایج مهم این است که علی رغم بالا بودن غلظت جیوه در اندام های حیاتی، غلظت جیوه در خـــون یا ادرار ممکن اســـت بلافاصله پس از توقف مواجهه کاهش یابـــد، در مقابل، میزان جیوه ادرار با مواجهه طولانی‌مدت مرتبط است. تفاوت فردی (از جمله میزان دفع روزانه) نیز باید در نظر گرفته شـــود. برای پایش بیولوژیکی بخار جیوه، هرگز نباید از مدفوع اســـتفاده شود، و غلظت های جیوه مو می تواند ناشی از جذب احتمالی Hg^{o} از جو بوده و ارتباطی با سطوح نداشته باشد.

مطالعـــات نشـــان می دهد که ادرار افـــراد دارای بیش از ۳۶ ترمیم دندانی، به طور متوســـط دارای ۳۰ nmol/l جیـــوه در مقایســـه بـــا گـــروه کنتـــرل ۶ nmol/l فاقـــد ترمیم با آمالگام می باشـــد. گزارشـــات WHO حاکی از افزایش دفع ادراری جیوه بیش از ۳۰ nmol/mmol.crea ناشی از مواجهه شـــغلی با غلظت ۵۰ $\mu g/m^3$ در هوا می باشـــد. همچنین مقادیر Hg^{o} در بازدم افرادی با پرکردگی های آمالگام برابر ۸/۲$\mu g/m^3$ می‌باشـــد، که ۱۰۰ برابر سطوح جیوه در هوای بازدم افراد بدون پرکردگی های آمالگامی اســـت. افرادی که تعـــداد ترمیم آمالگامی زیادی دارند، روزانه حدود ۱۲-۱۰ µg جیوه جذب می کنند. همچنین نشان داده شده است که جذب جیوه فلزی از آمالگام می تواند از ۲۱ µg/day نیز بیش تر شود.

۲-۳-۱۰ ترکیبات معدنی جیوه ۱ ظرفیتی (Hg^{+}) و ۲ ظرفیتی (Hg^{2+})

دفع جیوه معدنی جذب شـــده اســـت عمدتاً از طریق ادرار و مدفوع صورت می گیرد، که در صورت مواجهه زیاد، ادرار مســـیر دفع غالب اســـت. میزان دفع از هر دو مسیر، تقریباً برابر است. نیمه عمر تمام بدن در بالغین حدود ۴۰ روز است. بخار جیوه عمدتاً به شکل جیوه (II) حذف می گردد، لذا این موضوع در پایش بیولوژیکی جیوه حائز اهمیت می باشد. نیمه عمر جیوه در ادرار حدود ۲ ماه بوده و از آن جائی‌که مقادیر جیوه ادرار ارتباط نزدیکی با سطوح جیوه در کلیه ها دارد، اندازه گیری جیوه ادرار به طور گســـترده ای برای ارزیابی مواجهه با جیوه معدنی کاربرد دارد. مطالعه کلیرانس بخار جیوه رادیواکتیو، 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^{2+} متناسب است.

بهترین شـــاخص ارزیابی مواجهه شـــغلی با جیوه، اندازه گیری جیوه کل در خون و ادرار می باشـــد. مطالعات نشـــان می دهد که اندازه گیری جیوهٔ ادرار عملی ترین و حســـاس ترین روش برای نشان دادن مواجهات شـــغلی با غلظت های پایین جیوهٔ معدنی می باشـــد. اندازه گیری جیوه در خون را می توان در دو بخش خون تام و پلاســـما انجام داد و به این ترتیب می توان مواجهه شـــغلی با جیوه فلزی و مواجهه غیرشـــغلی ناشـــی از غذاهای دریایی را مشخص کرد. در صورتی‌که جیوه ادرار فقط نمایانگر مواجهه با جیوه معدنی است. بعد از مواجهه، حداکثر غلظت جیوه در ادرار حاصل شده و در خون به آرامی کاهش می یابد. حداکثر غلظت جیوه در خون، ۴-۲ روز پس از مواجهه اتفاق می افتد. لذا تجزیه خون پس از مدت های طولانی، فاقد اطلاعات مفید می باشـــد. به طور کلی غلظت جیوه ادرار ناشـــی از مواجهه با بخار جیوه، به جهت اکســـید شـــدن به Hg^{2+} کاهش می یابد. دفع Hg^{o} ممکن است به دنبال تماس حاد با آمالگام، یا از طریق امکان احیای Hg^{2+} در بدن ایجاد گردد.

۱۰-۳-۳ جیوه آلی

دفـــع متیـــل جیوه عمدتاً از طریق مدفـــوع انجام می گیرد. متیل جیـــوه در روده به آرامی به جیوه غیرآلی تبدیل گردیده، و بیش ترین مقدار آن (البته نه همه آن)، به شـــکل غیرآلی دفع می گردد. چرخه مجدد آنتروهپاتیک، عدم وجود احتمالی متیل جیوه در مدفوع را توجیه می کند. نیمه عمر تمام بدن متیل جیوه معمولاً بین ۸۰-۷۰ روز اســـت، اما در این بین تفاوت های قابل توجهی نیز رخ می دهد. نیمه عمر در مغز تقریباً با نیمه عمر تمام بدن برابر اســـت. در حالی که نیمه عمر در خون تا حدودی کم تر اســـت. اســـتفاده از تکنیک های ردیابی در مطالعات انجام شده در حیوانات آزمایشـــگاهی حاکی از آن اســـت که پس از تجویز حاد متیل جیوه، غلظت جیوه خون در ابتدا، به خوبـــی نمایانگر منطقی غلظت اندام خواهد بود، اما با گذشـــت زمان، نســـبت ســـربار بدن در مغز، عضلات و کلیه افزایش می یابد. در کلیرانس کل بدن و توزیع بافتی جذب روده ای متیل جیوه در جوندگان، تفاوت های جنســـی نشـــان داده شده است. در نسبت غلظت جیوه در خون و اندام های هدف بالقوه، نیز تفاوت وابسته به جنس مشاهده شده است.

غلظت خون ممکن اســـت یک شاخص مفید برای جیوه ســـربار بدن باشد، در حالیکه غلظت جیوه در گلبول های قرمز برای مواجهه با متیل جیوه اختصاصی تر اســـت. بنابراین در مواقع مشـــکوک بودن به مواجهه با بخار جیوه یا سایر ترکیبات جیوه غیرآلی، یا باید نوع گونه جیوه مشخص گردد و یا نمونه ســـرم تجزیه گردد. تجزیه مو خصوصاً در بررســـی مواجهه با متیل جیوه که با ترکیبات

مو پیوستگی دارد، حائز اهمیت است. با توجه به رشد مو (حدود ۳mm در هفته) می توان سیر پیشرفت مسمومیت را با تجزیه اجزاء مو بررسی نمود. همچنین با اندازه گیری جیوه مو تنها در طول یک رشته، می توان به عنوان یک شاخص، از سطوح خونی فرد در گذشته اطلاع حاصل نمود. با این‌حال جذب جیوه از محیط خارج به سطح مو ممکن است باعث ایجاد خطا در نتایج گردد. علاوه بر این مواجهه هم‌زمان با جیوه معدنی از راه دهان، سبب افزایش سطوح جیوه خون در مقایسه با سطوح جیوه مو می گردد.

۱۱– سمیت و خطرات جیوه

خطرات استفاده از جیوه توسط مصریان باستان که از بردگان جهت کار در معادن جیوه استفاده می کردند، کشف شده، و بردگانی که در معادن شنگرف (HgS) رومی ها کار می کردند، احتمالاً به خاطر سمّیت آمالگام جیوه در استخراج طلا، بعد از ۶ ماه می مردند. از اوایل قرن هجدهم میلادی توجه دانشمندان به مواجهه شغلی و مواجهه افراد عادی با جیوه جلب شد.

مسمومیت با جیوه می تواند از استنشاق، بلع، یا جذب از طریق پوست ناشی گردد. جیوه عنصری به دلیل فرار بودن، مخاطراتی را برای سلامتی ایجاد می کند. جیوه عنصری به صورت بخار، به سیستم اعصاب مرکزی[1] (CNS) نفوذ کرده و بعد از یونیزه شدن، در آن جا به دام می افتد، و در نتیجه اثرات سمی شدید ایجاد می کند. اما هدف اصلی Hg^{2+} کلیه ها و کبد است. جیوه عنصری به خوبی توسط دستگاه گوارش جذب نمی شود، بنابراین در هنگام خورده شدن، سمیت خفیفی تولید می کند. جیوه فلزی و ترکیبات جیوه در صورت استنشاق و یا باقی ماندن برای بیش از یک دوره زمانی کوتاه بر روی پوست، بسیار خطرناک می باشند. دی متیل جیوه به سرعت در پوست نفوذ می‌کند. بسته به نوع جیوه و دوز، علایم ممکن است نسبتاً به سرعت (بیماری حاد) و یا طی چند سال بروز کند (بیماری مزمن). جیوه عنصری یا موجود در هوا که در مایعات بدن به متیل جیوه تبدیل شده، بسیار سمی تر می باشد. تاکنون مدارک محدودی در ارتباط با سرطانزا بودن جیوه ارائه شده است. علاوه بر این، جیوه موجود در محیط زیست به آسانی در زنجیره غذایی تجمع زیستی می یابد. انواع ترکیبات جیوه، سمیّت متفاوتی دارند، ترکیباتی مانند فنیل جیوه، کم ترین میزان سمیّت، و ترکیبات الکیل جیوه بیش ترین سمیّت را دارند. سمیت و خطرات ترکیبات مختلف جیوه

[1] Cental nevrous system

در زیر ذکر شده است:

- بخار جیوه (مانند جیوه عنصری) از طریق استنشـاق به آسـانی جذب شده و همچنین از طریق پوست سالم جذب می شود. پس از جذب، خون جیوه عنصری را به سیستم اعصاب مرکزی منتقل نموده و در آن جا اکسید می شود. محصول اکسیداسیون ایجاد آسیب بدنی می کند. در افرادی که در مواجهه شدید با جیوه عنصری می باشند، علائم مشخصی از جمله: لرزش دست، کم رویی، بی خوابی، و بی ثباتی عاطفی (مانند نشـانه های بیماری لرزش کلاه سازان) ایجاد می شود. زمانی‌که مایع جیوه گرم می شـود، بخارات آن می تواند به سـطوح بسـیار بالا برسـد. اگر کنترل محل کار ناکافی باشد، چنین سطوحی تقریباً بلافاصله باعث ایجاد عوارض جانبی در انسان می شود.
- نمک های جیوه (مانند نیترات جیوه) بسیار سمی و خورنده بوده که با تجمع زیاد در کلیه، باعث آسیب کلیوی می گردد.
- ترکیبات آلی جیوه با حمله به سیسـتم اعصاب مرکزی باعث لرزش، اختلال در بینایی و شنوایی و فلج می گردد. این ترکیبات همچنین ممکن اسـت باعث نقص هنگام تولد شـود. اثرات ناشی از مواجهه بیش از حد با جیوه موجود در هوا یا تماس پوسـتی با ترکیبات جیوه ممکن اسـت برای ماه ها و یا سال ها قابل توجه نباشد.
- فولمینات جیوه $Hg(ONC)_2$، ماده‌ای که در چاشنی های انفجاری استفاده می شود.
- اکسید جیوه (II) که مانند یک اکسید کننده قوی می تواند باعث شروع سوختن مواد آلی گردد.
- دی متیل جیوه، ماده بسـیار سـمی، مایع بی رنگ و خوش بو با خطر آتش سوزی شدید با فلش پوینت $-۴\ ^{\circ}C$ می باشـد. این ماده به سـرعت به پوسـت نفوذ می کند و مواجهه با مقادیر بسـیار جزئی باعث سـمیت شـدید و کشنده می گردد. هنگام کار با این ماده، لازم است احتیاطات شدید اعمال گردد.

۱۲– اثرات زیان‌آور جیوه

به علت تفاوت در کینیتیک سمیت، اثرات زیان آور جیوه به اشکال شیمیایی ترکیبات آن بستگی دارد.

۱۲-۱ جیوه عنصری (Hg°)

بررسـی اثرات بهداشـتی بخار جیوه بر سـلامت، حاکی از ایجاد آسیب وابسـته به دوز در سیستم عصبی، مخاط دهان وکلیه ها می باشـد. اثرات بر سیسـتم عصبی به صورت لرزش و نشـانه‌هائی از اختـلالات روانی و اختلال در حافظه کوتاه مدت، تحریک پذیری شـدید و کناره‌گیری از روابط

اجتماعی آشـکار می گردد. درگیری سیسـتم عصبی محیطی نیز به صورت کاهش سرعت هدایت عصبی بروز می کند. اثر بر سیستم عصبی خصوصاً در عملکرد خودکار، معمولاً برگشت پذیر است. ایجاد خیلی آهسـته اختلالات شـناختی و تغییر عواطف، مضرترین اثرات ناشـی از مواجهه شغلی می باشـد. بخار جیوه می تواند سـندرم نفروتیک ایجاد نماید که باعث از دسـت دادن بیش از حد پروتئین (عمدتاً آلبومین) در ادرار و ایجاد ادم می گردد، که حساسـیت های فردی سـبب ایجاد تفاوت های قابل توجهی در این مورد می شود. مواجهه با سطوح پایین بخار جیوه فقط با مشاهده مقادیر جزئی پروتئین و آنزیم در ادرار همراه است. اثرات کلیوی زودرس جیوه به طور کلی پس از قطع مواجهه ایجاد می گردد.

عوامـل مربوط به میزبان اهمیت ویژه ای در ایجاد سـندرم نفروتیـک در کارگران در معرض بخار جیـوه یا ترکیبات جیوه غیرآلی دارد. افزایش گردش آنتی‌گلومرولار در غشـای پایه آنتی بادی ها در ۸ مورد از ۱۳۱ کارگر مرد در مواجهه شـغلی مشـاهده شده است. در مطالعه دیگر ارتباط بین مواجهه با جیوه غیرآلی و افزایش سـطح ایمونوگلوبولین IgA و IgM نشـان داده شـده ولی هیچ رابطه دوز- اثری به دسـت نیامده اسـت. در هر دو مطالعه در تعداد نامعلومی از افراد مورد مطالعه، مواجهه نسبتاً بالا بوده است. مطالعه بر روی ۳۶ نفر از کارگران کلر آلکالی با متوسط غلظت جیوه ادرار ۱۳ µg/g، هیچ گونه اثر بر روی گویچه های سـفید خون، ایمونوگلوبولین ها یا آنتی بادی ها نشان نداده است. با این حال مطالعات حیوانی حاکی از وجود اثرات ایمونولوژیکی است که به طور ژنتیکی تعیین می شود، با توجه به محدود بودن تعداد کارگران در مواجهه مورد بررسی، اثر سمیت ایمنی ناشی از مقادیر کم جیوه معدنی در افراد مستعد را نمی توان نادیده گرفت.

اخیراً یک مطالعه بر روی میمون ها نشان داده که مواجهه با آمالگام می تواند باعث غنی سازی فلور روده بـا گونـه های باکتریایی مقاوم به جیوه گردد، که خود می تواند به نوع مقاوم به آنتی بیوتیک تبدیل گردد. در حال حاضر ما برداشت مشخصی از این مشاهدات در میمون ها نداریم، اما مقاومت به آنتی بیوتیک ها، به طور کلی یک مشـکل فزاینده در پزشـکی اسـت. به نظر می رسد مواجهه با بخار جیوه سـبب تجمع جیوه در غده هیپوفیز مـی گردد. در حالیکه هیچ ارتباطی بین مواجهه جیوه با متوسـط سطح جیوه ادرار ۳۷ µg/g و سطح سرمی پرولاکتین، هورمون محرک تیروئید و هورمون محرک فولیکول وجود ندارد.

در خصوص اثرات بخار جیوه بر مراحل اولیه چرخه زندگی انسـان، اطلاعات محدودی در دسترس است. اثرات جیوه بر بارداری و تولد نوزاد در زنان در معرض شغلی با جیوه بخار گزارش شده است،

اما اطلاعات کافی برای ارزیابی ارتباطات دوز- پاسخ در دسترس نمی باشد. برای ارزیابی سربار بدن در افراد در مواجهه مزمن با جیوه، اغلب از شاخص های موجود در ادرار استفاده می شود. غلظت جیوه نمونه های ادرار افراد بدون مواجهه مشخص با جیوه، در حدود ۹۸٪ موارد، کم تر از µg/litre ۵ است. مواجهه شغلی مزمن با جیوه می تواند در افراد بالغ حساس با مقادیر جیوه ادرار µg/litre ۵۰-۱۰۰، سبب ایجاد پروتئینوری گردد. لرزش و اختلالات روانی معمولاً در مقدار جیوه ادرار بیش از µg/litre ۳۰۰ مشاهده می گردد، اما هیچ آستانه معینی منتشر نشده است (جدول ۷). در افراد حساس، اثرات ممکن است در مقادیر جیوه ادرار حدود µg/litre ۱۰۰ نیز دیده شود. بیش تر اثرات بخار جیوه، معمولاً چند ماه پس از خاتمه مواجهه از بین می روند.

