

صلى الله عليه وسلم

۱- مقدمه

جیوه به علت پایداری در محیط زیست و تجمع زیستی در زنجیره غذایی، از خطرناک‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی بوده و در برخی کشورها مانند ژاپن و عراق سابقه ناخوشایندی از خود بر جای گذاشته است. جیوه و ترکیبات آن توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ (EPA) در فهرست III آلاینده‌های خطرناک هوا^۲ (HAPS) قرار گرفته است. این سازمان همچنین در سال ۲۰۰۵ قانون هوای پاک جیوه را صادر کرد، تا بدین وسیله با ایجاد استانداردهای عملکردی، با کنترل انتشار جیوه، به تصفیه پایدار آن کمک کند. برنامه زیست‌محیطی سازمان ملل^۳ (UNEP)، نیز تلاش فوق‌العاده‌ای در شناسایی و کمی‌سازی 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 مایع است که بسته به دما و فشار، در حالات فیزیکی و اشکال شیمیایی مختلفی وجود دارد. از لحاظ فیزیکی، گونه‌های جیوه گازی بر ترکیبات ذره‌ای موجود در هوا غلبه دارد. جیوه گازی به سه دسته گروه بندی شده است: (۱) جیوه عنصری، (۲) جیوه غیر آلی و (۳) جیوه آلی. با توجه به گرایش جیوه به انجام تعامل بیولوژیکی، به‌طور کلی پیش‌بینی تغییرات غلظت و اشکال شیمیایی این فلز دشوار و پیچیده می‌باشد. تشکیل گونه‌های مختلف جیوه، یک پارامتر مهم در درک چرخه‌های جوی و انتشار و رسوب آن در جو می‌باشد. جو مسیر اصلی انتقال جیوه از منابع، و انتشار به محیط‌های مختلف می‌باشد. رها شدن جیوه به داخل جو در سال ۱۹۸۰، حدود ۶۰۰۰ تن برآورد شده است. غلظت‌های جیوه در جو، در نتیجه فعالیت‌های انسانی به‌ویژه سوزاندن سوخت‌های فسیلی و زباله‌های شهری دچار تغییر شده است.

منابع تولید جیوه شامل منابع نقطه‌ای (واحدهای صنعتی) و منابع انتشاری (موتورهای احتراق داخلی در کلان شهرها) می‌گردد. انسان از طریق رژیم غذایی، آب، هوا و مواجهه شغلی در معرض جیوه قرار می‌گیرد. جیوه آلی موجود در غذا، منبع اصلی مواجهه با این فلز در بیش‌تر افراد است. آب‌های سطحی به‌طور طبیعی میزان بسیار کمی جیوه دارند که از کاربردهای صنعتی، پزشکی و تحقیقاتی جیوه و ترکیبات آن ناشی می‌شود. متیل‌جیوه شکل بسیار سمی جیوه می‌باشد که اغلب به وسیله میکروارگانیزم‌های موجود در آب، خاک و بافت بدن ماهی‌ها ساخته می‌شود. مسمومیت از طریق خوردن ماهی‌های آلوده یکی از بزرگ‌ترین منابع مسمومیت با جیوه برای اکثر مردم می‌باشد.

¹ - Environmental Protection Agency

² - Hazardous air pollutants

³ - United Nations Environment Program

کنترل جیوه فلزی با توجه به خواص منحصر به فرد آن، بسیار مشکل است. جیوه فلزی وقتی که در معرض هوا قرار می‌گیرد، می‌تواند تبخیر گردیده، وارد هوا شود و در اثر استنشاق جذب بدن گردد. با افزایش دما، جیوه با سرعت بیش‌تری وارد هوا می‌شود. افزایش دما از $64/4^{\circ}\text{F}$ به $78/8^{\circ}\text{F}$ ، فشار بخار جیوه را دو برابر می‌کند. جذب جیوه از طریق پوست، خیلی قابل ملاحظه نمی‌باشد. اگر جیوه ریخت‌وپاش شده به طور کامل پاک نشود، به آسانی در اطراف پخش می‌گردد. قطرات جیوه می‌تواند در فضاهای کوچکی مانند درزهای سطوح و زیر ناخن تجمع یابد. حذف این قطرات لغزنده از سطوح کار و یا پوست، بسیار مشکل است. در صورت بروز آلودگی با جیوه، بخار جیوه ایجاد شده می‌تواند در کل محیط کار منتشر، و سبب آلوده شدن محیط اطراف کارگر گردد. قطرات کوچک جیوه فلزی از طریق کفش، لباس، مو و اشیاء دیگر نیز می‌تواند در اطراف محل کار، ماشین، و خانه پخش گردد.

این دستورالعمل با توجه به الزامات قانونی وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و مطابق با ماده ۹۸ و تبصره ۲ ماده ۶۹ قانون کار، در راستای صیانت از سلامت نیروی کار و ارتقاء بهداشت و ایمنی محیط کار تهیه و تدوین گردیده تا بتواند کارشناسان بهداشت حرفه‌ای و سایر کارشناسان مرتبط با حوزه بهداشت، ایمنی و محیط زیست که برای انجام موثر برنامه‌های ایمنی و بهداشت به چنین اطلاعاتی نیاز دارند را در مدیریت صحیح ریسک مواجهه با جیوه یاری نماید. امید است رعایت کنترل‌های توصیه شده در این دستورالعمل، گامی موثر جهت پیش‌گیری از اثرات بهداشتی سوء ناشی از استفاده و یا ریخت‌وپاش 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:

- ارائه‌گزیده‌ای از اطلاعات در زمینه شناسایی، ارزیابی و مدیریت مواجهه با جیوه با استفاده از آخرین منابع علمی موجود
- ارتقاء آگاهی، نگرش و مهارت پزشکان طب کار، کارشناسان بهداشت حرفه‌ای و همچنین کارگران و کارفرمایان در خصوص مواجهه با جیوه در محیط کار
- جلوگیری از اثرات بهداشتی زیان‌آور در شاغلین در مواجهه با جیوه
- ارزیابی و کنترل سیستماتیک مواجهه با جیوه و ترکیبات آن
- هشدارها و کنترل‌های مدیریت ایمن فلز جیوه

۳- اصطلاحات و تعاریف

در این دستورالعمل از اصطلاحات و واژه‌های زیر استفاده شده است:

جیوه: این واژه به انواع گونه‌های جیوه شامل جیوه عنصری، جیوه معدنی و کلیه ترکیبات آلی حاوی جیوه اطلاق می‌گردد.

جیوه عنصری گازی: جیوه عنصری گازی^۴ (Hg^0GEM)، با فراریت بالا، که به سرعت از حالت مایع تبخیر شده و به این ترتیب، شایع‌ترین شکل جیوه در جو را ایجاد می‌کند.

جیوه معدنی: گونه‌های مهمی مانند، HgO ، $HgCl_2$ ، $HgBr_2$ و $Hg(OH)_2$ که معمولاً به آن‌ها جیوه گازی فعال^۵ (RGM) و یا جیوه (II) اطلاق می‌گردد، این شکل، جیوه گازی اکسید شده^۶ (GOM) نیز نامیده می‌شود.

جیوه آلی: این واژه به جیوه ترکیب شده با مولکول‌های حاوی کربن، مانند ترکیبات منومتیل جیوه ($HgCH_3$) و دی‌متیل جیوه [$Hg(CH_3)_2$] اطلاق می‌گردد.

محیط کار: محوطه یا ساختمان اصلی انجام کار و محل‌های 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: اندازه‌گیری غلظت جیوه در هوای تنفسی شاغلین در مواجهه با جیوه مطابق روش‌های استاندارد موجود نظیر طیف‌سنجی جذب اتمی بخار سرد

حد تشخیص^۷ (LOD): حداقل میزان یک آلاینده که با یک روش تجزیه خاص، قابل شناسایی باشد.