استنشاق حاد بخار جیوه ممکن است علائم مسمومیتی شبیه به تب بخار فلزی از جمله لرز، تهوع، ضعف عمومی، احساس فشار در قفسه سینه، درد قفسه سینه، تنگی نفس، سرفه، التهاب لثه، سیلان بزاق و اسهال ایجاد نماید. استنشاق مقادیر زیاد بخار جیوه در یک زمان کوتاه، به سرعت سبب ایجاد مسمومیت می‌گردد. علائم با سرفه، درد قفسه سینه، مشکل در تنفس و ناراحتی معده آغاز شده، و به پنومونی شیمیایی و برونشیت نکروزان، که می تواند کشنده باشد، منجر خواهد شد. کودکان بیش تر از بالغین مستعد ابتلا به مسمومیت بوده و جیوه موجود بر روی لباس، پوست و موی آنان خطرناک است. مواجهه کودکان با مقادیر قابل توجهی از جیوه، می‌تواند سبب ایجاد **بیماری صورتی** با راش پوستی در سراسر بدن، لرزش، تورم و سوزش در دست، پا، گونه ها و بینی، حساسیت به نور، مشکلات خواب و عرق کردن زیاد گردد. بلع جیوه نیز سبب زخم و سوراخ در جدار دستگاه گوارش و خونریزی شدید و گاهی کشنده می شود.

استنشاق بخار جیوه در طول زمان، بر مغز انسان، نخاع، چشم ها، و کلیه ها و همچنین سیستم ایمنی بدن اثر سوء دارد. مواجهه مزمن با بخار جیوه ممکن است باعث ضعف، خستگی، بی اشتهایی، کاهش وزن، ناتوانی در تمرکز، لرزش، احساس سوزن سوزن شدن، یا از دست دادن حس لمس در دست، زبان یا پلک، تغییر رنگ قرنیه و عدسی چشم، اختلالات بینائی و اختلال در عملکرد دستگاه گوارش گردد. لرزش ممکن است ابتدا از انگشتان، پلک و لب ها شروع شده و به لرزش تمام بدن و اسپاسم مزمن پیشرفت منتهی گردد. به همراه توسعه لرزش، ممکن است تغییرات رفتاری و شخصیتی از جمله افزایش تحریک‌پذیری، از دست دادن حافظه، بی خوابی، و افسردگی نیز ایجاد گردد. در پوست ممکن است قرمزی و برافروختگی غیرطبیعی، تعریق بیش از حد و بثورات ماکولار نامنظم مشاهده گردد. از دیگر علائم مواجهه مزمن با بخار جیوه، می توان به اختلال در سیستم ایمنی،

ناباروری، تاثیرات منفی روی جنین، ناکارآمدی قلبی، برونشیت، پنومونی، ادم ریوی، آلزایمر، سیلان بزاق شـــدید، التهاب لثه، بی تفاوتی، بی اشـــتهایی، تهوع، استفراغ، اسهال، درد شکم، هماچوری، تب، سندرم نفروتیک با آلبومینوری و ادم، اثر بر روی غده تیروئید، سمیت ژنی، تعریق شدید، ترس از نور، بی‌خوابی و خارش و گاهاً پوسته پوسته شدن دردناک پوست دست‌ها و پاها به همراه تاول اشاره نمود.

جدول ۷- غلظت‌های جیوه کل در هوا و ادرار مربوط با اثرات مشاهده شده در کارگران در مواجهه طولانی مدت با بخار جیوه

سطح جیوه		
اثر مشاهده شده[a]	هوا ($\mu g/m^3$)[b]	ادرار (µg/litre)
لرزش قابل مشاهده	۳۰	۱۰۰
اثرات توبولی کلیه، تغییر در آنزیم‌های پلاسمائی	۱۵[C]	۵۰
علائم غیر اختصاصی	۱۰-۳۰	۲۵-۱۰۰

a. این اثرات با فراوانی کم در گروه دارای مواجهه شـــغلی ایجاد می گردد. اثرات دیگری نیز گزارش شـــده، ولی سطوح هوا و ادرار آنها موجود نبوده است.

b. غلظت های هوا با استفاده از نمونه بردارهای محیطی به صورت متوسط وزنی- زمانی (TWA) با احتساب ۴۰ ساعت در هفته در مواجهه طولانی مدت (در حداقل ۵ نیمه عمر بیولوژیکی، معادل ۲۵۰ روز) اندازه‌گیری شده است.

c. در محاســـبه غلظت ادرار، غلظت جیوه هوا $\mu g/m^3$ ۱۰۰ اندازه گیری شـــده توسط نمونه بردارهای محیطی، معادل غلظت جیوه ادرار µg/litre ۳۰۰ در نظر گرفته شده است.

۲-۱۲ ترکیبات معدنی جیوه (II)

این ترکیبات ســـمومی خورنده هستند، یک دوز حاد دهانی می تواند باعث ایجاد سمیت شدید در دســـتگاه گوارش، شوک سیستمیک و مرگ ناشی از نارسایی کلیه گردد. اطلاعات مربوط به اثرات مزمن ناشـــی از مواجهه انســـان یا حیوانات با ترکیبات معدنی جیوه نشـــان می دهد که کلیه ارگان هدف این ترکیبات است و آسیبهایی از جمله نکروز حاد توبولی، گلومرولونفریت و سندرم نفروتیک در مواجهه با این ترکیبات دیده می شود.

با این حال گزارش اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه مزمن با ترکیبات جیوه معدنی بسیار نادر است. مواجهه شـــغلی با اکســـید جیوه با آسیب سیستم اعصاب محیطی همراه است، به نظر می رسد این اثرات برگشـــت‌پذیر باشـــد. مواجهه با ترکیبات معدنی جیوه (II) و نیز Hg°، ســـبب ایجاد عارضه **بیماری صورتی** در کودکان مســـتعد می گردد. ارتباطات دوز- اثر گزارش نشـــده اســـت، اما سطوح جذب مرتبط با این اثرات، احتمالاً از اثرات اولیه مرتبط با بخار جیوه بیش تر است. به طور کلی به نظر می رسد اثرات مواجهه مزمن برگشت پذیر باشد.

۱۲-۳ متیل جیوه

بعد از بخار جیوه، متیل جیوه خطرناک ترین شکل جیوه است. استفاده از متیل جیوه به عنوان قارچ کش برای محافظت دانه ها سبب کاهش قابل ملاحظه پرندگانی شد که از این دانه ها 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 سمی ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان، بیماری میناماتا[1] ایجاد می کند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در خلیج میناماتای ژاپن 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 نمک های Hg^{2+}، سمّ قوی تری است، زیرا علاوه بر انحلال پذیری در بافت چربی، قابلیت تجمع و بزرگ نمایی زیستی دارد. همچنین می تواند از سد خونی- مغزی و جفت جنین عبور کند. فرایند متیل دار شدن جیوه در شرایط ناهوازی در رسوبات گل‌آلود رودخانه‌ها، توسط متیل کوبالامین صورت می گیرد. جیوه موجود در بدن انسان، بیش تر به صورت متیل جیوه بوده و اغلب از طریق خوردن ماهی وارد بدن انسان می شود.

آسیب ناشی از این ترکیب، تقریباً محدود به سیستم عصبی می شود. در افراد بالغ، آسیب به مناطق خاصی از مغز که با عملکرد حسی و هماهنگی مرتبط است، به خصوص سلول های عصبی در کورتکس بینائی و سلول های گرانولی مخچه منحصر می شود. به نظر می رسد دوره نهفتگی اثراتی مانند تنگی میدان بینائی و عدم تعادل، هفته ها تا ماه‌ها به طول انجامد. چنین اثراتی معمولاً برگشت ناپذیر است. اثر اولیه معمولاً با ذکر شکایت از احساس خارش در اندام ها و اطراف دهان همراه است. این احساس خارش می تواند برگشت پذیر یا برگشت ناپذیر باشد. در دوزهای بالا، سیستم عصبی محیطی نیز ممکن است تحت تاثیر این آسیب پذیری قرار داشته باشد، اما معمولاً پس از آن، اثر در سیستم عصبی مرکزی ظاهر خواهد شد. متیل جیوه از راه دستگاه گوارش در سیستم عصبی مرکزی و کلیه ها توزیع شده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری تظاهر می کند. از جمله این اختلالات: آتاکسی، پاراستزی، لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، دمانس پیش رونده، نکروز کانونی، تخریب سلول های گلیال، اختلالات حرکتی و مرگ می باشد.

دوره پیش از تولد، مرحله ای از زندگی است که انسان بیش تر مستعد مواجهه با متیل جیوه

[1] Minamata

اســت. این نوع مسمومیت در طول دهه های گذشــته در ژاپن و عراق رخ داده است. به دنبال این مسمومیت، اثرات شدیدی مانند فلج مغزی در فرزندان مادران در مواجهه ای که این اثرات در آن ها حداقل بوده و یا وجود نداشت، مشاهده شد. در گزارشی از ایسن[1] و همکاران پیشنهاد شد که اثرات خفیف مواجهه قبل از تولد مانند عقب ماندگی روانی، می تواند با ســطوح جیوه ۳۰-۱۰ µg/g مو مادر در دوران بارداری ارتباط داشــته باشــد. این اثرات که قبل از تولد در نوزادان پسر در مواجهه مشاهده شد، در نوزادان دختر دیده نشد. داد های به دست آمده از شیوع مسمومیت حاد ناشی از جیوه در عراق، با گزارش ایســن و همکاران هم خوانی دارد. داده های به دســت آمده از مطالعه ای که اخیر توســط جلســتروم[2] و همکاران در نیوزیلند انجام شده، حاکی از آن است که در گروهی از کودکان که مادران آن ها غلظت جیوه مو ۶-۱۵ µg/g داشته اند، تغییرات اندکی در آزمون عملکرد (آزمون دنور[3]) مشــاهده شــده اســت. در این گونه موارد، برآورد ارتباطات دوز- پاســخ در سطوح مواجهه پایین، عدم اطمینان قابل ملاحظه ای ایجاد می کند. همه اثرات قبل از تولد شناخته شده تا به امروز، برگشــت ناپذیر می باشــد. سطوح جیوه خون و موی ســر رایج ترین پارامترهای مورد اســتفاده برای نشــان دادن جیوه ســربار بدن به دنبال مواجهه با ترکیبات متیل جیوه می باشند، سطح متیل جیوه با مصرف ماهی مرتبط است. سطوح خونی جیوه بیش از ۲۰۰ µg/litre با اثرات بهداشــتی در بالغین ارتباط داشــته، و غلظت ۵۰-۴۰ µg/litre در یک زن باردار، می تواند برای جنین وی ریســک ســمیت به همراه داشته باشــد. از آن جا که راه خوراکی مسیر اصلی مواجهه با متیل جیوه است (جدول ۶)، این جنبه در مسمومیت های شغلی مورد بحث قرار نمی گیرد.

۱۳- ارزیابی ریسک جیوه در انسان

۱۳-۱ ارزیابی مواجهه

محاسبه جذب اشکال مختلف جیوه از جو و سایر محیط ها ضروری است. در مناطق دور از صنعت، ســطح جیوه جوی، حــدود ۴-۲ ng/m^3 و در مناطق شــهری حدود ۱۰ ng/m^3 می باشــد. این بدان معنی اســت که روزانه حــدود ۶۴-۳۲ ng در مناطق دور افتاده و حدود ۱۶۰ ng در مناطق شــهری جیوه در نتیجه مواجهه تنفســی از جو جذب جریان خون می شــود. جو و آمالگام دندان مهــم ترین منابع مواجهه با بخار جیوه می باشــند، در حالیکه رژیــم غذایی منبع اصلی مواجهه با

[1] Eyssen
[2] Kjellström
[3] Denver

ترکیبات متیل جیوه اســت. ســطح فعلی جیوه در هوای خارج، به استثنای **مناطق بحرانی**، معمولاً ۰/۰۰۵ - ۰/۰۱۰ $\mu g/m^3$ می باشد. بنابراین مواجهه با جیوه در هوای باز، در مقایسه با جذب بخار جیوه ناشــی از پرکردن دندان با آمالگام که روزانه به طور متوسط بین ۳۰۰۰-۱۷۰۰۰ ng برآورد شده، ناچیز است. انتظار می رود مواجهه با این سطوح از جیوه در هوای خارج، اثرات مستقیمی بر سلامت انسان نداشته باشد. Hg^o گونه غالب جیوه موجود در هوا می باشد که نه جهش‌زا بوده و نه سرطان زا است. مواجهه با متیل جیوه هوابرد ۳-۲ بار از میزان برداشت روزانه از مواد غذایی کمتر اســت و لذا جذب از این حیطه، ناچیز در نظر گرفته می شــود. بنابراین، ارائه دســتورالعمل عددی تنها برای استنشاق جیوه معدنی شامل بخار جیوه و جیوه دو ظرفیتی مقدور است. سطوح کم ترین اثر زیان آور مشاهده شده[1] (LOAELs) پیشنهادی برای بخار جیوه حدود ۳۰-۱۵ $\mu g/m^3$ است. اســتفاده از یک ضریب عدم اطمینان ۲۰ (۱۰ برای عدم اطمینان ناشــی از حساسیت های مبتنی بر اطلاعات دوز- پاســخ در جمعیت های با ریســک بالا، و ضریب ۲ مربوط به تعمیم LOAEL به ســطح اثر زیان آور غیر قابل مشاهده[2] (NOAEL))، برای بخار جیوه غیرآلی، مقادیر پیشنهادی ۱ $\mu g/m^3$، به عنوان متوسط سالانه منتشر شده است. از آن جا که ماندگاری جیوه معدنی کاتیونی فقط نصف بخار جیوه می باشــد، این دســتورالعمل، محافظت در برابر اثرات خفیف کلیوی ناشی از جیوه کاتیونی معدنی را نیز پوشــش می دهد. با این حال، دانش حاضر نشــان می دهد که اثرات بر سیستم ایمنی در مواجهات پایین را نمی توان نادیده گرفت.

افزایش ســطوح هوای محیطی، ســبب افزایش جیوه در بدن آبزیان طبیعی، و در نتیجه منجر به افزایــش احتمالــی غلظت متیل جیوه در بدن ماهی های آب شــیرین می گــردد. چنین احتمالی نقش مهمی در تعیین ســطوح قابل قبول جیوه در جو دارد. متاســفانه به علت عدم آگاهی کامل از چرخه جهانی و مســیرهای متیلاسیون و تجمع در زنجیره غذایی آبزیان، هیچ گونه برآورد کمّی از ریسک های ناشی از پروسه های رسوب گذاری امکان پذیر نمی باشد. بنابراین یک راهنمای کیفیت هوای محیطی که بتواند از پتانســیل اثرات زیان‌آور متیل جیوه تشــکیل شــده از رسوب گذاری به طور کامل جلوگیری کند، پیشــنهاد نشده است. با این حال به منظور جلوگیری از اثرات بهداشتی احتمالی در آینده نزدیک، سطوح هوای محیطی جیوه باید در حداقل ممکن نگه داشته شود.

---

[1] Lowest-observed-adverse-effect levels
[2] No -observed-adverse-effect levels

۱۳-۲ گروه های جمعیتی حساس

گروه های جمعیّتی که با توجه به مطالعات اپیدمیولوژیک، بالینی یا تجربی، به طور قطع به مواجهه با بخار جیوه حساس باشند، شناسائی نشده اند. با این حال آنزیم کاتالاز که اکسید شدن بخار جیوه به یون جیوه دو ظرفیتی را کاتالیز می کند، در بین جمعیّت، بیان ژن متفاوتی دارد، مطالعات انجام شـده در سـوئیس و سوئد، برای این صفت یک فراوانی ۰/۰۰۶ نشان داده است. بنابراین به‌ازای هر یک میلیون نفر جمعیّت، تقریباً ۴۰-۳۰ نفر به طور کامل فاقد فعالیت کاتالاز (هموزیگوت) و ۱/۲٪ هتروزیگوت با کاهش ۶۰ ٪ در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز می باشند. در خصوص سایر آنزیم های موجود در خون که قادر به انجام عمل اکسیداسیون باشند، اطلاعاتی وجود ندارد.

ایجاد اثرات کلیوی ناشـی از جیوه معدنی و فنیل جیوه در یک زیر گروه از افراد حسـاس، حاکی از این واقعیت است که حساسیت می تواند به صورت ژنتیکی تعیین شود. با این‌حال مشخص نیست این زیرگروه چه نسبتی از جمعیّت های عمومی را تشکیل می دهد. از حساسیت نسبی در مراحل مختلف دوره زندگی نسبت به بخار جیوه یا ترکیبات معدنی کاتیونی جیوه، تقریباً هیچ اطلاعی در دست نیست. با این استثنا که حساسیت کلیه رت در حال رشد به جیوه معدنی، از بافت رشد کرده آن نسبتاً کم تر است. به نظر می رسد که حساسیت به متیل جیوه در مرحله قبل از تولد بیش تر باشـد، عوارض سیستم عصبی خودکار در جمعیت عراقیان در مواجهه نشان داده که حساسیت در این زمان، حداقل سه برابر از دوره بلوغ بیش تر است.

۱۳-۳ بخار جیوه

غلظـت های وزنـی- زمانی هوا، ابزار معمول جهـت ارزیابی مواجهه افراد می باشـد. مقادیر گزارش شده در هوا به نوع نمونه برداری بستگی دارد. به طور کلی مقادیر اندازه گیری شده با نمونه برداری ثابـت یا اسـتاتیک، از نمونه برداری فردی کم تر اسـت. با توجه به مندرجات جـدول ۷، به منظور تبدیـل غلظت هـای هوا به غلظت های معادل در هوای محیطی، دو عامل باید در نظر گرفته شـود. اولاً، غلظت های هوا ذکر شـده در جدول ۷، با اسـتفاده از نمونه برداری های محیطی در محیط کار اندازه گیری شده است. فاکتور تبدیل بسته به شرایط مواجهه ممکن است متفاوت باشد. جهت تبدیل مقادیر نشـان داده شده به غلظت‌های واقعی در هوای استنشاقی کارگران که توسط نمونه بردارهای فردی اندازه گیری گردیده، این مقادیر باید با یک ضریب ۳ افزایش یابد. دوماً، مقدار کل هوا استنشاقی

طی یک هفته کاری، ۵۰ m^3 (۱۰m^3/day در ۵ روز) در نظر گرفته شـده اسـت، در حالیکه مقدار هوای محیطی استنشـاقی در هفته ۱۴۰ m^3 (۲۰ /day در ۷ روز) می باشـد. بنابراین حجم هوای محیطی استنشـاقی در هر هفته تقریباً سه برابر حجم هوای استنشاقی در محیط کار است. لذا برای تبدیل غلظت های هوای محیط کار به دست آمده از جدول ۷ به غلظت های هوای محیطی معادل، و رسیدن به غلظت واقعی در محیط کار، ابتدا این غلظت ها باید در ۳ ضرب شود. سپس برای اصلاح مقدار هوای محیطی بیش تری که به طور متوسـط توسط بالغین استنشاق شده، بر ۳ تقسیم گردد. بدین ترتیب غلظت بخار جیوه ذکر شده در جدول ۷، تقریباً با غلظت هوای محیطی برابر است.

از آن جا که این ارقام مبتنی بر مشـاهدات در انسـان هاست، استفاده از یک ضریب عدم اطمینان ۱۰ مناسب به نظر می رسد. با این حال در جدول ۷، قادر به تخمین سطوح کم ترین اثر زیان آور مشاهده شده، یعنی غلظت هائی از هوا که در آن اثری با **فراوانی کم** رخ می‌دهد نمی باشد. از آن جائی که ایجاد چنین اثراتی در کارگران در مواجهه شغلی با غلظت های کم به میزان نصف مقادیر آمده در جدول ۷ بعید به نظر می رسـد، اسـتفاده از یک ضریب عدم اطمینان ۲۰ مناسب به نظر می رسد. بنابراین، دستورالعمل غلظت جیوه در هوا ۱ $\mu g/m^3$ برآورد می گردد.

۱۳-۴ ترکیبات معدنی

ماندگاری اشـکال کاتیونی جیوه معدنی استنشـاق شـده در ریه ها، حدود نصف بخار جیوه است (۴۰ ٪ در مقابـل ۸۰٪)، بنابرایـن میـزان محافظت در برابر اثرات توبولی کلیه ناشـی از ترکیبات معدنی در این دستورالعمل، در مقایسه با بخار جیوه ۲ برابر تخمین زده می شود.

۱۳-۵ متیل جیوه

به نظر می رسـد مجموعه دسـتورالعمل های کیفیت هوا برای ترکیب متیل جیوه مناسب نباشد. سـهم جذب استنشاقی این شـکل از جیوه در جو، قابل اغماض است. با این حال جیوه موجود در جو ممکن اسـت پس از تجمع در خاک یا بدن موجودات طبیعی آبزی به متیل جیوه تبدیل شـده و باعث تجمع این شکل از جیوه در زنجیره غذایی آبزیان گردد. در این صورت، دستورالعمل هائی برای برداشت از طریق غذا مانند مواردی که توسط کمیته کارشناسی مشترک FAO /WHO در افزودنی های غذایی توصیه شده، مناسب خواهد بود.

۱۴– حدود مجاز مواجهه شغلی

۱-۱۴ PELs -OSHA

سازمان بهداشت و ایمنی شغلی[1] (OSHA) حد مواجهه مجاز[2] (PEL) ۰/۱ mg/m^3 را به صورت حد سقفی[3] برای مواجهه با تمامی اشکال جیوه در هوا توصیه نموده است. مواجهه کارگر با جیوه در هیچ زمان نباید از مقادیر پیشنهادی تجاوز کند.

۲-۱۴ RELs -NIOSH

موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی[4] (NIOSH) برای مواجهه با ترکیبات معدنی جیوه در کار روزانه بالغ بر ۱۰ ساعت و ۴۰ ساعت در هفته، حد مجاز توصیه شده[5] (REL) ۰/۰۵ mg/m^3 را به صورت TWA و ۰/۱mg/m^3 را به صورت حد سقفی پیشنهاد کرده است. اختصاص نماد "پوست"، برای جیوه، توسط NIOSH، تاثیر مسیر جلدی مواجهه، از جمله غشاهای مخاطی و چشم را در مواجهه کلی نشان می دهد. حدود پیشنهادی توسط این موسسه بر ریسک آسیب سیستم عصبی مرکزی، چشم، پوست، و تحریک دستگاه تنفسی استوار است.

۳-۱۴ TLVs -ACGIH

کنفرانس دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا[6] (ACGIH)، حد آستانه مجاز[7] (TLV) را به صورت TWA برای مواجهه معمولی در ۸ ساعت کاری روزانه در یک هفته کاری ۴۰ ساعته برای مواجهه با ترکیبات معدنی و عنصری جیوه ۰/۰۲۵ mg/m^3، برای ترکیبات آلکیل جیوه ۰/۰۱ mg/m^3 و برای ترکیبات آریل جیوه ۰/۱ mg/m^3 توصیه نموده، این سازمان همچنین برای مواجهه کوتاه مدت[8] با ترکیبات آلکیل جیوه، مقادیر ۰/۰۳ mg/m^3 را پیشنهاد کرده است. ACGIH کلاس A۴ (ماده‌ای که به عنوان سرطانزای انسانی طبقه‌بندی نمی شود) و اختصاص نماد "پوست" را نیز برای بخار جیوه در نظر گرفته است. این سازمان مستندات مربوط به TLV

[1] Occupational Safety and Health Administration
[2] permissible exposure limit
[3] Ceiling limit
[4] National Institute for Occupational Safety and Health
[5] Recommended exposure limit
[6] American Conference of Governmental Industrial Hygienists
[7] Threshold limit value
[8] Short term exposure

پیشـــنهادی بـــرای بخار جیوه را منتشـــر نکرده، در حالیکه در مســـتندات مربوط به ســـال ۱۹۹۱ (نسخه ۶) در خصوص مقدار حد آستانه مجاز قبل از ۰/۰۵ mg/m^3 بحث شده است.

OELs ۴-۱۴

با تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی[۲] کشور با مشارکت گروهی از متخصصین بهداشت حرفه ای کشور در ســـال ۱۳۷۸، اولین مقادیر OELs برای جیوه و ترکیبات آن منتشر گردید. این مقادیر ابتدا در سال ۱۳۸۲ و سپس توسط کمیته تدوین و بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت‌حرفه ای تحت نظارت مرکز ســـلامت محیط و کار وزارت بهداشـــت، درمان و آموزش پزشکی کشور در سال ۱۳۹۰ مورد بازنگری قرار گرفت. مقادیر OELs مواجهه با اشکال معدنی و عنصری، ترکیبات الکیل و آریل جیوه به صورت TWA برای مواجهه معمولی در ۸ ساعت کاری روزانه در یک هفته کاری ۴۰ ســـاعته، و نیز مقدار حد مواجهه کوتاه مدت برای مواجهه با ترکیبات الکیل جیوه که توســـط کمیته بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه ای پیشنهاد گردیده، در جدول ۸ نشان داده شـــده است. این کمیته همچنین اختصاص نماد "پوست" برای کلیه اشکال معدنی و عنصری، آریل و الکیل جیوه و نیز کلاس A۴ (ماده‌ای که به عنوان سرطانزای انسانی طبقه بندی نمی شود) را برای ترکیبات معدنی و عنصری جیوه در نظر گرفته است.

جدول۸- حدود مجاز مواجهه شغلی جیوه پیشنهادی توسط کمیته بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه ای در سال ۱۳۹۰

نام ترکیب	OELs		نماد
	TWA (mg/m^3)	STEL (mg/m^3)	
اشکال معدنی جیوه شامل: - بخار جیوه - فلز جیوه - اکسید جیوه (II) - استات جیوه (II) - کلرید جیوه (II)	۰/۰۲۵	-	پوست، A4، BEI
ترکیبات الکیل جیوه شامل: - متیل جیوه - دی متیل جیوه - دی اتیل جیوه - متیل مرکوریک سیانایاد	۰/۰۱	۰/۰۳	پوست
ترکیبات آریل جیوه شامل: - فنیل مرکوریک استات	۰/۱	-	پوست

[۲] Occupational exposure limits

۱۵– فوریت‌های پزشکی

جهت اجتناب از مواجهه بیش تر و انجام کمک های اولیه مناسب، ابتدا بایستی نسبت به خارج نمودن کارگر مسموم اقدام گردد. و منطقه آلوده به جیوه در فرد، فوراً با استفاده از چشم شوی یا دوش ایمنی مناسب شسته و مسئولین واحد HSE یا طب‌کار کارخانه از نوع، مقدار و حالت فیزیکی جیوه جذب شده مطلع گردند.

انجام اقدامات احتیاطی زیر جهت کلیه پرسنل و کارگران در مواجهه با جیوه یا سایر ترکیبات آن الزامی بوده و بایستی آموزش های لازم در این خصوص به آنان داده شود.

۱. آشنائی با روش های اورژانس، محل نگهداری و استفاده مناسب از تجهیزات اضطراری و روش های حفاظتی در طی عملیات نجات

۲. نحوه مطلع نمودن مسئولین یا پزشکان از جذب جیوه

۳. استفاده از پایش گر بخار جیوه جهت اطمینان از عدم وجود هیچ گونه جیوه بر روی پوست و یا زیر ناخن. تمیز کردن این منطقه با صابون، آب و برس در صورت لزوم، و سپس بررسی مجدد با پایش گر به جهت حصول اطمینان از حذف کامل جیوه

۴. عدم استفاده از محلول ها یا پودرهای خورنده همراه با اسفنج برای پاک سازی شخصی

۵. قرار دادن لباس های آلوده در کیسه های پلاستیکی

۶. رسیدگی و پاک سازی منطقه آلوده به جیوه، صرفاً توسط پرسنل غیر آلوده مجهز و آموزش دیده

۷. عدم تخلیه آب پاک سازی به سینک، مخزن ذخیره یا سیستم فاضلاب بهداشتی

۱۶– درمان مسمومیت با جیوه

قطع فوری تماس، درمان های حمایتی و درمان با ترکیبات کلیتور[1] (شلاتور)، راه های اصلی درمان مسمومیت با جیوه می باشند. جیوه فلزی با کلیتورها واکنش نمی دهد، معذلک حدود ۸۰٪ جیوه فلزی در بدن به Hg^{2+} اکسید شده و به کلیتورها جواب می دهد. در مقایسه با سایر فلزات سنگین، استفاده از اتیلن دی آمین ترا استیک اسید[2] (EDTA) در درمان مسمومیت با جیوه، نسبت به ترکیبات دارای گروه سولفیدریل از اهمیت کم تری برخوردار است. ترکیبات منوتیول مانند گلوتاتیون[3]، سیستئین[4]، پنی‌سیلامین[5] و مشتقات N-استیله آن ها قادر به حذف جیوه از پروتئین ها و مولکول های زیستی

[1] Chelator
[2] Ethylenediaminetetraacetic acid
[3] Glutathione
[4] Cysteine
[5] Penicillamine

می باشند. ترکیبات دی تیول مانند دیمرکاپرول[1] (BAL) یا دی مرکاپتو سوکسینیک اسید[2] (DMSA) با ایجاد یک ساختار ۵ ضلعی محکم، به عنوان کلیتورهای مؤثر در درمان مسمومیت با جیوه کاربرد دارند. با توجه به اینکه این فلز خطرناک ممکن است از طریق وسائلی مانند فشارسنج و دماسنج 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.

۱۷- کنترل مواجهه با جیوه

حذف جیوه یک اولویت و برنامه جهانی است. لذا تهیّه، تدوین و اجرای برنامه ای که بتواند این مشکل را برطرف کند الزامی می باشد. مطالعات حاکی از آن است که تنها هزینه های ناشی از کاهش بهره هوشی کودکان و به تبع آن کاهش بهره‌وری ناشی از جیوه 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[3] آمریکاست. مطالعه هزینه های زیست محیطی آلودگی جیوه حاکی از آن است که برای جبران آلودگی ناشی از هر کیلوگرم جیوه در محیط زیست، به طور میانگین باید نزدیک به 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.

بهترین راه پیش گیری از خطرات جیوه، حذف کامل مواجهه با آن است که این کار باید به وسیله ارزیابی ریسک صورت گیرد. طبق بررسی ها و برنامه جامع سازمان جهانی[4] (UNEP) 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 در 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

[1] Dimercaprol
[2] Dimercaptosuccinic acid
[3] Power plants
[4] United Nation Environment Program

که در این لیســت اعلام شــده، 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 بهداشــت محیط و کار وزارت بهداشــت، درمان و آموزش پزشکی، اســتراتژی ها و فعالیت هائی را تحــت عنــوان کاهش و حذف جیوه و جایگزینی آن با مــواد بی خطر یا کم خطر به منظور حفظ و ارتقاء سلامت عموم جامعه تا پایان سال ۹۵، پیشنهاد نموده است.

جهت کنترل مواجهه شغلی با جیوه، با توجه به امکان اجرای موثر می توان از روش های جداسازی، جایگزینی جیوه با مواد بی خطر یا کم خطرتر، تهویه موضعی و عمومی، روش های پایش بیولوژیکی و تجهیزات حفاظت فردی به تنهائی یا به صورت هم زمان بهره گرفت. این بخش شامل معرفی روش ها و دســتورالعمل های کنترلی جهت جلوگیری از مواجهه غیر ضروری و به حداقل رساندن احتمــال و میزان ریخت و پاش جیوه می گــردد. (راهنمای کنترل مواجهه با بخار جیوه در محیط کار در پیوست ۱ آمده است)

۱۷-۱ تحلیل ایمنی پروژه

تحلیل ایمنی پروژه [1](PSA) یک روش افزایش آگاهی از خطرات موجود در یک پروژه یا عملیات، و شناسایی پتانسیل های کاهش ریسک در فرایند برنامه‌ریزی یک پروژه می باشد. مقررات مهندسی ایمنــی، تحلیــل ایمنی پروژه را بــرای تمامی پروژه های جدید و پروژه هــای قدیمی که در آن ها شــرایط بالقوه مضر یا خطرناک، یک ریســک غیر قابل قبول ایجاد می کند را الزامی می سازد. در تحلیل ایمنی یک پروژه پیشــنهادی، امکانات، وســایل، تجهیزات و مواد شــیمیایی مورد استفاده، خطرات و ریسک های هر یک از مراحل پروژه، کنترل های لازم برای جلوگیری از مواجهه زیان آور بالقوه، استانداردســازی آموزش شــیوه های انجام کار با دســتگاه ها و تجهیزات به روش ایمن، و ترکیبات شیمیایی و امکانات پاک سازی مورد نیازشرح داده می شود. عملیات ارزیابی تحلیل ایمنی پروژه، در واحد HSE سازمان انجام می گیرد.

۱۷-۲ کنترل های مهندسی

برای فعالیت های مربوط به استفاده از جیوه بایستی کنترل های زیر را فراهم نمود:

- سیستم تهویه مناسب و کافی مجهز به سیستم های مهار بخار

[1] Project safety analysis

- کیـــت های کنترل نشـــت جیوه. این کیت ها باید در تمام محیط هـــای کاری که بیش از ۱ ml جیوه اســـتفاده می‌شـــود (جز مقادیر کم جیوه موجود در محفظه بسته دماسنج ها و فشارسنج ها) وجود داشته باشد. کیت کنترل نشت پس از هر بار استفاده، باید تعویض گردد. شاغلین برای مهار و کنترل نشـــت، و پاک ســـازی و دفع باید از افرادی که آموزش واکنش اضطراری مواد خطرناک را دیده اند کمک بگیرند.

- حوضچه ها و سینی های ساخته شده از مواد صاف و غیر قابل نفوذ (مانند رنگ های پلاستیکی یا صیقلی) و شـــیب دار، جهت ســـهولت به دام اندازی جیوه ریخت و پاش شده. حوضچه ها باید به اندازه کافی بزرگ بوده و برای گرفتن قطرات جیوه از هر جهت قابل قبول باشد.