پایش بیولوژیک^۸: اندازه‌گیری غلظت جیوه در خون یا ادرار افراد در مواجهه با جیوه

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

خطر بالقوه: پتانسیل آسیب‌رسانی به سلامتی

4 - Gaseous elemental mercury

5 - Reactive gaseous mercury

6 - Gaseous oxidized mercury

7 - Limit of detection

8 - Biological monitoring

ریسک: احتمال آسیب‌رسانی به سلامتی

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

وسایل حفاظت فردی^۹: تجهیزات و لباس‌هایی که جهت حفاظت از سلامتی کارگر در مقابل ریسک‌های بهداشتی استفاده می‌شود.

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

حدود مجاز مواجهه شغلی^{۱۰}: میانگین غلظت یک آلاینده هوا در طول یک دوره زمانی معین، که مواجهه با آن مجاز باشد.

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

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

حوضچه یا سینی جمع‌آوری - وسیله مورد استفاده جهت جمع‌آوری ریخت‌وپاش‌های جزئی

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

مانومتر - ابزاری که برای اندازه‌گیری فشار گازها و بخارات استفاده می‌شود.

مکنده جیوه - نوعی مکنده طراحی شده ویژه جهت جمع‌آوری ایمن ریخت‌وپاش جیوه

پسماندهای جیوه: به عنصر جیوه، ترکیبات آن و اشیاء یا مواد حاوی جیوه یا ترکیبات آن اطلاق می‌گردد.

⁹ - Personal protective equipment

¹⁰ - Occupational exposure limit

۴- خواص فیزیکی، شیمیائی و بیولوژیکی جیوه

۴-۱- جیوه عنصری

جیوه عنصری (Hg^0)، علی‌رغم 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 دستگاه‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی شده است. این کاربردها شامل لامپ قوس الکتریکی جیوه، لامپ‌های نئون و فلورسنت، دیگ‌های بخار جیوه، الکترودهای مورد استفاده در الکترولیز، یک‌سوکننده‌های قوس الکتریکی، انواع باتری‌ها، سوئیچ‌ها، داماسنج‌ها، فشارسنج‌ها، رطوبت‌سنج‌ها و سایر تجهیزات مربوطه می‌گردد. غیر از جیوه عنصری، اشکال دیگری از جیوه که کاربرد گسترده‌ای داشته و یا در محیط زیست یافت می‌گردد 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 گونه‌های متیل جیوه، مانند منومتیل جیوه (CH_3HgX)، که در آن X، تعداد یون‌های غیر آلی، مانند Cl^- و OH^- و دی‌متیل جیوه ($(CH_3)_2Hg$) می‌باشد. در یک جایگاه آلوده، ممکن است اشکال مختلف جیوه وجود داشته و تحت برخی از شرایط زیست محیطی، این ترکیبات می‌تواند از گونه‌ای به گونه دیگر تبدیل گردد. رفع آلودگی اشکال مختلف جیوه به روش‌های مختلفی نیاز دارد. بنابراین، آگاهی کامل از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی، هیدرولوژیکی، کانی‌شناسی و بیولوژیکی موثر بر انتقال و سرنوشت جیوه در محیط زیست، گام اول و کلیدی در تلاش‌های موفق با هدف رفع آلودگی می‌باشد. این آگاهی پایه و اساسی برای انتخاب یا توسعه موثر تکنیک‌های رفع آلودگی و بازسازی ارائه می‌کند.

جیوه موجود در جو اغلب به شکل بخار جیوه عنصری است. مهم‌ترین خواص فیزیکی و شیمیایی جیوه عنصری در جدول ۱ ذکر شده است. خواص فیزیکی یک ماده به ویژگی‌هایی نظیر بو، رنگ، چگالی، نقطه ذوب و نقطه جوش اشاره دارد، که در ترکیب شیمیایی ماده تغییری ایجاد نمی‌کند. جیوه عنصری، فلزی سنگین به رنگ سفید نقره‌ای است که در دمای معمولی محیط و فشار اتمسفر مایع است. فشار بخار فلز جیوه شدیداً به دما وابسته بوده و تحت شرایط محیط به آسانی تبخیر می‌شود. نقطه ذوب جیوه $38.87^\circ C$ ($-37.97^\circ F$)، و نقطه جوش آن $357^\circ C$ ($675^\circ F$) است. جیوه عنصری همچنین بسیار چگال است، به طوری که چگالی آن تحت شرایط محیطی، 13.5 برابر آب است. این چگالی بالا، فشار بخار اشباع بالا و نیز کشش سطحی پایین، آزاد شدن فوری جیوه عنصری در سطح زمین را توجیه می‌کند. انجمن ملی حفاظت از آتش، قابلیت اشتعال خاصی برای بخار جیوه قائل نشده است. مهار آتش‌سوزی مربوط به بخار جیوه باید خلاف جهت باد و از حداکثر فاصله ممکن انجام

پذیرد. منطقه خطر ایزوله گردیده، و از دسترسی پرسنل غیر ضروری ممانعت گردد. در هنگام مبارزه با آتش سوزی ناشی از بخار جیوه، آتشنشانان بایستی به مجموعه‌ای کامل از لباس‌های محافظ و تجهیزات تنفسی انفرادی مجهز گردند.

خواص شیمیایی به ویژگی‌های ناشی از واکنش‌های شیمیایی بین یک ماده با مواد دیگر اشاره دارد. یکی از مهم‌ترین خواص شیمیایی اشکال مختلف جیوه، ظرفیت‌های آن‌ها می‌باشد. جیوه می‌تواند در سه حالت اکسایش وجود داشته باشد: Hg^0 (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 سرنوشت جیوه و توسعه فن‌آوری‌های موثر در بازسازی، نقش مهمی دارد. جیوه موجود در آب، خاک، رسوبات یا موجودات ذره‌بینی (تمام محیط‌ها به جز جو) بیش‌تر به صورت املاح معدنی و اشکال آلی جیوه می‌باشد. 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 ردوکس¹¹ یکی دیگر از پارامترهای کلیدی چرخه بیوشیمیایی جیوه می‌باشد.

¹¹ - Redox potential

جدول ۱: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جیوه فلزی

خصوصیات فیزیکی	
۸۰	عدد اتمی
۱/۵ Å	شعاع اتمی
cm ³ /g-atom ۱۴/۸۱	حجم اتمی
۲۰۰/۵۹	وزن اتمی
(۶۷۵ °F) ۳۵۷/۷۳ °C	نقطه جوش
۰/۰۷۴۶ °C/torr	نقطه جوش/افزایش فشار
۰/۰۲۲ cal/sec/cm ³ .°C	هدایت (حرارتی)
۱۳۲ درجه	زاویه تماس
(۶۸ °F در ۰/۴۸۹ lb/in ³) ۲۰ °C در ۱۳/۵۴۶ g/cm ³	چگالی
۰/۱۱۲ cm ² /sec	ضریب پخش
[Xe]4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²	آرایش فضائی الکترون
(۶۸ °F در ۰/۰۶۰ Btu/lb) ۲۰ °C در cal/g ۰/۰۳۳۲ ۰/۰۳۳۲	ظرفیت حرارتی
۰/۰۱۱۴ atm m ³ /mol	ثابت قانون هنری
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۳۷۵ dyn/cm	کشش دو وجهی (Hg/H ₂ O)
۱۰/۴۳۷ eV	پتانسیل یونیزاسیون (اولیه)
۱۸/۷۵۱ eV	پتانسیل یونیزاسیون (ثانویه)
۲۰۴ (۶/۸۷)، ۲۰۲ (۲۹/۸۶)، ۲۰۱ (۱۳/۱۸)، ۲۰۰ (۲۳/۱)، ۱۹۹ (۱۶/۸۷)، ۱۹۸ (۹/۹۷)، ۱۹۶ (۰/۱۵)	نسبت فراوانی ایزوتوپ
(-۳۷/۹۷ °F) -۳۸/۸۷ °C	نقطه انجماد
ندارد	بو
۵۵۰۰ Å در نور ۷۱/۲٪	ضریب انعکاس
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۹۵/۸ × 10 ⁻⁶ ohm/cm	مقاومت ویژه (حرارتی)
(پاسکال) (۶۸ °F) ۲۰ °C در ۰/۱۶ N/m ²	فشار بخار اشباع
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۱۳/۵۴۶	وزن مخصوص
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۴۳۶ dyn/cm	کشش سطحی (در هوا)
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۱۰/۵ cm ² برای ۰/۰۰۷ mg/cm ² .hr.	مقدار تبخیر (فقط در هوا)
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۱/۵۵۴ cp	گرانروی

خصوصیات شیمیایی	
۰/۸۵۴ V	Hg ²⁺ + 2e ⁻ = Hg(l) برای E ⁰
۰/۷۸۸ V	Hg ₂ ²⁺ + 2e ⁻ = 2Hg(l) برای E ⁰
۰/۹۲۰ V	2Hg ²⁺ + 2e ⁻ = 2Hg ₂ ²⁺ برای E ⁰
(۱/۹۲ (مقیاس یائولینگ))	الکترون گایوتیته
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۶۰-۸۰ µg/L	حلالیت در آب:
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۲۰۰۰ µg/L	در بنزن:
(۶۸ °F) ۲۰ °C در ۷۰۰۰ µg/L	در دی اکسان،
"محلول"	در اسید نیتریک:
.	ظرفیت

۴-۲- ترکیبات جیوه

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 کمی 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 آنیون‌های معدنی با الکترون‌گاتیویته بالا مانند فلوراید، نیترات، سولفات، فسفات ترکیباتی تولید می‌گردد که حلالیت آن در آب و الکل بیش تر و در حلال‌های غیرقطبی (مانند بنزن) کم تر است، درحالی که در ترکیب شدن آنیون‌های حاوی هیدروکسید با الکترون‌گاتیویته پائین با منومتیل جیوه، عکس این موضوع صادق است.

حلالیت یک پارامتر اساسی در گیر در تشکیل آمالگام بین جیوه عنصری و فلزات مختلف می‌باشد. در شرایط محیطی، نقره، طلا، مس، روی و آلومینیوم در حضور جیوه عنصری مایع یا گازی به آسانی تشکیل آمالگام می‌دهند. با این حال به جز روی، حلالیت این فلزات در جیوه عنصری نسبتاً کم است. حلالیت روی در جیوه، ۲/۱۵ g در ۱۰۰g جیوه است، درحالی که 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 شکنندگی لوله‌ها و شیرهای ساخته شده از آلیاژ مس، آلومینیوم و فولاد کفایت کند. احتمال خوردگی ناشی از جیوه عنصری در فلز گالوانیزه که حاوی روی می‌باشد، حتی از این نیز بیش تر می‌باشد. آمالگاماسیون طبیعی جیوه با مواد معدنی فلزی یا تجهیزات فلزی موجود در نزدیکی محل نشت، می‌تواند انتقال و سرنوشت جیوه عنصری در محیط طبیعی را تحت تاثیر قرار دهد.

جدول ۲: خصوصیات ترکیبات معدنی انتخابی جیوه

وزن مولکولی	نقطه جوش (°C)	چگالی در حدود ۲۵ °C، (۷۷ °F) g/cm ³	نقطه ذوب (°C)
HgCl ₂	۳۰۴	۵/۶	۲۷۶
Hg(NO ₃) ₂	۳۲۴/۶۰	۴/۳	۷۹
HgO	۲۱۶/۵۹	۱۱/۱	در ۵۰۰ °C (۹۳۲ °F) متلاشی می‌شود
HgS (سیاه)	۲۳۲/۶۶	۷/۷۰	در ۵۸۳/۵ °C (۱۰۸۲ °F) تصعید می‌شود
HgS (قرمز)	۲۳۲/۶۶	۸/۱۷	در ۳۸۶ °C به HgS سیاه تبدیل می‌شود

جدول ۳: خصوصیات ترکیبات آلی انتخابی جیوه

وزن مولکولی	نقطه جوش (°C)	چگالی در حدود ۲۵ °C، (۷۷ °F) g/cm ³	نقطه ذوب (°C)
CH ₃ HgCl	تبخیر در ۱۰۰	۴/۰۶۳	۱۷۰
(CH ₃) ₂ Hg	۹۶	۳/۰۶۹	
(C ₂ H ₅) ₂ Hg	۱۵۹	مایع ۲/۴۴۴	

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

ترکیب	حلال	حلالیت
Hg ⁰	آب	۶۰-۸۰ µg/L
HgF ₂	آب	هیدرولیز می‌شود
HgCl ₂	آب	۷۰۰۰۰۰۰ µg/L
Hg ₂ Cl ₂	آب	۲۰۰۰ µg/L
HgBr ₂	آب	۶۲۰۵۰۰۰ µg/L
HgI ₂	آب	۵۸۰۶۰ µg/L
HgO	آب	۵۳۰۰۰ µg/L
Hg ₂ O	آب	خیلی ناچیز
HgS	آب	~۱۰ µg/L

۵- منابع تولید جیوه

جیوه از طریق قابلیت گازرئائی طبیعی توسط بخار جیوه‌ای که از قبل در سطح زمین جمع شده، ایجاد شده و به شکل بخار عنصری (Hg⁰) داخل جو منتشر می‌گردد. تولید و انتشار طبیعی این فلز، سالانه بین ۲۷۰۰ و ۶۰۰۰ تن تخمین زده می‌شود، که منشاء برخی از آن‌ها به فعالیت‌های انسانی در گذشته برمی‌گردد. منابع انسانی جیوه متعدد، و گستردگی جهانی دارد. در کل، میزان جیوه آزاد شده ناشی از فعالیت‌های انسانی در جو در سراسر جهان، سالیانه حدود ۳۰۰۰-۲۰۰۰ تن تخمین زده می‌شود. با این حال، باید خاطر نشان نمود که در برآورد میزان گونه‌های جیوه وارد شده در جو، عدم اطمینان قابل ملاحظه‌ای وجود داشته و مقدار جیوه آزاد شده در جو ناشناخته است.