- گرفتن نشت جیوه از تجهیزات، با استفاده از سینی های بدون درز به جای ورقه های پلاستیکی جاذب. بسته بندی قطرات جیوه جمع آوری شده با پلاستیک و دفع به عنوان زباله حاوی جیوه

- استفاده از محافظ های پلاستیکی متحرک و تله های جیوه

- پر نمودن طبقات بتنی با اپوکســـی و اســـتفاده از سطوح غیر قابل نفوذ با شکاف مختصر برای کار با جیوه (عدم استفاده از فرش و کاشی).

۱۷-۳ کنترل های مدیریتی

هنگام استفاده از جیوه و ترکیبات آن در هر فرایند، کنترل های مدیریتی زیر باید اجرا شود:

۱۷-۳-۱ ارزیابی خطر

قبل از شروع هر پروژه مهندسی یا عملیات مربوط به استفاده از فلز جیوه، ترکیبات آن، یا دستگاه و تجهیزات حاوی جیوه، اقدامات زیر باید انجام گردد:

- آماده نمودن برگه کار یک پارچه[1] (IWS)، برای آشنائی با خطرات مربوط به بهره برداری خاص و اجرای کلیه کنترل های لازم

- تهیه برگه اطلاعات ایمنی مواد[2] MSDS، برای شرح خطرات و کنترل جیوه و هر یک از ترکیبات آن به طور جداگانه

- آموزش های کامل ایمنی در آزمایشـــگاه، خطرات مرتبط، بهره‌برداری از دســـتگاه ها و تجهیزات خاص و روش ایمن انجام کار به کارگران و کلیه پرسنل در مواجهه

[1] Integration work sheet
[2] Material safety datd sheet

- مستند نمودن کلیه دوره های آموزشی و نگهداری سوابق آن ها در واحد HSE
- اطلاع واحد HSE از موارد استفاده جدید از جیوه (به جز دماسنج)

بـرای تمـام پروژه های جدید یا در حـال انجامی که تغییرات قابل توجهـی در آنها صورت گرفته باشد، و یا زمانی‌که شرایط خطرناک رخ داده، تحلیل ایمنی پروژه الزامی است. (کاربرگ جمع آوری اطلاعـات مربـوط به کار بـا جیوه فلزی در پیوسـت ۴ و کاربرگ جمـع آوری اطلاعات مربوط به روش های کنترلی جیوه فلزی در پیوست ۵ آمده است)

۱۷-۳-۲ وظایف واحد HSE:

- راهنمایی در انتخاب کنترل ها و ارائه آموزش اختصاصی
- تعیین نوع پایش جیوه در محیط کار در صورت نیاز
- ارزیابی مستندات تهیه و تایید شده توسط سازمان های ذیربط و اخذ مجوزهای مورد نیاز
- تنظیـم طـرح ایمنی مدون جهت انجام عملیاتی مانند حرارت دادن و یا اسـتفاده از مقادیر زیاد جیـوه یا ترکیبات آن در صورت نیاز (چنانچه این مقادیر ناچیز بوده و از نصف حدود مجاز مواجهه شغلی بیش تر نباشد یا عملیات در یک سیستم کاملاً محصور با مقادیر مصرفی کمتر از ۱ ml انجام گردد، واحد HSE می تواند از نوشتن طرح ایمنی چشم پوشی کند. با تذکر این نکته که استفاده از دی متیل جیوه، همیشه به یک برنامه ایمنی کاربردی[۱] (OSP) نیاز دارد).

۱۷-۳-۳ آموزش

شاغلین و دانشجویانی که به طور بالقوه در معرض جیوه می باشند، قبل از شروع کار باید آموزش های لازم در خصوص خطرات و کنترل را ببینند. آموزش مورد نیاز حداقل باید موارد زیر را شامل گردد:

- آموزش استفاده ایمن از جیوه
- آموزش خطرات جیوه
- آموزش پاک سازی ریخت و پاش مختصر (پیوست ۲ در مورد دستورالعمل پاک‌سازی جیوه)
- آموزش اسـتفاده مناسـب از پاک‌کننده های مکننده جیوه. کارگرانی که از تجهیزات شکسـتنی حاوی بیش از ۱ ml جیوه فلزی استفاده کرده و یا آن‌را باز و بسته می کنند، باید آموزش استفاده صحیح از مکننده های جیوه و دیگر روش های پاک سازی را دیده باشند.
- آموزش استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، از جمله آموزش استفاده ایمن از ماسک تنفسی

[3] Operation safety plan

- آموزش روش اطلاع رسانی برای دریافت خدمات اضطراری و گزارش حادثه
- آموزش خطرات مرتبط با جیوه، ایمنی آزمایشگاه و انجام کار آزمایشگاهی به روش ایمن (برای شناخت خطرات مواد شیمیائی و انجام کار آزمایشگاهی به روش ایمن می توانید به راهنما و دستورالعمل جامع مواد شیمیایی خطرناک مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با کد الزامات ۱-۰۹۰۷-۲۰۵۰۲۰۲ مراجعه کنید.)

۴-۱۷ روش ایمن کار با جیوه

شاغلین در مواجهه با جیوه باید از شیوه های کار ذکر شده در زیر آگاه بوده و از آن پیروی کنند.
- در صورت امکان، اجتناب از استفاده از جیوه. استفاده از تجهیزات و ابزارهای اندازه گیری دما و یا فشار جایگزین فاقد جیوه
- در صورت استفاده از مواد یا روش های جایگزین، انتخاب روش جایگزین موجود با کم ترین میزان خطر
- استفاده از تجهیزات حفاظت فردی اضافی، بسته به نوع و غلظت جیوه با نظر واحد HSE (تجهیزات حفاظتی مورد استفاده جهت پاک سازی ریخت و پاش جیوه در پیوست ۳ آمده است)
- اجتناب از خوردن، نوشیدن، استعمال دخانیات، نگهداری مواد غذایی، نوشیدنی، دخانیات یا لوازم آرایشی و بهداشتی در مناطقی که از جیوه استفاده می‌گردد.
- اجتناب از تماس چشم و پوست با جیوه، و استفاده از دستکش های حفاظتی
- عدم استفاده از دستکش های یک بار مصرف ساده و سبک برای کارهای سنگین، چرا که به راحتی پاره شده و امکان ورود جیوه به زیر ناخن و یا تماس با دیگر نقاط پوست را ممکن می‌سازد.
- استفاده از پوشش مخصوص صورت در عملیاتی‌که باعث مواجهه صورت گردد، مگر آن که حفاظ تنفسی تمام صورت را پوشانده باشد. (از مقدار نفوذ جیوه در انواع دستکش ها یا لباس های حفاظتی که جهت حفاظت از جیوه و ترکیبات آن پیشنهاد گردیده، اطلاعات مختصری در دسترس است.)
- شستن دست و صورت پس از دست زدن به جیوه، قبل از ناهار و استراحت، و در پایان از هر دوره کاری
- عدم کار با جیوه در سطوح درزدار (مانند درزهای کاشی، فضاهای بین تخته‌های چوبی، ستون‌های چوبی، گودی دیوار، شکاف بین پایه‌ها و سطح میز)، شکاف سنگ ها و سایر سطوح سخت، سطوح منفذدار (مانند فرش، چوب و رنگ متخلخل)، و سطوح کاذب
- عدم ذخیره یا کار با جیوه در نزدیکی آب روها یا فاضلاب ها. جیوه نشست شده پس از به دام

افتادن در سینک، با فلز لوله های فاضلاب تشکیل آمالگام داده و باعث تخریب آن می گردد، و سپس وارد محیط زیست و یا مخازن طراحی شده جهت نگهداری آب می گردد. جیوه موجود در سیستم لوله کشی و تخلیه ممکن است باعث مواجهه غیر ضروری و به طور بالقوه نامطلوب در کارگران مسئول تعمیر و نگهداری و دیگران گردد.

- اجتناب از استفاده از جیوه یا ترکیبات آن در عملیاتی که منجر به تولید زباله های حاوی جیوه آلوده به ترکیبات پرتوزا گردد، زیرا دفع این نوع زباله های مخلوط، پرهزینه بوده و اغلب غیر ممکن است. فرایند دفع مناسب و یا ذخیره سازی طولانی مدت زباله جیوه آلوده به ترکیبات پرتوزا، به عنوان بخشی از وظایف واحد HSE، مستلزم مستندسازی می باشد.

- جهت محدود کردن هرگونه ریخت و پاش، انتقال جیوه مایع بین ظروف، باید در زیر هود مخصوص انجام گردد.

- کلیه تجهیزات حفاظت فردی، کنترل ها، تجهیزات و دستگاه ها باید از جانب خود افراد به صورت هفتگی بازرسی شده و اقدامات اصلاحی احتمالی مستند گردد.

۵-۱۷ برچسب زنی و ذخیره سازی

جهت برچسب زنی و ذخیره سازی جیوه و ترکیبات آن، کنترل های زیر اعمال می شود:

- بر روی تمام ظروف حاوی جیوه فلزی و ترکیبات آن برچسب زده شود.

- در برچسب ظروف و محل نگهداری از جیوه باید مطالبی مطابق نمونه زیر درج گردد:

هشدار: حاوی جیوه
دارای بخارات زیان‌آور در دمای اتاق
در صورت حرارت دادن در محیط باز، می تواند کشنده باشد.
از استنشاق بخار اجتناب شود.
از تهویه مناسب استفاده شود.
از تماس پوستی اجتناب شود.

- جیوه در نزدیکی مواد شیمیایی که می توانند با جیوه مخلوط قابل انفجار ایجاد کنند (مانند استیلن، آمونیاک، فسفو دی یدید بور، دی اکسید کلر، متیل آزید، کاربید سدیم و غیره) و یا مواد رادیواکتیو ذخیره نگردد.

- ترکیبات اکسیدکننده جیوه، از مواد آلی و سایر مواد قابل احتراق جداگانه نگاه داشته شود. علاوه بر این، ذخیره سازی کلیه مواد شیمیایی براساس کلاس مخاطرات انجام گیرد.

- به حداقل رساندن مقدار جیوه جهت استفاده یا ذخیره سازی
- مد نظر قرار دادن مهار یا کنترل نشت ذاتی جیوه در ذخیره سازی
- نگهداری جیوه در یک محل جداگانه خنک و ایمن
- استفاده از ظروف ساخته شده از مواد مقاوم در برابر ضربه، و یا قرار گیری در ظروف ثانویه محکم
- بستن محکم ظروف زمانی که از جیوه استفاده نمی گردد.
- اجتناب از برش کارتن های حاوی بطری های پلاستیکی پر شده با جیوه. یا پاره و باز نمودن بطری های پلاستیکی

۱۷-۶ بسته بندی و حمل و نقل

جهت بسته بندی کلیه ظروف، اشیاء و دستگاه های حاوی جیوه، از مواد و روش های بسته بندی مناسب استفاده گردد.

پاک سازی ریخت و پاش جیوه

کار با جیوه عنصری در صورت مانند استفاده از هود مناسب، آسان است. در هر حال در صورت نادیده گرفتن یا عدم محل یابی درست، ریخت و پاش جیوه عنصری می تواند سبب ایجاد مشکلات جدی زیر گردد:

- دانسیته جیوه زیاد است (وزن مخصوص حدود ۱۳/۵)، لذا شکسته شدن قطرات بزرگ جیوه به قطرات کوچک و متعدد، می تواند باعث جابه‌جائی با سرعت زیاد و در مسافت های طولانی گردد.
- قطرات کوچک و بخارات جیوه تمایل دارند در شکاف ها جمع شوند. مواد متخلخل پس از آلوده شدن ممکن است به ضایعات جیوه تبدیل گردد. که در این صورت رفع آلودگی از آن ها بیش از حد دشوار خواهد بود.
- جیوه با فلزات دیگر تولید آمالگام می کند. مقاومت فیزیکی اشیاء فلزی بعد از آلودگی با جیوه ضعیف تر شده و برای استفاده نامناسب می گردد.
- اقلام خاکی و آلوده به جیوه اغلب قابل پاک سازی نبوده و لذا می بایست به صورت زباله های خطرناک آلوده به جیوه دفع گردد.
- میکروارگانیسم ها جیوه فلزی را به ترکیبات آلی جیوه که در برخی از گونه ها از فرم فلزی خطرات بیش تری دارند تبدیل می کنند. این موضوع خصوصاً هنگام ورود جیوه به زنجیره غذایی آبزیان، ممکن است باعث مشکلات زیست محیطی قابل توجه گردد.

- جیوه در محیط زیست، تجمع زیستی یافته و در نتیجه به زنجیره غذایی منتقل می گردد. در صورت ریخت و پاش جیوه فوراً باید:

۱. منطقه‌ای که قطرات جیوه مشاهده شده را باید با استفاده از نوار یا علائم هشدار دهنده ساخته شده از مواد در دسترس مسدود نمود. ارائه پشتیبانی فنی نیاز به مشخص نمودن دقیق مرزهای منطقه آلوده جهت مسدود نمودن دارد.

۲. اجتناب از راه رفتن و یا دست زدن به هر سطح آلوده به جیوه

۳. اطلاع به واحد HSE در اسرع وقت، جهت تعیین غلظت جیوه، انجام پاک سازی و دفع جیوه ریخت و پاش شده

۴. دسترسی آسان به تجهیزات حفاظت فردی و پوشش ویژه طراحی شده برای کار با جیوه در موقعیت های غیرمعمول و پاک سازی نشت

۵. پاک سازی ریخت و پاش مختصر فلز جیوه به صورت ایمن توسط پرسنل درگیر، درصورت برخورداری از آموزش و تجهیزات مناسب

۶. دسترسی به کیت نشت جیوه در مناطقی که با جیوه کار می شود.

۷. عدم استفاده از پاک کننده های مکنده معمولی برای جیوه نشت شده، و استفاده از پاک کننده مکنده ای که اختصاصاً برای جیوه طراحی و اختصاص داده شده (دستورالعمل پاک سازی ریخت و پاش جیوه در پیوست ۲ آمده است).

۷-۱۷ جمع آوری و دفع پسماندهای حاوی جیوه

پسماندهای جیوه به عنصر جیوه و ترکیبات آن، اشیاء یا مواد حاوی جیوه یا ترکیبات جیوه و مواد یا اشیاء آلوده به جیوه یا ترکیبات آن اطلاق می گردد. ضایعات آلوده به جیوه تولید شده بایستی از نظر تعیین قابلیت اجرائی تجاوز از معیارهای حدود مجاز پسماندهای خطرناک، ارزیابی گردد. ژنراتورهای تولید جیوه باید با قوانین و مقررات مربوطه مطابقت داشته باشد. تجهیزات یا اشیاء حاوی جیوه که در یک برنامه طولانی نیاز نباشند، باید مطابق با برنامه های مدیریت پسماند خطرناک ارزیابی شود. تجهیزات یا اشیاء مشخص شده به عنوان پسماندهای خطرناک باید برچسب زده شده و برای حمل و نقل و دفع از طریق برنامه مدیریت پسماندهای خطرناک آماده گردد. واحد HSE باید برنامه دفع نهایی مواد و پسماندهای خطرناک، و تمیز کردن و پاک سازی دستگاه ها، تجهیزات و امکانات را مستند کند. طرح دفع باید قبل از خرید مواد و یا شروع نهایی فعالیت های

پروژه برنامه ریزی گردد.

بایستی از ذخیره سازی موقت پسماندهای حاوی جیوه با شیوه ای سازگار با محیط زیست اطمینان حاصل شود. تمامی مفاد کنوانسیون بازل[1] مبنی بر کنترل دفع مواد زائد خطرناک باید در خصوص پسماندهای حاوی جیوه نیز اعمال گردد. برای جمع آوری پسماندهای جیوه بایستی از دستکش، روپوش و ماسک های هوارسان مناسب استفاده گردد. کلیه قطرات جیوه موجود در حوضچه ها بایستی با استفاده از پمپ مکنده و بطری آسپراتوری دارای لوله موئینه جمع آوری شود. جیوه آلوده شده باید در داخل یک بطری با سرپوش محکم قرار داده و جهت بازیافت مجدد جیوه به تولید کننده ارسال گردد. ترکیبات جیوه برای بازیافت یا امحاء در داخل ظروف جداگانه برچسب دار در محل مخصوص پسماندهای خطرناک، قرار داده شود. (برای آگاهی از روش ایمن دفع زباله آلوده به جیوه می توانید به راهنمای نحوه صحیح امحاء مواد شیمیائی مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با کد الزامات ۱-۰۹۰۱-۲۰۵۰۲۰۲ مراجعه کنید.)

۱۷-۸ پایش کارگران در مواجهه با جیوه

۱۷-۸-۱ پایش هوای محیط کار

۱۷-۸-۱-۱ تکنیک های اندازه گیری گونه های جیوه در هوا

تعیین کمی گونه های متنوع جیوه در هوا، نیاز به جمع آوری آن ها از هوا توسط برخی از وسایل مناسب جهت تجزیه بعدی دارد. مرحله پیش تغلیظ همچنین به تجمع مقداری جیوه، بالاتر از حد تشخیص (LOD) تکنیک های معمول شناسائی نیاز دارد. به این ترتیب، نمونه برداری جیوه معمولاً با عبور دادن حجم کافی هوا از درون یک ماده جمع آوری-که اغلب به یک جاذب اشاره دارد، آغاز می گردد. اگر تجزیه جیوه جوی به سه شکل مهم (TGM (یا GEM)، RGM و Hg_p)، محدود گردد، تکنیک های نمونه برداری گونه های مختلف را می توان به سه دسته تقسیم نمود (جدول ۱۰). در مکان های دور، جائی‌که غلظت TPM معمولاً کم است، TGM بخش غالب (۹۹٪<) غلظت کل جیوه در هوا را تشکیل می دهد. با این حال با بهبود تکنیک های نمونه برداری حاصل از تحولات تکنولوژیک، می توان اشکال شیمیایی کلیدی جیوه (یعنی RGM،GEM و Hg_p) را هم زمان نمونه برداری و تجزیه نمود. با توجه به کاربردهای اندازه گیری و پایش، روش های دستی و اتوماتیک برای اشکال مختلف جیوه توسعه داده شده اند.