جیوه توسط استخراج معادن و ذوب سنگ معدن سینابار تولید می‌گردد. معدن جیوه آلمادن^{۱۲} 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 Hg⁰ از زمین و آب‌های سطحی به جو، انتقال Hg⁰ در جو در مقیاس جهانی، تبدیل احتمالی به گونه‌های محلول ناشناخته، و بازگشت به زمین و آب با فرایندهای رسوبی مختلف را شامل می‌گردد. اعتقاد بر این است که رسوب احتمالی جیوه در اقیانوس‌ها سبب ایجاد سنگ معدن سینابار می‌گردد. بخشی از جیوه غیر آلی، به Hg²⁺ اکسید شده و در اثر متیله شدن یا سایر راه‌ها به متیل جیوه تبدیل می‌شود. تصور می‌گردد که متیلاسیون در نتیجه واکنش غیر آنزیماتیک بین Hg²⁺ و ترکیب متیل کوبالامین (آنالوگ ویتامین B۱۲) که توسط باکتری‌ها انجام می‌گردد، تولید شود. این واکنش عمدتاً در سیستم‌های آبزی صورت می‌گیرد. باکتری‌های فلور طبیعی روده انواع گونه‌های آبزی، از جمله ماهی قادر به تبدیل یون جیوه به ترکیبات متیل جیوه (CH₃Hg⁺) به میزان بسیار کم می‌باشند. متیل جیوه به انباشته شدن در بدن ماهی و پستانداران دریایی تمایل زیادی داشته و در بدن گونه‌های

¹²- Almaden

صیادی بزرگ در بالای زنجیره غذایی آبی، به بالاترین حد غلظت خود رسیده و در نتیجه وارد رژیم غذایی انسان می‌گردد. برخی میکروارگانیسم‌ها قادر به دمتیله کردن CH_3Hg^+ ، و برخی نیز Hg^{2+} را به Hg^0 احیا می‌کنند. بنابراین میکروارگانیسم‌ها نقش مهمی در سرنوشت جیوه در محیط زیست و در نتیجه مواجهه انسان ایفا می‌کنند.

۶- انتشار جیوه در هوا

این موضوع توسط لیندویست^{۱۳} و همکاران بررسی شده است. در حال حاضر سطوح زمینه‌ای جیوه در تروپوسفر نیمکره شمالی 2 ng/m^3 تخمین زده شده است. این سطوح در لایه‌های بالای تروپوسفر تنها کمی پایین‌تر است، اما موارد اندازه‌گیری گزارش شده محدود است. متوسط محدوده غلظت جیوه کل ناشی از فعالیت‌های صنعتی، در جو مناطق دور افتاده اروپا از جمله مناطق روستایی جنوب سوئد و ایتالیا، در فصول تابستان و زمستان به ترتیب $2-3 \text{ ng/m}^3$ و $3-4 \text{ ng/m}^3$ گزارش شده است. متوسط غلظت جیوه در هوای شهرها معمولاً بالاتر است، این مقادیر به عنوان مثال، در ماینز^{۱۴} آلمان، و مناطق شهری ایتالیا، 10 ng/m^3 گزارش شده است. اندازه‌گیری‌های جداگانه، طیف گسترده‌ای از مقادیر را پوشش می‌دهد. این محدوده در همان منطقه شهری ایتالیا، $2-3 \text{ ng/m}^3$ بوده است. در اتحادیه اروپا، محدوده‌های زیر برای جیوه موجود در جو به ثبت رسیده است: مناطق دور افتاده $6-10 \text{ ng/m}^3$ ، مناطق شهری $5-10 \text{ ng/m}^3$ و مناطق صنعتی $20-50 \text{ ng/m}^3$. غلظت جیوه جوی در مناطق صنعتی یا مناطقی که از قارچ‌کش‌های جیوه به طور گسترده استفاده شده، به عنوان نقاط بحرانی گزارش شده است. فوجی‌مورا^{۱۵} سطوح جیوه هوا در نزدیکی مزارع برنجی که از قارچ‌کش‌های جیوه استفاده شده را 10000 ng/m^3 ، و این مقادیر را در نزدیکی یک بزرگراه شلوغ در ژاپن، 18000 ng/m^3 گزارش نموده است. مقادیر جیوه هوا در نزدیکی معادن جیوه و پالایشگاه‌ها تا $1500-6000 \text{ ng/m}^3$ نیز بالا می‌رود.

داده‌های کمی در خصوص گونه‌های جیوه در جو موجود است. تشکیل گونه‌های جیوه جهت درک سرنوشت آن در محیط زیست (به‌عنوان مثال، جیوه تا چه حد دور منتشر خواهد شد) مهم است. به‌طور کلی Hg^0 در جو نسبتاً پایدار و مدت اقامت تروپوسفری آن ۲۱-۱ سال برآورد می‌گردد (جدول ۵). با این حال، فرض کلی بر این است که بخار جیوه فلزی، شکل غالب است. جانسون^{۱۶} و برامان^{۱۷} حضور ترکیبات آلی جیوه جوی در خلیج آلوده در فلوریدای ایالات متحده آمریکا را بسیار بالا گزارش نمودند. در مورد اخیر، بخار جیوه ۵۰٪، بخار هالید و منومیل جیوه

13- Lindqvist

14- Mainz

15- Fujimura

16- Johnson

17- Braman

به ترتیب ۲۵٪ و ۲۱٪، و دی‌متیل‌جیوه 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 امروز نشان می‌دهد که میزان ذرات جیوه، از ۵٪ کل جیوه موجود در جو کم‌تر است. با این فرض که جیوه کل عمدتاً بخار جیوه فلزی باشد، زمان ماندگاری ۳-۰/۴ سال داشته و به همین دلیل در سطح جهان توزیع شده است. زمان ماندگاری شکل محلول در آب ممکن است تنها چند هفته باشند. شکل محلول در آب و جیوه ذره‌ای نیز زمان ماندگاری کوتاهی دارند، هرچند این موضوع تنها برای بخش کوچکی از کل جیوه محاسبه می‌گردد، با این حال در حمل‌ونقل و فرآیندهای رسوبی مهم می‌باشند. علاوه بر این، امکان تبدیل برخی از اشکال نامحلول در آب جیوه موجود در جو، به محلول در آب نیز مطرح شده است. هیچ داده‌ای در خصوص آلودگی هوای محیط داخلی به علت بخار جیوه در دسترس نیست. حرارت دادن جیوه فلزی و اشیاء حاوی جیوه در منزل، باعث مرگ و میر و مسمومیت شدید می‌گردد. شکسته شدن منبع ترموستات جیوه‌ای در محفظه رشد مورد استفاده جهت نوزادان نارس، سبب افزایش سطوح بخار جیوه نزدیک به مقدار حد آستانه مجاز شغلی در این محفظه شده است. مواجهه با بخار سطوح جیوه آزاد شده از رنگ لانتکس ترکیبات حاوی جیوه با ماندگاری زیاد، می‌تواند تا $300-1500 \text{ ng/m}^3$ نیز برسد. آلودگی هوای داخل ناشی از ترموستات حرارت مرکزی و استفاده 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^{۱۸} و همکاران بررسی شده، نشان می‌دهد که بخار جیوه آزاد شده از سطوح آمالگام به داخل دهان، منبع اصلی مواجهه با جیوه غیر آلی در جمعیت‌های عمومی است.

جدول ۵: مدت اقامت گونه‌های مختلف جیوه در جو

ردیف	گونه‌های جیوه	علامت اختصاری	انتشار در هوا (%)	مدت اقامت در جو	واکنش پذیری
۱	جیوه عنصری گازی	GEM، Hg (0) یا Hg ^o	>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

¹⁸ - Clarkson

۷- راه‌های مواجهه با جیوه

۷-۱- هوا

جیوه موجود در جو و آمالگام، مهم‌ترین منابع مواجهه انسان با بخار جیوه از راه هوا می‌باشند. با فرض غلظت‌های روستایی 2 ng/m^3 و غلظت‌های شهری 1 ng/m^3 ، در نتیجه استنشاق، روزانه حدود 32 ng در مناطق روستایی، و حدود 160 ng در مناطق شهری، جیوه وارد جریان خون بالغین می‌شود (نرخ جذب ۸۰٪). بسته به تعداد پرکردگی‌های دندان با آمالگام، برآورد مقدار بخار جیوه‌ای که روزانه از این طریق جذب می‌گردد، به طور متوسط بین $17000 - 30000 \text{ ng}$ متفاوت می‌باشد. غلظت جیوه اندازه‌گیری شده در هوای تنفسی در محدوده $6000 - 10000 \text{ ng/m}^3$ و هنگامی که تنفس صرفاً از طریق بینی انجام شود، کم‌تر از 1000 ng/m^3 می‌باشد. با این حال، برخی از محققین به این نتایج تردید داشته، و با انجام بررسی مجدد، مصرف جیوه روزانه ناشی از پرکردگی‌های دندان را حدود 2000 ng تخمین می‌زنند.

۷-۲- آب آشامیدنی

جیوه موجود در آب آشامیدنی، معمولاً در محدوده $5 - 100 \text{ ng/l}$ ، و مقادیر متوسط آن حدود 25 ng/l می‌باشد. 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 می‌باشد.

۷-۳- غذا

اغلب غلظت جیوه در بسیاری از مواد غذایی زیر حد تشخیص (معمولاً 20 ng/g وزن تر) می‌باشد. ماهی و پستانداران دریایی منابع اصلی جیوه عمدتاً به شکل ترکیبات متیل جیوه (۷۰-۹۰٪ کل جیوه) می‌باشند. غلظت طبیعی جیوه در بافت خوراکی گونه‌های مختلف ماهی، بسته به عواملی مانند pH، پتانسیل اکسیداسیون، سن و اندازه ماهی، طیف گسترده‌ای بین $50 - 1400 \text{ ng/g}$ وزن تر را تشکیل می‌دهد. ماهی‌های صیاد بزرگی مانند کوسه، قزل‌آلا، ماهی تن و همچنین شیرماهی و نهنگ‌های دندان‌دار بالاترین غلظت متوسط جیوه را دارا می‌باشند. علاوه بر این، مواجهه با ترکیبات آلی جیوه از طریق استفاده از کرم‌های روشن‌کننده پوست و سایر داروهای حاوی جیوه نیز رخ می‌دهد. از تیومرسال^{۱۹} (به میزان μg

¹⁹ - Thiomersal

۱۰۰در هر تزریق) برای حفاظت واکسن و ایمنوگلوبولین استفاده می شود. منابع انسانی انتشار، تجمع زیستی و راه‌های کنترل جیوه در محیط زیست، در اشکال ۱ و ۲ نشان داده شده است.

شکل ۱: منابع انسانی انتشار و تجمع زیستی جیوه

شکل ۲: منابع اصلی انتشار و راه‌های کنترل جیوه

۷-۴- اهمیت نسبی راه‌های مواجهه با جیوه

افزایش جمعیت، تقاضا برای تولید محصولات گوناگون را به دنبال داشته است. رشد اقتصادی، پیشرفت صنایع و مدرن‌تر 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 می‌گردد، یک تهدید جدی برای محیط زیست و سلامت افراد بوده و لذا تا حد امکان باید مقدار آن را در پس آب‌ها کاهش داد. جیوه به صورت گازی از منابع طبیعی و فعالیتهائی نظیر سوزاندن پسماندهائی مانند اکسید جیوه (HgO) موجود در باتری‌های معمولی مستعمل (که برای جلوگیری از خورده شدن الکتروود روی استفاده می‌شود) در کوره‌های شهرداری‌ها، احتراق زغال‌سنگ و مازوت حاوی مقادیر کم جیوه، استفاده در صنایع الکترونیک (سوئیچ الکتریکی و لامپ‌های بخار جیوه) و استخراج فلزات قیمتی سریع‌ا تبخیر، و به صورت بخار وارد اتمسفر می‌شود. این منابع جیوه جوی، امروزه رقیب مواد خروجی از آتشفشان‌هاست که قبلاً منبع عمده جیوه معلق در هوا محسوب می‌شد. جیوه در هوا اغلب به شکل گاز است و مقدار اندکی از آن، به ذرات معلق متصل است. جیوه گازی معلق در هوا می‌تواند مسافت‌های زیادی را در اتمسفر طی کرده و پس از شسته شدن به وسیله بارش، در خاک و آبراه‌ها رسوب کند. تخلیه فاضلاب‌های صنعتی کارخانه‌های کاغذسازی، PVC و کلرآلکالی، مهم‌ترین منابع آلودگی آب‌ها به جیوه می‌باشد. استفاده از ترکیبات آلی جیوه به صورت انواع قارچ‌کش‌ها در کشاورزی، از منابع مهم متیل جیوه است. این ترکیبات در نتیجه تماس با خاک شکسته شده و جیوه آن در نتیجه اتصال با گروه‌های گوگردار در خاک‌های رس، و ماده آلی آن نیز به صورت ترکیبات نامحلول، وارد محیط زیست می‌شوند. هر چند فعالیت‌های انسانی بیش‌ترین منابع بالقوه ایجاد جیوه در محیط زیست هستند، اما باید توجه داشت که طبیعت نیز خود یکی از این عوامل بالقوه ایجاد جیوه می‌باشد، وجود جیوه در بدن شمشیر ماهی‌های دور از منابع صنعتی، به جیوه حاصل از فعالیت‌های آتشفشانی نسبت داده می‌شود. به دلیل متنوع بودن زمینه‌های طبیعی جیوه، تفریق سطوح طبیعی و تجاری در هر بخش از محیط دشوار است. از طریق رخدادها و شرایط آب و هوایی مانند رسوبات طبیعی، فعالیت‌های آتشفشانی، فرسایش زمین و طوفان‌ها، سالیانه

حدود ۵۰۰۰ تن جیوه وارد دریا می شود. از طرفی ۵۰۰۰-۴۰۰۰ تن از جیوه معادن (در حدود نصف تولید جهانی سالیانه از ۹۰۰۰ تن) در دریا، خاک و اتمسفر رها شده و در ارگانسیم های حیاتی تجمع می یابد. مقدار جیوه در آب های غیر آلوده ۱ ng/l و میانگین برداشت روزانه جیوه کل جمعیت های عمومی در امریکا از هوا ۰/۰۴ μg/day و از آب ۰/۰۵ μg/day برآورد شده است.

مکانسیم هایی که جیوه به وسیله آن ها وارد زنجیره غذایی می شود به طور کامل شناخته شده نیستند و ممکن است در میان اکوسیستم ها متفاوت باشند، که در این رابطه برخی باکتری ها نقش مهمی را بازی می کنند. باکتری های موجود در محیط زیست که در پروسه سولفات هستند، جیوه را از فرم معدنی غیر آلی می گیرند و آن را به واسطه فرایند متابولیسمی به متیل جیوه تبدیل می کنند. تغییر جیوه معدنی به متیل جیوه مهم است، زیرا سمیت آن بیش تر شده و لذا ارگانسیم ها زمان طولانی تری را برای حذف متیل جیوه نیاز خواهند داشت. باکتری های حاوی متیل جیوه ممکن است به وسیله سطوح بالاتر در زنجیره غذایی مصرف شده و یا توسط باکتری به داخل آب دفع شوند، که در آن جا سریعاً به وسیله پلانکتون ها جذب شده و پلانکتون ها نیز به وسیله سطح بعدی در زنجیره غذایی مصرف می شوند. به این دلیل که حیوانات متیل جیوه را سریع تر از آن که دفع کنند، انباشته می کنند، لذا غلظت بالاتری از جیوه توسط حیوانات در هر سطح از زنجیره غذایی مصرف می شود، از این رو غلظت های کم متیل جیوه در حیوانات به ویژه ماهی و پرندگان که ماهی مصرف می کنند، به آسانی غلظت های بالقوه مضر ایجاد کرده و در نهایت در بدن انسان تجمع می یابد. برداشت جیوه از غذاهای فاقد ماهی، ۳/۶ μg/day و در صورت مصرف ماهی ۶/۶ μg/day 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 است 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 آلکوکسی آریل 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 هفته ها یا ماه ها، به طور متوسط بین ۲۰۰۰-۴۷۰۰ ng/day 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 غیر آلی از مواد غذایی دشوار است.