[1] Basel

رایــج تریــن روش به کار گرفته شــده برای نمونه برداری از جیوه، جــذب در آمالگام طلا و پس از آن، واجذب حرارتی مســتقیم یا غیرمســتقیم از طریق یک فرایند گام به گام، و نهایتاً تشــخیص (معمولاً توســط طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد[1] (CVAAS) یا طیف سنجی فلورسانس اتمی بخار ســرد[2] (CVAFS) متکی می باشد. (روش های پایش جیوه در هوای محیط کار در پیوست ۶ آمده است)

جدول ۹- روش های نمونه برداری مرسوم جهت اندازه گیری گونه های مختلف جیوه در هوا

گونه جیوه	روش ها و مواد نمونه برداری
GEM/TGM	آمالگاماسیون با طلا- سنجش گرهای اتوماتیک جیوه
RGM	محفظه میست
Hg_p	جاذب پشم کوارتز– تله گیر مرطوب- فیلترهای الیاف شیشه‌ای، الیاف کوارتز و سلولز استات

تعیین مواجهه شغلی با بخار جیوه موجود در هوا با استفاده از لوله های جاذب (۲۰۰ میلی گرمی) با اسامی تجاری هیدرار[3] یا هاپکالایت[4]، ساخت کمپانی SKC انجام می شود. نمونه های TWA بــا دبــی حداکثــر ۰/۲ l/min در حجم هوای حداقــل ۳ lit یا حداکثر ۹۶ lit جمع آوری شــده و توســط طیــف ســنجی جذب اتمی بخار ســرد تعیین مقدار مــی گردد. ایــن روش در متدهای (OSHA ID -140) و NIOSH-6009 توضیح داده شده و به طور کامل معتبر است.

۲-۸-۱۷ پایش بیولوژیک

پایش بیولوژیک اندازه گیری یک عامل شــیمیایی در خــون، ادرار، و یا بافت بدن افراد در مواجهه می باشد، که با نمونه برداری و تجزیه بافت ها یا مایعات بدن، یک شاخص مواجهه قابل اندازه گیری را جهت یک ماده سمی یا متابولیت ارائه می نماید. این نوع پایش با تعیین مقدار مواد شیمیایی جذب شده به بدن، جهت اندازه گیری مواجهات محیطی در گذشته کاربرد دارد. چرا که اندازه گیری های هوا به تنهائی قادر به ارزیابی مواجهه پوســتی و یا اثرات تجهیزات حفاظتی و شــیوه های انجام کار نمی باشــد. از طرفی، با اندازه گیری مقدار واقعی یک عامل جذب شــده در بدن، بهتر از پایش هوا می توان ریســک ابتلا به اثرات بهداشــتی زیان آور را برآورد نمود. روش پایش بیولوژیک ایده آلی برای ارزیابی خطرات ناشی از مسمومیت با بخار جیوه عنصری وجود ندارد. با این حال، جیوه معدنی

[1] Cold vapour atomic absorption spectroscopy
[2] Cold vapour atomic florimetery spectroscopy
[3] Hydrar
[4] Hopcalite

کل در ادرار را می توان توسط نمونه گیری قبل از شیفت، هم در خون و هم در ادرار اندازه گیری نمود. سطوح فردی اندازه گیری شده ممکن است روز به روز و حتی در طول یک روز تا حد زیادی متفاوت باشد. لذا تفسیر مناسب نتایج می تواند مشکل باشد، در هر حال این اندازه گیری می تواند در مورد مواجهه بالقوه بیش از حد اطلاعاتی را ارائه کند. در هر پروژه‌ای که از مقادیر قابل توجهی جیوه استفاده می گردد، برای ایجاد پایه ای جهت مقایسه در آینده، کلیه پرسنل آسیب دیده، مقام مسئول و دانشجویان قبل از کار با جیوه باید توسط روش های پایش بیولوژیک تایید شده مورد آزمایش قرار گیرند. تمامی شاغلین در طی پروژه می‌بایست به صورت دوره‌ای آزمایش شوند تا با مقایسه نتایج با مقادیر پایه در شروع مطالعه، اگر مواجهه بالقوه زیان آوری انجام شده باشد، مشخص گردد. تناوب زمانی آزمایشات دوره‌ای را باید پزشک طب کار تعیین کند.

۱۷-۸-۲-۱ جیوه در ادرار

پایش بیولوژیک توصیه شده برای کارگران در مواجهه با جیوه فلزی و جیوه غیرآلی، اندازه گیری جیوه در ادرار است. در حالت ایده‌آل، جمع آوری ادرار باید ۲۴ ساعته انجام گیرد. نمونه های ادرار تائیدی نیز باید گرفته شود، اما باید دقت شود که تمام نمونه ها در یک زمان مشخص از روز در حوالی پایان هفته‌کاری و پس از چند ماه مواجهه مداوم جمع آوری گردد. نمونه های شبانه نیز باید گرفته شود، محدوده زمانی این نمونه‌ها از وقتی که فرد به رختخواب می رود تا اولین دفع ادرار در صبح می باشد. نمونه ها در ظروف فاقد جیوه حاوی نگهدارنده که از آزمایشگاه دریافت شده، جمع آوری می گردد. حداقل ۲۵ ml ادرار باید جمع آوری شود. جلوگیری از آلودگی ظروف نمونه و یا ادرار با جیوه از طریق پوست یا هوای محیط کار، نیاز به مراقبت های زیادی دارد.

هنگام تفسیر نتایج، مقدار جیوه ادرار باید براساس گرم کراتی نین در نمونه اصلاح گردیده و به صورت $\mu g/g_{Creatinine}$ بیان شود. سطوح ادرار افرادی که مواجهه شغلی با جیوه ندارند، به ندرت از $\mu g/g_{Creatinine}$ ۵ بیش تر می‌شود. اخیراً توسط گروه بهداشت و خدمات سالمندان و پزشکان نیوجرسی[1]، سطوح بیش تر یا مساوی $\mu g/g_{Creatinine}$ ۲۰ نیز گزارش شده است. هر چند بسیاری از آزمایشگاه ها تنها سطوح بالاتر از $\mu g/g_{Creatinine}$ ۱۵۰ را دال بر سمیت می دانند، ولی شواهد قوی وجود دارد که نشانه های اولیه مسمومیت با جیوه را می توان درکارگران با دفع ادراری بیش از $\mu g/g_{Creatinine}$ ۵۰ (برای میزان کراتی نین ادرار استاندارد ۱g/l) نیز مشاهده نمود. مقدار

[1] New Jersey

$\mu g/g_{Creatinine}$ ۵۰ توسط بسیاری از کارشناسان به عنوان حد آستانه بیولوژیکی برای مواجهه مزمن با بخار جیوه پیشنهاد و در سال ۱۹۸۰ نیز توسط گروه تحقیقاتی سازمان بهداشت جهانی تایید شد. افراد در مواجهه با سطوح بالاتر از $\mu g/g_{Creatinine}$ ۵۰ تا زمان مشخص شدن دلیل مواجهه بیش از حد آنان و اصلاح آن، و کاهش سطوح جیوه ادرار آنان به زیر مقادیر حد مجاز، باید در کاری بدون مواجهه شغلی با جیوه گمارده شوند.

۱۷-۸-۲-۲ جیوه در خون

غلظت جیوه در خون نشان دهنده مواجهه با جیوه آلی و همچنین جیوه فلزی و معدنی می باشد، نیمه عمر جیوه در خون کوتاه است لذا اندازه گیری جیوه خون باید بلافاصله پس از مواجهه انجام شود. نمونه ها همیشه باید در یک زمان مشخص از روز در حوالی پایان هفته کاری و پس از چند ماه مواجهه مداوم جمع آوری گردد. خون تام باید توسط لوله های فاقد جیوه حاوی هپارین، و پس از تمیز نمودن کامل پوست، جمع آوری گردد. میزان جیوه در خون افرادی که مواجهه شغلی با جیوه ندارند، معمولاً کمتر از ۲۰ ug/l است. اخیراً توسط گروه بهداشت و خدمات سالمندان و پزشکان نیوجرسی، سطوح بیشتر یا مساوی ۲۸ ug/l نیز گزارش شده است. به گفته برخی از کارشناسان، متوسط غلظت هوابرد ug/m^3 ۵۰ سبب غلظت جیوه خون در حدود ۳۰-۳۵ ug/l می گردد. اثرات زودرس سمیت جیوه در غلظت خون بیش از ۳۰ ug/l دیده می شود. کارگری با سطوحی بیش از این مقدار، تا زمان ارزیابی میزان مواجهات از طریق رژیم غذائی و محیط کار و بازگشت سطوح خونی وی به حد پایه، باید در کاری فاقد مواجهه با جیوه گمارده شود.

نمونه های خون یا ادرار برای تجزیه باید به یک آزمایشگاه معتبر فرستاده شوند. همه آزمایشگاه ها مهارت انجام این نوع تجزیه را ندارند. لیست آزمایشگاه های قابل اطمینانی که از مهارت کافی برای تجزیه جیوه در خون و ادرار برخوردار می باشند را می توان از دفتر سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی استعلام نمود.

پایش بیولوژیک جیوه تحت تاثیر مصرف غذاهای دریایی قرار دارد، لذا هنگام انجام پایش بیولوژیک لازم است فرد حداقل ۳ روز از مصرف غذاهای دریایی اجتناب کند.

۱۷-۸-۲-۳ شاخص های بیولوژیکی مواجهه[1] (BEIs)

برای ارزیابی مواجهه خطر ابتلا کارگران به ریسک بهداشتی، از شاخص های بیولوژیکی مواجهه

[1] Biological exposure indices

اســتفاده می گردد. BEIs حدودی برای ارزیابی نتایج پایش بیولوژیکی هســتند، این حدود معرف ســطوحی از عوامل قابل اندازه گیری مشــاهده شــده در نمونه‌های جمع آوری شــده از کارگران سالمی می باشد، که به طور بالقوه با مواد خطرناک در محدوده حد آستانه مجاز (TLV) از طریق استنشاق مواجهه داشته باشند. BEIs نشان دهنده مقادیر کم تر از محدوده غلظتی است که تقریباً در تمام کارگران عوارض نامطلوب بهداشــتی ایجاد نکند. BEIs به طور غیر مســتقیم دوز حاصل از مواجهه کارگر با یک ماده خاص را نشــان می دهد. این روش مســتلزم اندازه گیری غلظت یک ترکیب شــیمیایی معین در خون، مایعات و بافت های افراد دارای مواجهه بالقوه به شــاخص جذب ماده می باشــد. در اکثر موارد، نمونه های بیولوژیکی مورد اســتفاده جهت پایش بیولوژیک، ادرار، خون یا هوای بازدم کارگران است. برای تعیین BEIs می توان از مواد شیمیایی اصلی، یک یا چند متابولیت، یا یک ویژگی، تغییرات بیوشیمیایی ناشی از مواد شیمیایی استفاده نمود. از BEIs نباید به عنوان معیاری جهت تعیین اثرات نامطلوب یا تشخیص بیماری های شغلی استفاده گردد. پایش بیولوژیک امکان کمک به متخصصین بهداشت حرفه ای یا پزشکان را از طروق زیر فراهم می کند:

- تشخیص و تعیین میزان جذب از طریق پوست یا دستگاه گوارش یا استنشاق
- ارزیابی سربار بدن
- تعیین مواجهات در گذشته
- تشخیص مواجهات شغلی یا غیر شغلی در میان کارگران
- آزمایش بهره وری کنترل های مهندسی و تجهیزات حفاظت فردی
- پایش شیوه های انجام کار

BEIs به عنوان دســتورالعملی جهت ارزیابی خطرات بهداشــتی بالقوه در نظر گرفته شــده است. BEIs جهــت ۸ ســاعت مواجهه روزانــه به مــدت ۵ روز در هفته کاربرد دارد. هرچنــد در برنامه کاری مشــاغل مختلف گاهی تغییر ایجاد می شود، معذلک کمیته BEI سازمان ACGIH اعمال هیچ گونــه تغییــر یا ضریب تصحیحــی را در BEIs توصیه نمی کنــد، و BEIs باید بدون در نظر گرفتن برنامه کاری، به همان شکل ذکر شده استفاده گردد. جهت اطلاع از معیارهای دقیق علمی و توضیحات مربوط به هر BEIs، می توان به مســتندات حدود مجاز شــغلی مجاز و شاخص های بیولوژیکی مواجهه که ســالانه توســط کمیته دولتی متخصصین بهداشــت صنعتی آمریکا منتشر می گردد، مراجعه نمود.

مقادیر BEIs جیوه معدنی کل که توسط کمیته بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه ای

پیشـــنهاد گردیده، در جدول ۱۰ نشـــان داده شـــده اســـت. از آن جائی که در نمونه های بیولوژیک جمع آوری شده از افراد بدون مواجهه شغلی با جیوه نیز ممکن است جیوه در غلظتی که بر تفسیر نتیجه تاثیرگذار باشـــد وجود داشته باشـــد، لذا جهت لحاظ نمودن غلظت های زمینه ای در مقادیر شاخص های بیولوژیکی مواجهه، نماد "زمینه" توسط این کمیته برای شاخص های بیولوژیکی جیوه در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۰- شاخص های بیولوژیکی مواجهه پیشنهادی توسط کمیته بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه ای در سال ۱۳۹۰

شاخص	نمونه بیولوژیک	زمان نمونه برداری	BEI	نماد
جیوه معدنی کل	ادرار	ابتدای شیفت	۳۵ $\mu g/g_{Creatinine}$	زمینه
	خون	انتهای شیفت در آخر هفته کاری	۱۵ ug/l	زمینه

۳-۸-۱۷ پایش های پزشکی

پایش پزشـــکی، ارزیابی دوره ای کارگـــران در مواجهه جهت حصول اطمینان از عدم ایجاد هرگونه عوارض جانبی ناشـــی از مواجهه بالقوه خطرناک در محیط کار می باشـــد. هدف اصلی از انجام این ارزیابـــی که در برنامـــه پایش دوره ای هوا و پایش بیولوژیک کاربرد دارد، حصول اطمینان از کم تر بودن ســـطوح مواجهه از اثرات سوء بهداشتی مربوطه می باشد. برنامه پایش پزشکی باید به نحوی طراحی شـــود که منجر تشخیص عوارض جانبی ناشی از مواجهه در اولین مراحل ممکن، یعنی در مرحله ای که هنوز قابل برگشت است، گردد. به طوری که بتوان مواجهه را کنترل نموده و از ایجاد عوارض جانبی دائمی و جدی جلوگیری کرد.

یک برنامه پایش پزشـــکی نظام مند باید آموزش کارفرمایان و کارگران در مورد خطرات مربوط به کار، تشخیص زودرس عوارض زیان آور بهداشتی و ارجاع کارگران برای تشخیص و درمان را شامل گردد. وقوع بیماری و یا ســـایر عوارض زیان آور بهداشـــتی مرتبط با کار باید ارزیابی فوری اقدامات پیشـــگیرانه اولیه (مانند پایش های بهداشت حرفه ای، کنترل های مهندسی، و تجهیزات حفاظتی شـــخصی) را به دنبال داشـــته باشد. نتایج معاینات فیزیکی و پرسشنامه ای به دست آمده از معاینه فیزیکی، نتایج حاصل از معاینات فیزیکی و تکمیل پرسشنامه از نظر گروهی نیز باید بررسی شود. این موضوع اهمیت زیادی دارد، زیرا مســـمومیت با جیوه در ابتدا ممکن اســـت بســـیارخفیف جلوه کند، لذا زمانی که مجموع علائم مورد توجه قرار گیرد، افزایش احتمالی نشانه های بالینی به میزان

ناچیز در هر فرد، در شناخت وقوع مواجهه سمی با جیوه حائز اهمیت است.
یک برنامه پایش پزشکی به عنوان مکمل در نظر گرفته شده و لذا جایگزین سایر سنجش ها نمی گردد. به منظور شناسایی و کنترل اثرات بهداشتی مرتبط با کار، ارزیابی های پزشکی باید (۱) قبل از شروع به کار، (۲) به صورت دوره ای در طول مدت اشتغال، و (۳) در زمان انتقال یا فسخ کار انجام گردد. کلیه پایش های پزشکی شاغلین در مواجهه باید توسط پزشک متخصص طب کار انجام گردد. به علاوه، تفسیر داده ها تنها باید توسط پزشک متخصص طب کار یا پزشک دیگر دارای تجربه در انجام چنین تجزیه و تحلیل هائی انجام گردد.

۱۷-۸-۳-۱ ارزیابی پزشکی قبل از شروع به کار

قبل از اینکه کارگری در کاری دارای پتانسیل مواجهه با بخار جیوه به کار گمارده شود، لازم است ارزیابی های پیش از استخدام با طراحی توسط متخصص طب کار، شامل سوابق پزشکی، زیست محیطی و شغلی، معاینه فیزیکی و آزمایشات مناسب برای پیش بینی ریسک های شغلی انجام شود. این ارزیابی بایستی عملکرد چشم ها، پوست، سیستم تنفسی، سیستم عصبی مرکزی و محیطی را به صورت متمرکز شامل گردد. پایش پزشکی جهت بیماری های تنفسی بایستی با استفاده از اصول و روش های توصیه شده توسط سازمان های علمی ذیربط انجام گیرد. هنگامی که کارگر با بخار جیوه پایین تر از حدود مجاز شغلی مواجهه دارد، جهت ارزیابی شرایط پزشکی منجر به افزایش یا تشدید ریسک ابتلا، توصیه می گردد یک ارزشیابی پزشکی اولیه انجام گیرد. در پایش سلامت شغلی باید فراوانی احتمالی، شدت و مدت زمان مواجهه و همچنین ماهیت هر وضعیت پزشکی قابل اجرا در نظر گرفته شود. هدف از این معاینه، فراهم نمودن یک سطح پایه، برای پایش سلامت در آینده و تعیین تناسب برای شغل می باشد. این معاینات باید شامل موارد زیر باشد:

- تکمیل سوابق پزشکی و پرسشنامه علائم، با تاکید بر:
  - سیستم عصبی (ارگان هدف برای مواجهه مزمن)
  - کلیه (ارگان هدف برای مواجهات حاد و مزمن)
  - حفره دهان (ارگان هدف برای مواجهه مزمن)
  - ریه (ارگان هدف برای مواجهه حاد)
  - چشم (ناشی از تاثیر مواجهه مزمن)
  - پوست (با توجه به این‌که جیوه یک حساس‌کننده پوست شناخته شده است)

- علائم و نشانه های شناخته شده مسمومیت اولیه با جیوه عبارتند از: تغییرات شخصیتی، کاهش وزن، تحریک پذیری، خستگی، عصبانیت، از دست دادن حافظه، عدم تمرکز و زوال فکر، شکایت از لرزش و از دست دادن هماهنگی نیز قابل پی گیری است.
- انجام معاینه فیزیکی در اندام های هدف فوق الذکر
- اقدام به ثبت اولیه نمونه دست خط
- ارزیابی آزمایشگاهی حداقل شامل آزمایش کامل ادرار. این معاینه باید سالانه تکرار شود. برای بررسی تغییرات مربوط به سمیت جیوه، نتایج باید با یافته های معاینات اولیه مقایسه گردد. جهت تائید لرزش، نمونه های دست خط باید با نمونه پایه مقایسه گردد. اگر علائم ذکر شده مربوط به مسمومیت با جیوه تائید گردید، باید اقدام به انجام ارزیابی های موقت نمود.

۱۷-۸-۳-۲ ارزیابی های پزشکی دوره ای

اندازه گیری های بهداشت حرفه ای و معاینات فیزیکی باید مطابق با استانداردهای منطقه ای و محلی در فواصل منظم در طول دوره استخدام انجام شود. در جائی که هیچ استانداردی وجود نداشته و میزان خطر حداقل باشد، ارزیابی باید هر ۳ تا ۵ سال و یا اغلب با توصیه متخصص طب کار با تجربه انجام شود. اگر در کارگری علائم مربوط مواجهه با بخار جیوه مشاهده گردد، لازم است جهت بررسی بیشتر به متخصص طب کار ارجاع شود. مصاحبه ها، معاینات و آزمایشات غربال گری پزشکی باید با تاکید بر شناخت عوارض جانبی بخار جیوه در چشم ها، پوست، سیستم تنفسی، سیستم عصبی مرکزی و محیطی، و یا کلیه ها انجام شوند. وضعیت سلامت فعلی کارگر باید با وضعیت سلامت پایه وی و یا با مقادیر مورد انتظار برای یک جمعیت مرجع مناسب، مقایسه گردد.

برای تشخیص هرگونه تغییر احتمالی مربوط به مسمومیت با جیوه، نتایج معاینات فیزیکی و پرسشنامه ای به دست آمده از معاینات دوره ای، باید با معاینات اولیه مقایسه گردد. نتایج باید با جزئیات به کارگر منتقل گردد. اگر براساس علائم و نتایج حاصل از یافته های معاینات فیزیکی و یا تست های آزمایشگاهی، تردیدی در مسمومیت با جیوه وجود داشته باشد، کارگر باید توسط پزشک معاینه گردد. در صورت تردید در مسمومیت، کارگر باید از مواجهه دور گردیده و سپس با یک کارشناس خبره مشاوره گردد. نتایج معاینات فیزیکی باید محرمانه نگاه داشته شده و به

اســتثنای متخصصان بهداشــت حرفه ای، هیچ یک از کارمندان دیگر نبایســتی به سوابق پزشکی دسترسی داشته باشند.

مطالعات متعددی نشــان داده اند که برخی از آزمایشــات خاص می توانند در تشخیص علائم اولیه سمیت جیوه مفید باشند. تست های عصبی رفتاری، طراحی شده برای شناسایی تغییرات اولیه در تمرکز، زمان پاسخ، حافظه و هماهنگی دست و چشم، می تواند در تشخیص علائم اولیه مواجهه با جیوه در سیســتم عصبی در فرد و گروه شــاهد مفید باشد. آسیب اولیه کلیوی را می توان با وجود پروتئیــن های با وزن مولکولی کم در ادرار تشــخیص داد. وجود این پروتئین ها در ادرار، آســیب کلیوی را مدت ها قبل از این که توسط یک شاخص ادراری معمولی معرف غیرطبیعی بودن تائید گردد، نشــان می دهد. بتا-۲-میکروگلوبولین و N- استیل- D-B - گلوکزآمینیداز (NAG) دو پروتئینی هســتند که می توان در ادرار اندازه گیری نمود. انجام این آزمایش در افراد گروه شــاهد نیز مفید می باشــد. این آزمایشــات تخصصی باید به صورت مرتب انجام شده و توسط یک پزشک طب کار یا پزشک دیگری دارای تخصص در این حیطه تفسیر گردد.

۱۷-۸-۳-۳ ارزیابی های خروج از کار

مصاحبه های مربوط به تاریخچه ســوابق پزشــکی، زیست محیطی و شــغلی، معاینات فیزیکی، و آزمایشــات انتخابی فیزیولوژیک یا آزمایشــگاهی که در زمان شروع به کار انجام شده، جهت تعیین وضعیــت پزشــکی کارگر در زمان انتقال و یا ختم کار نیز بایســتی تکرار گــردد. هرگونه تغییر در وضعیت ســلامت کارگران بایســتی با شــرایط مورد انتظار در یک جمعیت مرجع مناسب مقایسه گردد.

۱۷-۸-۳-۴ دور نمودن شاغلین از مواجهه

افرادی که در معاینه فیزیکی آنان علائم یا نشــانه های مســمومیت تشخیص داده شود و یا سطوح جیــوه ادرار و خــون آنان به ترتیب از $\mu g/g_{Creatinine}$ ۵۰ و ug/l ۳۰ تجاوز کند، را باید از مواجهه با جیوه دور نمود. افرادی که به دلیل بالا بودن ســطوح جیوه خون یا ادرار و یا نتایج معاینه فیزیکی دال بر مســمومیت اولیه با جیوه، از کار دور می گردند، باید در کار بدون مواجهه گمارده شــده و دســتمزد، مزایا و مرتبه شــغلی آنان حفظ شود. هیچ کارگری به دلیل مواجهه بیش از حد با جیوه نباید مجازات یا اخراج گردد.

ایــن افــراد تنها هنگامی باید به کار اصلی خود بازگردند که فاقد علائم مســمومیت با جیوه بوده و سطح جیوه ادرار آن ها به کم تر از $\mu g/g_{Creatinine}$ ۳۵ کاهش یافته باشد. در صورتی که هیچ گونه کار فاقد مواجهه با جیوه در دســترس نباشــد، این کارگران می توانند با استفاده از ماسک مجهز به تامین هوا همچنان به کار خود ادامه دهند، به شــرطی که نتایج پایش بیولوژیکی یا کاهش علائم آنان در طول زمان رضایت بخش باشد.

پیوست ها

پیوست ۱

راهنمای کنترل مواجهه با بخار جیوه در محیط کار

اقدام در جهت پیدا کردن یک جایگزین برای جیوه

آیا واقعاً نیازی به استفاده از جیوه وجود دارد؟ آیا می توان میزان استفاده از جیوه را کاهش داد؟ آیا به جای جیوه فلزی، می توان از ترکیبات جیوه استفاده نمود؟ آیا می توان به جای جیوه، از فلز یا آلیاژ دیگری اســتفاده کرد؟ آیا می توان ابزار و تجهیزات حاوی جیوه را حذف و یا ابزار و تجهیزات فاقــد جیــوه را جایگزین آن ها نمود؟ جایگزینی، ســبب حذف کامل جیوه بــه عنوان یک آلاینده قدیمی از محیط کار می گردد. با این حال، بایســتی از امکان اســتفاده ایمن از هر نوع روش یا ابزار جایگزیــن نیز اطمینان حاصل گردد. در جدول زیر، جایگزین های مناســب با توجه به کاربردهای مختلف جیوه ارائه شده است:

مورد	جایگزین
کنترل گرهای فشار جیوه‌ای	کنترل گرهای فشار فاقد جیوه یا الکترونیکی
فشارسنج ها، وسائل اندازه گیری فشار	فشارسنج های فاقد جیوه یا الکترونیکی، کنترل گرهای فشار آنالوگ (یا خلاء)
سوئیچ‌ها و رله‌ها	سوئیچ های فاقد جیوه، رله ها و تجهیزات گازی با جرقه زن الکترونیکی، سوئیچ های مکانیکی
دماسنج ها	الکل و روغن های معدنی، دیجیتال
پروب های ترموستات	حس گرهای شعله ای الکتریکی، جرقه زن الکترونیکی
ترموستات ها	کنترل توسط هوا، سوئیچ‌های بادی، دیافراگم های پرفشار، سوئیچ های ضربه ای و قابل برنامه ریزی
باتری ها	باتری های قلیائی، وسایل الکتریکی
حلال ها و محلول ها	استفاده از جایگزین های فاقد جیوه (به طور مثال استفاده از روی- فرمالین به جای کلرید جیوه)
آمالگام دندان	کامپوزیت، شیشه، پوشش فلز- سرامیک، آلیاژهای طلا و گالیوم
رنگ (مانند قرمز شنجرف کادمیوم، رنگ شنجرف واقعی) و لعاب ها	رنگ های فاقد جیوه
رنگدانه	رنگدانه های گیاهی
سم بید	تراشه های سدر، روغن اوکالیپتوس
مواد ضد عفونی کننده موضعی حاوی مرکورکروم	الکل یا پراکسید هیدروژن
محلول های حاوی فنیل مرکوریک استات، فنیل مرکوریک نیترات	محلول های فاقد جیوه

نیاز به یک برنامه ایمنی و بهداشت

برخورداری از برنامه و افراد مورد نیاز برای مدیریت ایمنی و بهداشت محیط کار در تمامی جوانب، کنترل جیوه را موثرتر خواهد نمود. جهت کسب موفقیت در کنترل جیوه، به یک برنامه ایمنی و بهداشت مشتمل بر اجزاء زیر نیاز است:

تعهد مدیریت

- اعتقاد کامل به پیشگیری از بیماری و آسیب به عنوان یک هدف
- انطباق برنامه با استانداردهای موجود
- ارائه موفق خدمات ایمنی و بهداشت به شاغلین
- استفاده از مشاوران مناسب و کارآمد
- اختصاص بودجه کافی جهت ارائه خدمات ایمنی و بهداشت

مشارکت کارگران

- ارتباط کارگران با کمیته مدیریت ایمنی و بهداشت
- همکاری کارگران در اجرای برنامه های آموزشی
- امکان دسترسی کارگران به اطلاعات مواجهه و پرونده های پزشکی خود

شناسایی خطر

- اقدام به ثبت سوابق و نتایج تجزیه
- بررسی علل شیوع و بروز حادثه

انجام اقدامات کنترلی

- پیش‌بینی برنامه های کنترلی کوتاه مدت و بلند مدت
- انتشار کتابچه راهنمای ایمنی و بهداشت در خصوص مقررات و انجام کار به روش ایمن
- نظارت بر اجرای مقررات و روش ایمن انجام کار
- اقدام به انجام تعمیرات و نگهداری با اهداف پیش‌گیرانه
- انجام تعمیرات فوری تجهیزات کنترلی در صورت بروز مشکل

روش ساده کنترل قدم به قدم مواجهه با جیوه

قدم اول: جمع آوری اطلاعات در مورد کار با جیوه و شیوه های آموزش کار

شناسائی مکان هائی در محیط کار که از جیوه استفاده شده و یا جیوه در آن جا موجود است. تعداد شاغلین در هر شیفت کاری که با جیوه کار کرده یا با آن تماس دارند. در نظر گرفتن همه کارگران، چه آن هائی که به طور مستقیم با جیوه در تماسند و چه آن هائی که مواجهه غیر مستقیم دارند. انواع کارگران زیر باید در نظر گرفته شوند:

- دائمی
- موقت
- نظافتچی ها
- تعمیر و نگهداری
- تحقیق و توسعه
- رانندگان جرثقیل، لودر و کامیون
- سرپرستان و مدیران
- اداری و دفتری
- انبارداها
- حمل‌ونقل
- پیمانکاران
- دانشجویان و کارآموزان
- بازدیدکنندگان و مشتریان

لحاظ نمودن کلیه تغییرات در وظایف از نظر چگونگی انجام (فراوانی در روز یا هفته) و مدت انجام (ساعت یا روز). مد نظر قرار دادن موقعیت های کاری مانند: دفاتر کار، فرآیندها، طبقات، ماشین آلات، ایستگاه های کاری دائم یا موقت، اضافه کاری، شیفت های کاری اضطراری و فعالیت های معمولی و غیر معمولی مانند:

- خرابی ها
- کمبود کارکنان
- تغییرات پرسنلی
- تغییرات در حجم تولید
- کارهای آزمایشی
- تغییرات جوی

قدم دوم: مشاهده و مصاحبه جهت مشخص نمودن شاغلین در مواجهه

- ارزیابی ریسک مواجهه ناشی از هر فعالیت
- در نظر گرفتن پتانسیل جذب پوستی جیوه در هر فعالیت

- تماس مستقیم با جیوه
- پاشش یا ریختن بر روی پوست
- لمس جیوه در هنگام کار با آن
- آلودگی داخل دستکش ها، لباس، کفش ها، عینک و سایر ملزومات شخصی
- آلودگی پوستی به هنگام پوشیدن و بیرون آوردن دستکش ها، لباس و کفش ها
- عدم شستن دقیق پوست، ناخن و مو در پایان شیفت کار

- در نظر گرفتن پتانسیل استنشاق بخار جیوه در هر فعالیت

- آلودگی مو، صورت، پوست، لباس و دستکش ها به هنگام تبخیر خصوصاً در منطقه تنفسی
- آلودگی سطوح کار، کف به هنگام تبخیر
- دمای محیط کار بالاتر از ۶۸°F
- تبخیر جیوه از ظروف در باز
- افزایش تبخیر جیوه ناشی از حرارت
- آلودگی ناشی از استعمال سیگار
- آلودگی داخل ماسک تنفسی
- عدم انتخاب، نگهداری و یا استفاده درست از ماسک تنفسی
- عدم طراحی، نگهداری و یا استفاده درست از تهویه

- در نظر گرفتن پتانسیل جیوه تزریق شده به درون بدن

- استفاده از تجهیزات با فشار بالا
- دست زدن به اشیاء تیز آلوده مانند شیشه شکسته

- در نظر گرفتن پتانسیل آلودگی ناشی از اتومبیل های پرسنل
- در نظر گرفتن پتانسیل آلودگی ناشی از منازل پرسنل
- حذف جیوه از روی سطوح کار، کف، لباس، مو و غیره با استفاده از پودر گوگرد و چراغ قوه
- تشـخیص حضور جیوه در سـطوح کار، کف، لباس، مو، و غیره با استفاده از یک بخارسنج قرائت مستقیم جیوه
- ردیابی و مشاهده حرکت هوا در داخل و خارج منطقه استفاده از جیوه، با استفاده از جنبش دود یا بوی یک مولد دود یا بخار

بررسی و اطمینان از جایگزینی هوای خارج شده با هوای تازه و کافی، سهولت در باز و بسته شدن

در و پنجره‌ها و عملکرد صحیح سیستم های تهویه

قدم سـوم: مشاهده شـاغلین در محیط کار و انجام مصاحبه جهت پیدا کردن روش های کنترلی مناسب جهت جلوگیری از مواجهه با جیوه