جذب جیوه کل از رژیم غذایی، در گروه‌های سنی مختلف بیش از چند سال اندازه‌گیری شده است. در بررسی سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا^{۲۰} (FDA) (۱۹۸۴-۱۹۸۶)، جذب روزانه جیوه با توجه به گروه سنی، برای نوزادان ۱۱-۶ ماهه، ۳۱۰ ng، برای کودکان ۲ ساله، ۹۰۰ ng و برای بالغین ۲۰۰۰-۳۰۰۰ ng اندازه‌گیری شده است. در بررسی‌های انجام شده در بلژیک، جذب جیوه کل از تمام مواد غذایی، بین ۶۵۰۰-۱۳۰۰۰ ng برآورد شده است.

جدول ۶: تخمین میزان جذب روزانه ترکیبات جیوه باقی‌مانده بر حسب نانوگرم (ng)

تخمین میزان جذب روزانه ترکیبات جیوه (باقی‌مانده) ^a			
محیط	بخار جیوه	ترکیبات معدنی جیوه	متیل جیوه
جو	۴۰-۲۰۰ ^b (۳۰-۱۶۰)	^c	^c
غذا: ماهی	۰	^d ۶۰۰ (۶۰)	^d ۲۴۰۰ (۲۳۰۰)
غیر ماهی	۰	۳۶۰۰ (۳۶۰)	؟
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 باقی‌مانده 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 ۱-۲ ng/m³ و حجم تنفس روزانه ۲۰ m³.

c. از غلظت سایر گونه‌ها در مقابل بخار جیوه جهت اهداف مقایسه‌ای، صرف نظر شده است.

d. فرض بر این است که ۸۰٪ کل جیوه موجود در بافت‌های ماهی خوراکی به صورت متیل جیوه و ۲۰٪ آن به شکل ترکیبات معدنی جیوه می‌باشد.

میزان جذب جیوه، به طور قابل ملاحظه‌ای در بین افراد مختلف یک جمعیت متفاوت است. در برخی جوامع که منبع اصلی تامین پروتئین، ماهی می‌باشد، مقادیر جذب ممکن است چندین برابر از مقدار برآورد شده بیش تر باشد.

²⁰ - Food and Drug Administration

۸- مصارف صنعتی و غیر صنعتی جیوه

جیوه در صنایع به سه شکل فلز، ترکیبات آلی و معدنی استفاده می‌شود. ترکیبات آلی جیوه شامل گروه‌های هیدروکربنی آروماتیک یا آلیفاتیک و ترکیبات معدنی جیوه معمولاً شامل نمک‌های جیوه نظیر کلریدها یا اکسیدهای جیوه می‌باشد. از فرم فلزی جیوه در ساخت گاز کلر و سود سوزآور، دماسنج‌های جیوه‌ای، پرکننده‌های دندان پزشکی، مخازن فشارسنج، انواع باتری‌ها، رنگ‌های پلاستیک، لامپ‌های فلورسنت و تهیه کرم‌های ضد آفتاب، ضد عفونی‌کننده و انواع پماد استفاده می‌گردد. از جیوه معدنی نیز در ساخت آفت‌کش‌ها، مواد ضد عفونی‌کننده، باتری‌های خشک و مواد نگاه‌دارنده موجود در بعضی ترکیبات دارویی استفاده می‌شود. یکی از کاربردهای مهم جیوه، ساخت آمالگام²¹ می‌باشد. آمالگام، آلیاژ جیوه با فلزات یا ترکیبات فلزی است. به‌عنوان مثال، آمالگامی که برای پر کردن دندان به کار می‌رود، 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 می‌شد که به ازای هر گرم نقره، یک گرم جیوه وارد جَو می‌کرد. امروزه هم در برخی کشورها برای استخراج طلا از آمالگام جیوه استفاده می‌کنند، 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 می‌کنند. در برخی از کارخانجات کلرآلکالی، از طریق الکترولیز، محلول آبی کلرید سدیم را به محصولات تجاری کلر و هیدروکسید سدیم تبدیل می‌کنند.

یکی دیگر از مصارف عمده جیوه، تولید لامپ بخار جیوه یا لامپ‌های کم‌مصرف می‌باشد. این لامپ‌ها باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی شده و طول عمر بیشتری دارند. این لامپ‌ها، مصرف را ۴ تا ۶ برابر لامپ‌های معمولی، بهینه می‌کنند، اما به دلیل وجود جیوه، جزء زباله‌های خطرناک هستند و در صورتی که همراه با زباله‌های دیگر و به روش سنتی دفع شوند، موجب آلودگی محیط زیست خواهند شد. در برخی کشورها قرار دادن این لامپ‌ها همراه سایر زباله‌ها جریمه‌های سنگینی دارد، اما متأسفانه در کشور ما در این زمینه اقدامات و اطلاع‌رسانی مناسبی صورت نگرفته و مراکز هم برای جمع‌آوری زباله‌های خطرناک وجود ندارد و حتی روی بسته‌بندی این لامپ‌ها نیز هیچ هشدار دربارۀ خطرناک بودن بخار جیوه ذکر نشده است.

استفاده از جیوه و ترکیبات آن در قارچ‌کش‌ها، با توجه به تأثیر خاصیت سمی جیوه بر موجودات زنده، اهمیت زیادی دارد. در کشاورزی ترکیبات آلی جیوه به منظور پوشش‌های دانه‌ای به کار برده می‌شوند تا از رشد قارچ روی بذور کشاورزی جلوگیری کنند. ترکیبات جیوه در لوازم بهداشتی و آرایشی به عنوان کرم‌های زیبایی، محافظ پوست و جلوگیری از آکنه به کار می‌روند، ۶ تا ۱۰ درصد وزن این فرآورده‌ها را

²¹ - Amalgamation

کالومل (کلرید جیوه) تشکیل می‌دهد. از آنجایی که ترکیبات جیوه به راحتی جذب پوست می‌شوند، سازمان نظارت بر مواد غذایی و دارویی آمریکا (FDA) استفاده از این ترکیبات را در فرآورده‌های بهداشتی منع کرده است. مصارف صنعتی و غیرصنعتی جیوه را می‌توان به صورت زیر دسته بندی نمود:

۸-۱- تولید و مصرف سوخت

- احتراق زغال سنگ در نیروگاه‌های 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)
- معدن کاری طلا با ملغمه کردن جیوه (از سنگ معدن، از کنستانتره و از پس آب)
- تولید سیمان، مقوا و کاغذ

۸-۳- تولید مواد شیمیایی

- تولید مواد شیمیایی و پلی‌مرها
- تولید کلرآلکالی با سلول‌های 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
- آفت کش های حاوی جیوه
- رنگ های حاوی جیوه
- گرم های روشن کننده پوست و صابون های با مواد شیمیایی حاوی جیوه
- استفاده در دندان پزشکی (پر کردن 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 خنک کننده در برخی سیستم های سرماساز
- استفاده در دباغی ها

- پیگمان سازی
- انواع خاصی از برگه‌های چاپی رنگی
- مواد منفجره (فولمینات جیوه در چاشنی بسیاری از فشنگ‌ها)
- مواد آتش‌بازی
- در تولید برخی اسباب‌بازی‌ها

۸-۶- جیوه موجود در زباله و فاضلاب

- فاضلاب‌ها و پسماندهای یونیت‌های دندان‌پزشکی (بزرگ‌ترین منبع)
- فاضلاب‌های صنعتی و خانگی
- فاضلاب بیمارستان‌ها، آزمایشگاه‌ها، مدارس و دانشگاه‌ها
- 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 اندازه‌گیری (مانند دماسنج‌ها و فشارسنج‌ها)، لامپ‌های الکتریکی، باتری‌ها (به‌ویژه باتری‌های آلکالاین تا قبل از سال ۱۹۹۶)، ترموستات‌ها، لامپ‌های فلورسنت و نئون، رنگ‌های لاتکس قدیمی، آینه‌ها، دیگ‌های بخار، اکسیداسیون ترکیبات آلی (به عنوان کاتالیست)، استخراج طلا و نقره از سنگ‌های معدنی، یک‌سوکنده‌های جریان برق، تولید کلر و کاغذ، آمالگام‌های دندان‌پزشکی، گریس، رنگ‌های محافظ چوب، مواد منفجره، فتوگراف‌ها، حشره‌کش‌ها، قارچ‌کش‌ها، تولید فولاد، تعمیر دستگاه‌های هواشناسی، کلیدهای الکتریکی بی‌صدا، زباله سوزها، آب‌کاری، چرم‌سازی،

تاکسی درمی، نیروگاه‌های زغال‌سوز و گازسوز، عملیات آزمایشگاهی مرتبط با جیوه، خنک‌کننده‌های راکتورهای هسته‌ای، نقاشی، جواهرسازی و غیره. مواجهات شغلی با جیوه در ایران، عمدتاً در واحدهای کلرآلکالی، صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه‌های تولید دماسنج، معادن طلا و کلینیک‌های دندان‌پزشکی رخ می‌دهد.

مواجهه شغلی با بخار جیوه متعاقب تنفس، دارای پتانسیل قوی ایجاد اثرات بهداشتی از طریق جذب از ریه‌ها، می‌باشد. شدت مواجهه با جیوه به تعدادی از عوامل مانند دوز، سن فرد در معرض (حساس‌ترین جنین است)، مدت زمان مواجهه، راه مواجهه (مانند، استنشاق، بلع و تماس پوستی)، وضعیت سلامت فرد در معرض بستگی دارد. که می‌تواند شامل اثرات کوتاه مدت، علائم برگشت‌پذیر (مانند، لرزش، تغییرات احساسی، بی‌خوابی، تغییرات عصبی و عضلانی، سردرد، اختلال در حس، تغییرات در پاسخ‌های عصبی و اختلال در عملکرد آزمون عملکرد شناختی. علاوه بر این، و جدی‌تر، می‌تواند باعث آسیب‌های 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 ۱۵۰ سال است که در دندان‌پزشکی کاربرد دارد. اگرچه آمالگام از نظر زیبایی نسبت به ترمیم‌های هم‌رنگ دندان در سطح پایین‌تری قرار دارد، ولی هم‌چنان به دلیل هزینه کم، طول عمر، دوام، مهر و موم کردن، آسان بودن مراحل کارکرد و پرداخت، برای کاربرد مستقیم به عنوان ماده ترمیمی در دندان‌های خلفی خصوصاً در مناطق تحت استرس، ترجیح داده می‌شود. در سال ۲۰۰۱ ترمیم‌های آمالگام برای ترمیم حفرات تحت نیرو در دندان‌های خلفی، توسط بیش از ۷۵٪ از دندان‌پزشکان در انگلستان و ۵۴٪ از دندان‌پزشکان در آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است.

دندان‌پزشکان یکی از گروه‌های در معرض خطر مواجهه شغلی با آمالگام بوده و چون جیوه در دمای اتاق تبخیر می‌شود، هنگام آماده‌سازی، خارج کردن و یا پرداخت دندان پر شده، در مواجهه با بخارات جیوه می‌باشند. اگرچه بعضی از مطالعات حاکی از بی‌خطر بودن مواجهه مزمن با جیوه در دندان‌پزشکان می‌باشد، ولی گروهی دیگر از مطالعات اثبات کرده‌اند که آمالگام عوارض قابل توجهی روی سلامت دندان‌پزشکان ایجاد می‌کند. مهم‌ترین فاکتورهای موثر در افزایش میزان مواجهه دندان‌پزشکان با جیوه عبارتند از: میزان قطرات جیوه فلزی و باقی‌مانده‌های ذرات آمالگام در محل کار، آماده‌سازی، جای‌گذاری و برداشتن ترمیم‌های آمالگامی، برش و تراش آمالگام، پرتاب تصادفی ذرات، آمالگام‌هایی که برای مصرف کنار گذاشته شده‌اند، روش مخلوط کردن آمالگام، پولیش کردن آمالگام، نشستن از کپسول آمالگام حین آمالگام‌سازی، نوع آمالگام

مصرفی، برداشتن اضافات جیوه تازه مخلوط شده با دست، آمالگاماتورهای مکانیکی، کندانسورهای اولتراسونیک، عدم استفاده از ساکشن با مکش بالا^{۲۲} هنگام برداشتن آمالگام‌های قدیمی، استفاده از استریلیزاسیون خشک (فور) و بخار جیوه برخاسته از روی زمین، تهویه و نوع پوشش کف. علاوه بر موارد ذکر شده، افزایش سابقه کار و عمر مطب، رعایت استانداردهای بهداشتی مانند عادات شستشو و تمیز کردن وسایل، سن و سابقه کار دندان‌پزشک، ساعات کار در هفته و تعداد ترمیم‌ها در هفته، از عوامل دیگری است که در میزان مواجهه دندان‌پزشکان با جیوه دخالت دارد. تماس پوست با آمالگام نیز می‌تواند باعث جذب جیوه گردد. اگرچه این مواجهه اندک است ولی به مرور زمان باعث تجمع جیوه در بدن می‌شود. در ضمن استفاده از ماسک و دستکش خطر مواجهه را به طور کامل از بین نمی‌برد.

۱۰- کینتیک و متابولیسم جیوه

کینتیک جیوه شامل مراحل جذب، انتشار، متابولیسم و دفع بوده و به میزان زیادی به شکل جیوه (عنصری، ترکیبات معدنی یا آلی) جذب شده بستگی دارد. به طور مثال آمالگام که حاوی ۶۰-۴۵ درصد جیوه و ۳۰ درصد نقره بوده و به عنوان ماده ترمیمی در دندان‌پزشکی به کار می‌رود، یک سم است اما نمی‌تواند برای ما خطرناک باشد، زیرا اتم‌های نقره به سختی اتم‌های جیوه را نگاه می‌دارند. همچنین کلرور مرکورو ($HgCl$) که هر مولکول آن دو اتم جیوه و دو اتم کلر دارد، یک دارو است. درحالی که 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 می‌شود. همچنین هر مولکول مرکور کروم که در گذشته برای معالجه زخم‌ها به کار می‌رفت، نیز دارای یک اتم جیوه است.

۱۰-۱- جذب

جیوه از طریق دستگاه تنفس، دستگاه گوارش و پوست می‌تواند وارد بدن شود. اصلی‌ترین راه جذب جیوه در مواجهات شغلی، استنشاق هوای آلوده یا تماس پوستی در محیط کار دندان‌پزشکی، خدمات بهداشتی، صنایع شیمیایی و غیره می‌باشد. درحالی‌که خوردن ماهی و حلزون‌های صدف‌دار آلوده به متیل جیوه، استنشاق بخارات موجود در هوا، کوره‌های زباله‌سوز و صنایعی که سوخت حاوی جیوه را می‌سوزانند و رها شدن جیوه ناشی از خدمات دندان‌پزشکی و بهداشتی - درمانی، راه‌های مهم مواجهه جمعیت‌های عمومی با جیوه می‌باشند. جیوه معدنی (جیوه عنصری

²²- High Vacuum

و ترکیبات معدنی) از طریق رسوبات طبیعی، زباله‌ها و فعالیت‌های انفجاری، وارد آب یا خاک، و از طریق سنگ معدن، سوزاندن زغال‌سنگ و زباله و پس‌آب صنایع وارد آب می‌شود. فرم آلی جیوه نیز از طریق فضولات بعضی کارخانجات وارد محیط زیست شده و توسط میکروارگانسیم‌های آب و خاک به متیل جیوه تبدیل می‌شود، سپس وارد بدن ماهی و سایر آبزیان می‌گردد و نهایتاً توسط انسان مصرف می‌شود. این ترکیبات به علت حلالیت در چربی زیاد، در مقایسه با ترکیبات معدنی جیوه سمی‌تر می‌باشند.