- جداسازی یا آماده نمودن مناطق برای استفاده:
  - بستن درها
  - محدود کردن ورود فقط برای کارگرانی که ورودشان ضروری است.
  - محدود نمودن زمان حضور در منطقه
  - محدود کردن جابجائی هوای اطراف محدوده
- تکنولوژی کنترل و طراحی ایستگاه کار:
  - استفاده از دستکش
  - استفاده از هود آزمایشگاهی مناسب
  - کنترل درجه حرارت در زیر ۲۰ ^{o}C (۶۸ ^{o}F)
  - خرید جیوه به اندازه نیاز در ظروفی با اندازه متناسب با سیستم های مربوطه
  - انتقال و ذخیره سازی اقلام حاوی جیوه در ظروف در بسته
  - تنظیم هشدار دهنده ها یا پایشگرهای مداوم در ۱/۲ حد آستانه مجاز
  - استفاده از سطوح کار صاف، نفوذناپذیر (فولاد ضد زنگ) با یک شیب در امتداد سطح کار منتهی به یک بطری جمع آوری با لبه برگشته به داخل برای جلوگیری از ریخت و پاش جیوه
  - استفاده از کف صاف، نفوذناپذیر (اپوکسی، پلی اوره‌تان و پوشش وینیلی) و عدم استفاده از چوب، فرش و پادری
  - استفاده از سطوح به رنگ تیره برای کمک به مشاهده جیوه
  - درزگیری اطراف پایه های میز و فضای اتصال کف با دیوار
  - نگهداری جیوه در ظروف غیر شکستنی، در بسته و نگه داشته شده در زیر آب یا روغن
- استفاده از شیوه های مدون اجرای کار به روش های استاندارد
- آموزش شغلی
- روش های پاک سازی ریخت و پاش جیوه
- استفاده از تهویه موضعی
- استفاده از تهویه رقتی

- استفاده مناسب از روش ها و تجهیزات نظافتی
- نظافت روزانه کف ها، سطوح کار و تمام نقاط در تماس با دست (ابزار، دستگیره در، رویه میز)
- پاک کردن سریع ریخت و پاش
- مکش منظم جیوه با مکنده ویژه
- اجتناب از پاک‌کردن با جاروی خشک
- عدم استفاده از هوای فشرده برای تمیز کردن
- عدم استفاده از پمپ های خلاء
- عدم دستمالی و استفاده مجدد و همچنین اجتناب از قرار دادن تنظیف و حوله کاغذی مورد استفاده جهت تمیز کردن در جیب و نیز عدم خشک نمودن بر روی بخاری

- محافظت از چشم و صورت توسط چشم شوی و بدن شوی اضطراری
- تعویض روزانه لباس و دستکش تجهیزات حفاظت تنفسی و شیوه های استفاده
- اختصاص اتاق و امکانات نگهداری ملزومات شخصی:

- فراهم نمودن محلی تمیز برای نگهداری لباس بیرون، کفش، و وسایل شخصی در حین انجام کار
- اجتناب از قرار دادن وسایل شخصی (لباس خیابانی یا کفش ها، شانه، کیف، حلقه، ساعت و ملزومات شخصی مانند کیف پول) در منطقه کاری

- امکانات و شیوه های شست و شوی دست ها و بدن:

- تمیز نگه داشتن سرویس های بهداشتی
- فراهم نمودن صابون، حوله یک بار مصرف، برس ناخن، و آب گرم
- فراهم نمودن تسهیلات اضافی شست و شوی دست در مناطق کار
- تمیز نگه داشتن حمام و فراهم نمودن صابون، شامپو، برس ناخن، حوله و آب گرم
- حصول اطمینان از دوش گرفتن، شستن موها و ناخن و نیز تمیز بودن عینک شاغلین قبل از بازگشت آنان به منزل

- رستوران و تسهیلات غذاخوری:

- فراهم نمودن محل نگهداری تمیز برای غذا، نوشیدنی ها، سیگار، آدامس، و غیره
- اجتناب از خوردن، آشامیدن و سیگارکشیدن در محیط کار
- حصول اطمینان از اینکه شاغلین قبل از غذا خوردن، نوشیدن و استعمال دخانیات، دست و صورت را می شویند.

- پاک سازی لباس و کفش توسط مکنده، قبل از ورود به رستوران
- تمیز کردن روزانه رستوران توسط مکنده جیوه
- پایش پزشکی
- پایش بیولوژیک
- کنترل خطر
- کنترل لیست موجودی
- برچسب زنی ظروف حاوی جیوه
- نصب علائم هشدار دهنده در روی ظروف و پسماندهای حاوی جیوه

قدم چهارم: تصمیم‌گیری در خصوص نیاز به کنترل های اضافی با اســتفاده از روش های کنترلی قدم سوم

فرایندهای کار با جیوه زیاد بوده و محدوده کنترل موثر آن ها نیز به همان اندازه گســترده اســت. با این‌حال، اســتفاده از کنترل های احتمالی شــرح داده شده در قدم سوم، نیاز به تمرکز و هدایت بسیاری از امکانات مربوطه گردد. کنترل محیط کار بهتر از تجهیزات حفاظت فردی است، این اصل به عنوان الویت کنترل شناخته شده است. بعضی موارد مانند، نظافت و رعایت بهداشت نیز همیشه جایگاه خود را داشته و دارد. فن آوری کنترل باید بسته به نیاز استفاده گردد. ماسک های تنفسی و ســایر تجهیزات حفاظتی فردی تنها زمانی که دیگر کنترل ها کافی نباشــند، باید استفاده شود.

روش های کنترل به ترتیب الویت عبارت است از:

- جایگزینی با یک ماده شیمیایی ایمن تر
- جایگزینی با یک فرایند ایمن تر
- مکانیزه نمودن فرایندها
- جداسازی فرایند
- محصور نمودن عملیات
- استفاده از تهویه موضعی
- استفاده از تهویه عمومی
- استفاده از ماسک های تنفسی، دستکش، و سایر تجهیزات حفاظتی

قدم پنجم: ثبت سوابق ارزیابی

ثبت اطلاعات کافی برای نشان دادن علت تصمیم اتخاذ شده در مورد مواجهه و کنترل. استفاده از

تجهیزات حفاظت فردی تنها در صورتی مجاز است که علت عدم اجرا یا کافی نبودن سایر روش ها به روشنی بررسی گردد.

قدم ششم: حصول اطمینان از مطابقت با استانداردهای موجود

پیروی از اســتانداردهای موجود، در کنترل مواجهه با جیوه ضروری اســت. برای اطلاع از قوانین و مقررات استانداردهای موجود می توان به سازمان ملی استاندارد ایران مراجعه نمود.

قدم هفتم: اختصاص بودجه برای کنترل و اجرای تغییرات

قدم هشتم: بررسی اثربخشی کنترل

- بازبینی قدم های دوم و سوم
- انجام نمونه برداری فردی از تمامی پرسنل شیفت ها و مقایسه با حدود مجاز شغلی کشور
- انجام نمونه برداری از تنظیف مورد استفاده جهت پاک کردن سطوح کار و پوست
- بازبینی قدم چهارم، در صورت لزوم
- ارزیابی اتومبیل و خانه های شاغلین، در صورت لزوم

برای کسب اطلاعات بیش تر در این خصوص می توان به بخش های حدود مجاز مواجهه جیوه در هوا و روش های پایش بهداشت صنعتی جیوه مراجعه گردد.

قدم نهم: بازبینی قدم های اول تا هشتم

در صــورت تغییر کارخانه، فراینــد، عملیات، روش های کنترل یا مــواد، افزایش اثرات زیان آور یا نتایج پایش بیولوژیکی گزارش شده، قدم های اول تا هشتم بایستی بازبینی شود. این کار به معنی تکــرار ارزیابی کل فرایند نمی باشــد، بلکه هدف از این مرور، حصول اطمینان از مناســب و کافی بودن ارزیابی موجود اســت. اگر چنین باشــد، به انجام اقدامات بیش تری نیاز نمی باشد. اگر نتایج حاکی از عدم اعتبار ارزیابی موجود باشــد، فقط آن بخش هائی که با ارزیابی جدید مغایرت دارند، لازم است که به روز گردد.

پیوست ۲

دستورالعمل پاک سازی ریخت و پاش جیوه عنصری

ریخت و پاش جزئی، ریخت و پاشی است که تمامی معیارهای زیر را داشته باشد:

- ماهیت و خطر بالقوه ماده شناخته شده باشد.
- نتایج حادثه هیچ گونه صدمه ای به انسان و یا آسیبی به تجهیزات وارد نکند.
- این نوع انتشـــار، هیچ گونه تهدید واقعی یا بالقوه ای برای سلامت انسان، محیط زیست، یا اموال نداشته باشد.

هرگونه ریخت و پاشی که از معیارهای فوق تجاوز کند، ریخت و پاش وسیع قلمداد می گردد. برای ریخت و پاش‌های وســـیع، جهت دریافت خدمات پاســخ اضطراری بلافاصله بایستی با واحد HSE تماس گرفته شود.

دستورالعمل های زیر بایستی در هنگام پاک سازی نشت جیوه اعمال گردد:

- اســـتفاده از تجهیزات حفاظت فردی و پوشـــش حفاظتی کارآمد، جهت جلوگیری از ورود قطرات جیوه به لباس و پوســـت افراد (پیوســـت۳). این تجهیزات دســـتکش های پلاستیکی یا لاستیکی، پوشـــش های محافظ پا (زمانی‌که جیوه کف زمین ریخته شـــده باشـــد) و اســـتفاده از پوشش های محافظ تکمیلی، زمانی‌که در مناســـب بودن پوشش تردیدی وجود داشته باشد را شامل می گردد. کلیه تجهیزات و پوشـــش های حفاظتی باید برای اســـتفاده جهت جیوه طراحی شده باشند. هرگز از دســـتکش های نازک یک بار مصرف اســـتفاده نگردد، زیرا پاره شـــده و جیوه به زیر ناخن وارد می گردد.
- در صورت نیاز از محافظ تنفســـی اســـتفاده گردد. در پایان عملیات، رنگ کارتریج به عنوان یک شـــاخص با کارتریج های ســـایر افراد مقایســـه شـــده و در صورت تغییر رنگ تعویض گردد. فقط از کارتریج های تنفســـی مختص جیوه استفاده گردد. از کشیده شـــدن لوله های خرطومی عبور هوا محافظ تنفســـی مراقبت گردد. قبل از انتقال تجهیزات به محـــل نگهداری، جهت اطمینان از عدم آلودگی، لوله های خرطومی و تجهیزات با استفاده از پایشگر بخار جیوه بررسی گردد.
- قرار دادن صفحات پلاستیکی روی سطوح، جهت جمع آوری قطرات جیوه ریخت و پاش شده در حین پاک سازی. لبه های این صفحات باید به طرف داخل برگشته باشد.

توجه: صفحات پلاستیکی و دیگر اقلام پاک سازی، باید مطابق با دستورالعمل زباله های خطرناک آلوده به جیوه دفع گردد.

- هنگام پاک سازی ریخت و پاش، هرگونه گرد و غبار و یا روغن آلوده شده با جیوه را باید دفع نمود. برای حذف روغن و لکه های سیاه، از مواد شوینده یا حلال، و برای حذف گرد و غبار باید از مکنده استفاده نمود. کلیه مراحل پاک سازی ریخت و پاش، بایستی مبتنی بر روش های کنترلی مناسب باشد.

- پارچه مورد استفاده فقط یک بار در محلول پاک سازی فرو برده شود. هرگز کهنه کثیف در محلول پاک سازی فرو برده نشود، زیرا تمام محلول موجود در ظرف آلوده خواهد شد. میزان مواد آلوده به جیوه تولید شده در هنگام پاک سازی را بایستی به حداقل رساند، زیرا دفع زباله های مایع آلوده به جیوه پرهزینه می باشد. مواد پاک سازی شده باید مطابق موازین زباله های خطرناک دفع گردد.

- برای پاک سازی کاربردی هرگونه ریخت و پاش باید از کیت جیوه مجهز به مکنده دستی کوچک یا اسفنج استفاده گردد و اقلام کیت را نیز پس از هر بار استفاده، تعویض نمود.

- برای جلوگیری از گسترش آلودگی، هرگز مواد آلوده به جیوه از طرفی به طرف دیگر حرکت داده نشده و یا با نازل های هوای فشرده به سطوح دمیده نشود. و حتماً از سرپوش یا مکنده استفاده گردد.

- جیوه به دام افتاده در داخل تجهیزات، ابزار و اجزای ساختمانی، به سلامتی کسانی که در آینده بر روی سطوح آلوده شده کار خواهند کرد صدمه می زند. علائم هشدار دهنده نشان می‌دهد که در حال حاضر ممکن است در این محل جیوه به دام افتاده باشد. از هرگونه به دام افتادن جیوه در محل ممانعت گردد. تمیز کردن و پاک سازی تمام دستگاه ها، تجهیزات و امکانات پس از هر بار استفاده، یا دفع به صورت زباله های خطرناک، و مطلع نمودن واحد HSE از هرگونه موارد مشکوک به دام افتادن جیوه.

- استفاده از مکنده ویژه طراحی و اختصاص داده شده برای پاک سازی ریخت و پاش وسیع جیوه. بررسی خروجی مکنده با پایشگر بخار جیوه قبل و بعد از خارج نمودن جیوه داخل مکنده پس از هر بار استفاده. جیوه باقی مانده می تواند جاذب جیوه را خراب کند.

- عدم استفاده از جاروبرقی معمولی یا مکنده های هپا برای تمیز کردن جیوه ریخت و پاش شده، به دلیل ایجاد آمالگام بین جیوه و مس در موتور، و در ورود غلظت زیادی از بخار جیوه به هوا توسط مکنده. در این صورت استفاده یا رفع آلودگی از مکنده خطرناک بوده و لذا باید به عنوان زباله های خطرناک دفع گردد.

- اســتفاده از مکنده ویژه برای حذف بخارات جیوه در نزدیکی ســطوح، به خصوص پس از حذف جیوه مایع از سطوح.
- تماس با واحد HSE برای دریافت کمک در عملیات پاک ســازی یا تعیین بســته بندی مناسب مورد نیاز برای اقلام بزرگی که ممکن است با جیوه آلوده شده باشند.
- قرار دادن پارچه استفاده شده، مواد پاک سازی، پوشش های محافظ و پوشش های آلوده به جیوه در کیســه های پلاســتیکی. شکستن دسته ها و سایر ابزار بزرگ قبل از قرار دادن آن ها در کیسه. فشردن کیسه به آرامی جهت خارج نمودن هوای اضافی، قرار دادن کیسه های مهر و موم شده در درام های مخصوص و چسباندن برچسب زباله های خطرناک به درام بعد از پر شدن کامل. تماس با واحد HSE یا دفتر مهندسی ایمنی جهت راهنمائی یا کمک در تکمیل فرم برچسب زباله و انتقال درام به منطقه تعیین شده جهت دفع زباله.
- بررســی عملیات تصفیه، قبل از برداشــتن هرگونه موانع دسترسی توسط تیم مربوطه. مادامی‌که بررسی تکمیل نشده، منطقه نشت نباید به استفاده معمولی بازگردد.
- مطلع نمودن واحد HSE در صورت ورود آب آلوده به جیوه به پساب، مخزن نگهداری و فاضلاب بهداشتی، جهت اتخاذ اقدام مناسب.

پیوست ۳

تجهیزات حفاظتی مورد استفاده جهت پاک سازی ریخت و پاش جیوه

نوع وسیله حفاظتی	توضیحات
دستکش های غیرقابل نفوذ	دست راست و چپ (اندازه ها: متوسط و بزرگ)
پوشش های کفش، یک بارمصرف	استاندارد
نیم چکمه، کفه سخت	استاندارد
پیش بند، آزمایشگاهی	کار سنگین
پیش بند، آزمایشگاهی	کار سبک
لباس کار یک بارمصرف بدون هود	(اندازه ها: کوچک، متوسط و بزرگ)
لباس کار یک بارمصرف با هود	(اندازه ها: کوچک، متوسط و بزرگ)
محافظ تنفسی، کارتریج [a]	
محافظ تنفسی، راه هوائی [a,b]	
تذکرات:	
a- استفاده از این محافظ تنفسی باید توسط متخصصین بهداشت صنعتی تائید گردد. محافظ‌های تنفسی فقط بایستی توسط اشخاصی که دوره آموزشی مربوطه را دیده باشند استفاده گردد و موهای صورت افراد تداخلی در عملکرد محافظ ایجاد نکند.	
b- قبل از انتقال تجهیزات به محل نگهداری تائید شده، ، لوله های خرطومی و تجهیزات از نظر آلودگی به جیوه پایش گردد.	

پیوست ۴

کاربرگ جمع آوری اطلاعات مربوط به کار با جیوه فلزی

محل/ ساختمان/ طبقه/ بخش:

عملیات/ فرایند/ ماشین آلات/ ایستگاه های کار:

بررسی مقدماتی نحوه استفاده از جیوه در محل و عملیات:

ساعات شیفت های کاری که از جیوه استفاده می شود:

تناوب استفاده از جیوه در روزهای هفته، ماه یا سال:

مقدار جیوه (واحد وزنی یا حجمی) مصرفی در هفته، ماه یا سال :

شاغلین در مواجهه با جیوه:

عنوان شغلی	تعداد شاغلین عناوین شغلی در هر شیفت		
	اول	دوم	سوم
۱.			
۲.			
۳.			
سایر.			

عنوان شغلی	شرح وظیفه	تناوب روزها/ هفته	تداوم ساعات/ روز
۱.	۱.		
	۲.		
	۳.		
۲.	۱.		
	سایر.		

وظایف شغلی با مواجهه بالقوه

تعداد عناوین شغلی و شرح وظایف	میزان مواجهه بالقوه از راه های تماس		
	استنشاق	جذب پوستی	پاشش
مثال- ۱.۱			
مثال- ۱.۲			

پیوست ۵

کاربرگ جمع آوری اطلاعات مربوط به روش های کنترلی جیوه فلزی

تعداد عناوین شغلی و شرح وظایف	کنترل های حفاظتی هر یک از راه های تماس		
	استنشاق	جذب پوستی	پاشش
مثال- ۱.۱			
مثال- ۱.۲			

چک لیست روش های مدون توصیه شده

- ☐ برنامه مدون خطر جا به جائی
- ☐ برنامه مدون ماسک های تنفسی
- ☐ تائیدیه مدون انجام ارزیابی خطر در محیط کار جهت تعیین خطراتی که نیاز به استفاده از تجهیزات حفاظت فردی دارند.
- ☐ روش های مدون پاک سازی ریخت و پاش جیوه
- ☐ ارزیابی مدون کنترل مواجهه با جیوه
- ☐ روش های مدون کنترل جا به جائی جیوه
- ☐ روش های مدون پایش پزشکی

پیوست ۶

روش های پایش جیوه در هوای محیط کار

روش های قرائت مستقیم						
نام وسیله	مدل	کمپانی	اساس کار	محدوده غلظت	مزایا	معایب
بخار جیوه Sniffer فقط مخصوص بخار جیوه	MV-2	Bacharach Inc.	فتومتری ماوراء بنفش	۰/۰۲-۰/۱ $mg.m^{-3}$ حساسیت< ۰/۱ $mg.m^{-3}$ سرعت پاسخ دهی: کمتر از ۳۰ s	- پرتابل: وزن ۶ lb - عمر باتری: ۴ h - تنظیم صفر دستگاه حتی در اتمسفر آلوده - دسترسی سریع به نتایج	- بخارات برخی از ترکیبات آلی مانند ترکیبات دارای حلقه بنزنی، هیدروکربن های هالوژنه و ذرات، باعث جذب اشعه ماوراء بنفش دستگاه در فرکانس مربوطه می‌شوند.
دوزیمتر حلقه طلا فقط مخصوص بخار جیوه	X-412	Arizona Inst.	جمع آوری بخار جیوه بر روی لایه نازک طلا و واجذب پس از اتصال به پایشگر Jerome	محدوده: متغیر حساسیت: < $0/5\times10^{-9}$ g ظرفیت: < 1000×10^{-9} g صحت: ۰/۱۰۷ $mg.m^{-3}$ @ ± ٪۱۵	- تهیه TWA ۸ ساعته مواجهه فردی - نتایج سریع در تجزیه خانگی - مقرون به صرفه - قابلیت استفاده مجدد - وزن: ۵-۱ اونس	-عدم تائید توسط OSHA برای TWA ۸ ساعته - تجزیه مستلزم اتصال به پایشگر جیوه Jerome
پایشگر جیوه Jerome فقط مخصوص بخار جیوه	431-X	Arizona Inst. Jerome Division	تاثیر بخار جیوه در ایجاد تغییر در مقاومت لایه نازک طلا	۰/۰۰۰-۰/۹۹۹ $mg.m^{-3}$ Hg حساسیت ۰/۰۰۳ $mg.m^{-3}$	- پرتابل: وزن ۶ lb - عمر باتری: ۴ h - صحت: ٪۱۵ ± Hg ۰/۱۰۰ $mg.m^{-3}$ - بسته کامل پایشگر شامل پایه، پردازشگر اطلاعات، دزیمتر فردی با حلقه طلا و قابلیت استفاده مجدد (این دوزیمتر جهت ارزیابی مواجهه فردی TWA نیاز به یک پمپ و یک پایشگر Jerome 431-X دارد). - اختصاصی برای جیوه، - عدم تداخل ذرات، هیدروکربن ها و میدان های مغناطیسی	تعیین صفر دستگاه در آلودگی های شدید اتمسفری، نیازمند خروج از منطقه آلوده برای چند دقیقه می باشد.
لوله آشکارساز MSA و پمپ پیستونی فقط مخصوص بخار جیوه	497663	Mine Safety Appliances Co.	واکنش جیوه با پدید مس	۰/۱-۰/۸ $mg.m^{-3}$	- سهولت کاربرد - محدوده کارائی در دمای ۳۰-۱۲۰ ^{O}F و رطوبت نسبی ۹۰-۱۰٪ - کم هزینه - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: ٪۲۵ ± - نیاز به ۳۰-۲۰ S جهت هر مرتبه مکش پمپ - نیاز به ۲۰ مرتبه مکش پمپ
لوله آشکارساز Draeger و پمپ پیستونی فقط مخصوص بخار جیوه	CH 23101	National Draeger Inc.	واکنش جیوه با پدید مس	۰/۰۵-۲ $mg.m^{-3}$ ۴۰-۱ مرتبه مکش پمپ، حداکثر زمان ۱۲ min	- سهولت کاربرد - کم هزینه - دسترسی سریع به نتایج - عدم تداخل فسفین، سولفید هیدروژن، آمونیاک، دی‌اکسید نیتروژن،	- محدودیت صحت: ٪۳۰ ± - تاثیر کلر و سایر هالوژن های آزاد در کاهش مقادیر قرائت شده - نیاز به ۴۰ مرتبه مکش پمپ

روش های قرائت مستقیم (ادامه)						
نام وسیله	مدل	کمپانی	اساس کار	محدوده غلظت	مزایا	معایب
لوله آشکارساز Sensidyne و پمپ پیستونی فقط مخصوص بخار جیوه	40	Sensidyne	واکنش جیوه با پدید مس برای تشکیل کمپلکس Cu-Hg	۰/۰۲۵-۶ $mg.m^{-3}$ (با ۱ مرتبه مکش پمپ) ۰/۰۵-۰/۲۵ $mg.m^{-3}$ (با ۵ مرتبه مکش پمپ) ۶-۱۳/۲ $mg.m^{-3}$ (با ۱/۲ مرتبه مکش پمپ)	- سهولت کاربرد - کم هزینه - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: ٪۲۵ ± - افزایش محدودیت در حضور سولفید هیدروژن، دی اکسید نیتروژن و کلر
نمونه‌بردار پسیو- Chromair فقط مخصوص بخار جیوه	380018-10	K & M Gillian	در انحصار سازنده	۰/۱۵-۱/۴ $mg.m^{-3}$ برای حداقل ۸ h غلظت قابل تشخیص ۰/۱۵ $mg.m^{-3}$ محدوده رطوبت نسبی ۸۵-۲۵٪	- سهولت کاربرد - کم هزینه - مقرون به صرفه جهت غربال گری - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: ٪۲۰ ± - تداخل با کلر و برم - نیاز به نگهداری در یخچال با دمای ۴ ^{O}C
نمونه‌بردار پسیو- Safeair فقط مخصوص بخار جیوه	382005	K & M Gillian	در انحصار سازنده	۰/۱-۰/۲ $mg.m^{-3}$ برای حداقل ۸ h حاقل غلظت قابل تشخیص ۰/۰۱۳-۰/۰۲ $mg.m^{-3}$	- سهولت کاربرد - عدم تداخل در فیلترهای غربال گر - نمونه بردار پسیو دوتائی در حد آستانه - افزایش حساسیت - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: ٪۲۰ ± - تداخل با کلر و برم و اکسیدکننده های قوی - نیاز به نگهداری در یخچال با دمای ۴ ^{O}C

روش های مستلزم تجزیه						
نام وسیله	مدل	کمپانی	اساس کار	محدوده غلظت	مزایا	معایب
پایشگر جیوه 3M فقط مخصوص بخار جیوه	3600A 3600	3M Occupational Health & Safety Products	جذب جیوه بر روی لایه نازک طلا	۰/۰۰۵-۰/۰۲۰ $mg.m^{-3}$ Hg	- تجزیه مبتنی بر کمپانی 3M - استفاده از پایشگر 3600A در حضور کلر - طراحی شده جهت اندازه گیری میانگین وزنی- زمانی	- محدودیت صحت: ٪۲۰ ± - تداخل اکسیدکننده های قوی مانند هالوژن ها با پایشگر 3600 - دشواری نحوه تجزیه
نمونه بردار پسیو بخار جیوه فقط مخصوص بخار جیوه	WS-17417	Lab Safety Supply	جذب جیوه بر روی لایه نازک طلا	۰/۰۰۵-۰/۰۲۰ $mg.m^{-3}$ (۸ h)	- سهولت کاربرد - طراحی شده جهت اندازه گیری میانگین وزنی- زمانی	- محدودیت صحت: ٪۲۰ ± - دشواری نحوه تجزیه
جاذب کپسولی پسیو SKC (برای بخار جیوه) لوله جاذب SKC با فیلتر استرسلولزی مخلوط و پمپ (برای ذرات جیوه)	520-02A 226-17-1A	SKC, Inc.	جذب جیوه توسط جاذب سطحی هاپکالایت و تجزیه توسط جذب اتمی بخار سرد	محدوده اعتبار: ۰/۰۶۱-۰/۰۲۰ $mg.m^{-3}$	- پایداری زیاد ناشی از تمایل غیرقابل بازگشت جیوه با هاپکالایت - عدم تداخل کلر و رطوبت - تجزیه توسط آزمایشگاه های معتبر - قابلیت تمیز نمودن و استفاده مجدد از نگهدارنده نمونه بردار پسیو - تجزیه مطابق روش OSHA - ID-140	- عدم امکان نمونه برداری از ترکیبات ذره ای توسط کپسول پسیو - وابستگی دبی نمونه برداری به سرعت خطی - اتصال لوله جاذب به یک پمپ نمونه برداری کالیبره - دشواری نحوه تجزیه

روش های مستلزم تجزیه (ادامه)							
روش	وسیله نمونه برداری	حداقل و حداکثر حجم نمونه برداری	دبی جریان	روش تجزیه	محدوده نمونه	مزایا	معایب
NIOSH 6009 بازنگری شده در ۸۹/۵/۱۵ برای بخار و جیوه متصل به ذرات	لوله هیدرار یک قسمتی (۲۰۰ mg)	حداقل: ۲ L حداکثر: ۱۰۰ L	۰/۱۵-۰/۲۵ ml/min	جذب اتمی بخار سرد	۰/۱-۱/۲ µg در نمونه	-عدم تاثیر رطوبت زیاد - استفاده از پیش فیلتر جهت جداسازی گونه جیوه متصل به ذرات از نمونه - تجزیه پیش فیلتر با روش مشابه، جهت تعیین جیوه متصل به ذرات	- تداخل مثبت ناشی از ترکیبات آلی و معدنی جیوه - عدم تداخل گازهای اکسید کننده مانند کلر - فقدان قابل ملاحظه بخار جیوه ناشی از پیش فیلتر - افزایش کاذب در غلظت جیوه متصل به ذرات و کاهش کاذب در غلظت بخار جیوه
OSHA - ID-140 بازنگری شده در دسامبر ۸۹ فقط مخصوص بخار جیوه (نمونه برداری پسیو) برای بخار و جیوه متصل به ذرات کل (نمونه برداری فعال)	جاذب سطحی هیدرار یا هاپکالایت قابل انجام با استفاده پمپ (نمونه‌برداری فعال) یا دوزیمتر پسیو (نمونه‌برداری پسیو)	۴/۸-۹/۶ L (نمونه برداری پسیو) ۳-۱۰۰ L (نمونه برداری فعال)	۰/۰۲۰ ml/min (نمونه برداری پسیو) ۰/۲۰ ml/min (نمونه برداری فعال)	جذب اتمی بخار سرد	۰/۱-۲ µg در نمونه	- حساسیت مناسب - عدم نیاز دوزیمتر پسیو به پمپ نمونه‌برداری - قابلیت استفاده مجدد دوزیمتر - عدم تداخل ناشی از کلر موجود در هوا	- عدم جمع آوری جیوه متصل به ذرات توسط دوزیمتر پسیو - وابستگی دبی نمونه برداری به سرعت خطی، عدم کارائی در مناطقی با سرعت جریان هوا> ۲۲۹ m/min (۷۵۰ ft/min) - وابستگی نمونه برداری فعال به پمپ نمونه برداری کالیبره - عدم توانائی تشخیص بخار جیوه از جیوه متصل به ذرات
OSHA - ID-140 بازنگری شده در دسامبر ۸۹ فقط مخصوص جیوه متصل به ذرات	فیلتر استرسلولزی مخلوط (MCA) ۰/۸ µ	۱۰ L توصیه شده برای اندازه گیری مطابق با PEL سقفی تمام شیفت برای ارزیابی در آخر هفته کاری	۲ ml/min توصیه شده	جذب اتمی بخار سرد	۰/۱-۲ µg در نمونه	-امکان جمع آوری و تجزیه نمونه های خشک و توده ای با استفاده از این روش - حساسیت مناسب - امکان جمع آوری ترکیبات آلی جیوه متصل به ذرات در صورت استفاده از فیلتر استرسلولزی مخلوط (MCA) ۰/۸ µ	- عدم جمع آوری بخار جیوه در صورت استفاده از فیلتر استرسلولزی مخلوط (MCA) ۰/۸ µ - تداخل مثبت ناشی از برخی ترکیبات آلی فرار مانند بنزن، تولوئن، استون و تتراکلرید کربن ناشی از آلودگی موجود در معرف های مورد استفاده در آماده سازی نمونه. در صورت استفاده از آب دیونیزه فاقد ترکیبات آلی و استفاده از بلانک، از این تداخلات می توان صرف نظر نمود.

مراجع

1. ACGIH. 2011. TLVs® and BEIs®. Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. ISBN 1-882417-49-6. Cincinnati (OH).
2.ATSDR, 2001. Medical Management Guidelines for Mercury (Hg). U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. CAS no. 7439-97-6. UN no. 2024 (liquid compounds). Atlanta (GA).
3. ATSDR. 1999. Toxicological profile for Mercury, 1999. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Atlanta (GA).
4. Ghasem Zolfaghari, Abbas Esmaili-Sari, Seyed Mahmoud Ghasempouri, Soghrat Faghihzadeh. "Evaluation of environmental and occupational exposure to mercury among Iranian dentists". Science of the Total Environment. 2007; 381: 59–67.
5. IOMC, Global Mercury Assessment, Issued by UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland, December 2002.
6. Kales, S. and R. Goldman. "Mercury Exposure: Current Concepts, C*ontroversies, and a Clinic›s Experience". J. Occupational Environmental Medicine. 2002; 44.2: 143-154.
7. Kasraei Sh., Mortazavi H., Vahedi M., Bakianian Vaziri P., Assari M.J. "Blood Mercury Level and Its Determinants among Dental Practitioners in Hamadan, Iran". Journal of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences. 2010; 7: 55-63.
8. Mason, H., P. Hindell, and N. Williams. "Biological Monitoring and Exposure to Mercury". Occupational Medicine (Lond.). 2001; 51.1: 2-11.
9. NIOSH, Analytical Methods Manual. METHOD 6009, Issue 2, dated 15 August 1994.
10. OSHA. 2007. Mercury: OSHA Standards. US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration.
11. Patty's Toxicology, Bingham, E., Cohrssen, B. and Powell, H. C. (Eds). 5th edition, New York: John Wiley & Sons, inc. 2000.
12. 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.
13. WHO. 2000. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed. World Health Organization. Regional Publications, European Series No.91. Copenhagen (Denmark).
14. WHO. 1996. Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace Guidelines, World Health Organization. Geneva.
15. WHO. 2008. 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, Geneva.

۱۶. الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۳۰۱-۲۰۵۰۲۰۲)، حدود مجاز مواجهه شغلی

۱۷. الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۹۰۲-۲۰۵۰۲۰۲)، راهنمای کنترل سرب در محیط کار

۱۸. الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۹۰۱-۲۰۵۰۲۰۲)، راهنمای نحوه صحیح امحاء مواد شیمیایی

۱۹. الزامات، دستورالعمل ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۹۰۷-۲۰۵۰۲۰۲)، راهنما و دستورالعمل جامع مواد شیمیایی خطرناک

۲۰. خاموردی، زهرا. عصاری، محمد جواد. ملکی، کیکاوس. بررسی میزان جیوه ادرار دندان پزشکان شهرستان همدان با سابقه کاری بیش از چهار سال. مجله دندان پزشکی جامعه اسلامی دندان پزشکان، شماره ۱۶ (۸۳) صفحات ۴۲-۴۸.

۲۱. 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، ۱۳۸۵.

۲۲. نقاب، مسعود. کاردانیان، محمدرضا. نوروزی، محمّد 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، ۱۳۸۹. صفحات ۳۳-۲۶.