مهم‌ترین راه مواجهه شغلی با جیوه، استنشاق بخار جیوه می‌باشد. درحالی‌که پر کردن دندان با آمالگام، منبع اصلی مواجهه در جمعیت‌های عمومی است. ریه ارگان هدف اصلی در طی تماس حاد با بخار جیوه بوده و تماس به مدت چند ساعت می‌تواند ایجاد برونشولیت و پنومونیت کند، جیوه از ریه‌ها به جریان خون نفوذ کرده، سپس از سد خونی-مغزی^{۳۳} (BBB) گذشته و آسیب شدیدی به CNS می‌رساند. جیوه از تمام فلزات، فرآتر و بخار آن کاملاً سمی است. شکل فلزی جیوه محلول در چربی است و بعد از استنشاق به آسانی از طریق آلوئول‌ها وارد جریان خون می‌شود. بلع املاح غیرآلی جیوه به صورت حاد، در طی چند ساعت باعث ایجاد گاستروآنتریت، کلاپس قلبی-عروقی، نکروز حاد توبولی و مرگ می‌گردد. حدود ۱۰٪ املاح معدنی جیوه از دستگاه گوارش جذب می‌شود و با ایجاد HgS در روده، باعث کندی می‌گردد، این مورد سابقاً جهت بیمارانی که برای درمان یبوست از بلعیدن جیوه استفاده می‌کردند، مصداق داشته است.

۱-۱-۱۰- جیوه عنصری (Hg^0)

استنشاق راه مهمی برای مواجهه با Hg^0 محسوب می‌شود، به طوری که حدود ۸۰٪ از بخار جیوه استنشاق شده در جریان خون باقی‌مانده و از این طریق در بافت‌ها توزیع می‌شود. 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 $0.24 \mu g/m^2$ در دقیقه از پوست جذب می‌شود. این مقدار فقط ۲٪ جذب جیوه هم‌زمان با جذب ریوی را تشکیل داده و فقط نیمی از جیوه جذب شده از راه پوست، می‌تواند 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 اندازه‌گیری شده است.

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

²³ - Blood Brain Barrier

ته نشینی و جذب ذرات معلق جیوه معدنی استنشاق شده، به اندازه ذرات و حلالیت بستگی دارد. هیچ داده‌ای در این خصوص برای انسان گزارش نشده است. مورو^{۲۴} و همکاران با انجام مطالعه‌ای در سگ گزارش کردند که ۴۵٪ از ذرات معلق اکسید جیوه (II) (با قطر متوسط ۰/۱۶ μm) ته‌نشین شده، در کم‌تر از ۲۴ ساعت و مابقی با یک نیمه عمر ۳۳ روزه پاک می‌گردد. حدود ۱۵-۱۰٪ از یک دوز خوراکی غیر سمی جیوه (II) از جدار دستگاه گوارش افراد بالغ جذب شده و در بافت‌های بدن آنان باقی می‌ماند. جذب از دستگاه گوارش کودکان، احتمالاً بیشتر است.

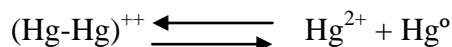
۱۰-۱-۳- جیوه آلی

در خصوص جذب ریوی دی‌متیل جیوه گازی و ذرات معلق ترکیبات منومتیل جیوه، اطلاعاتی وجود ندارد. با توجه به موارد مسمومیت انسان از طریق استنشاق و توانایی عبور سریع این ترکیبات از غشای سلولی، به نظر می‌رسد 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 می‌مانند. برخی از ترکیبات متیل جیوه احتمالاً از طریق پوست جذب می‌شوند.

۱۰-۲- توزیع

۱۰-۲-۱- جیوه عنصری (Hg^۰)

پس از مواجهه با بخار جیوه، فلز جیوه عنصری به صورت فیزیکی در خون حل می‌شود. در عرض چند دقیقه، جیوه موجود در گلبول‌های قرمز توسط واکنش کاتالیزی آنزیم کاتالاز، سریعاً به یون Hg²⁺ اکسید می‌شود. واکنش اکسیداسیون Hg^۰ به Hg²⁺ در بدن و محیط‌های آبی مطابق شکل زیر است:



مکانیسم بیولوژیکی این اکسیداسیون، توسط آنزیم کاتالاز در حضور پراکسید هیدروژن انجام می‌گیرد. البته در حیوانات واکنش احیای Hg²⁺ به Hg^۰ نیز دیده می‌شود. Hg^۰ 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 Hg²⁺، در حد وسیعی اعمال سمیت می‌کند.

پس از مواجهه کوتاه مدت با بخار جیوه، حداکثر غلظت جیوه در گلبول‌های قرمز در کم‌تر از ۱ ساعت دیده می‌شود، درحالی که سطوح پلاسمائی پس از حدود ۱۰ ساعت به حداکثر می‌رسد. قبل از اکسیداسیون، Hg^۰ به آسانی از غشای سلولی موانعی مانند خون، مغز و جفت عبور می‌کند. پس از اکسیداسیون، یون‌های Hg²⁺ (یا کمپلکس‌ها) از طریق خون در بدن توزیع می‌شود. کلیه‌ها و مغز، ارگان‌های هدف اصلی برای

²⁴ - Morrow

جایگزینی جیوه پس از مواجهه با بخار جیوه می‌باشند، نمک‌های غیر آلی جیوه عمدتاً در کلیه تجمع می‌کنند. مصرف الکل، جذب یا حذف جیوه را تغییر می‌دهد، که احتمالاً به علت مهار کاتالاز است. بنابراین مقدار جیوه موجود در گلبول‌های قرمز خون افرادی که قبل از مواجهه با جیوه الکل مصرف کرده باشند، به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. بخار جیوه مکرراً در تمام بدن توزیع شده و به آسانی از سد خونی-مغزی و جفت عبور کرده و در شیر و سایر مایعات بیولوژیک ظاهر می‌گردد.

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

کلیه جایگاه اصلی تجمع جیوه غیر آلی است. درحالی‌که این ترکیبات در سلول‌های غشای مخاطی دستگاه گوارش نیز، تجمع پیدا می‌کنند، البته بخش قابل توجهی از این تجمع، حذف شده و هرگز به گردش خون عمومی نمی‌رسد. جیوه (II) موجود در خون، به طور مساوی بین گلبول‌های قرمز و پلاسما تقسیم می‌گردد. در گلبول‌های قرمز، جیوه عمدتاً به گروه‌های سولفیدریل مولکول هموگلوبین و همچنین به گلوکاتینون متصل می‌گردد. توزیع بین بخش‌های مختلف پلاسما-پروتئین، با دوز و زمان مواجهه تغییر می‌کند. جیوه (II) به میزان محدودی در موانع خون، مغز و جفت نفوذ می‌کند. با این حال، جیوه (II) در جفت، غشاهای جنینی و مایع آمنیوتیک تجمع می‌یابد.

میزان جذب از خون، در اندام‌های مختلف به طور گسترده‌ای متفاوت است، بسته به میزان حذف از ارگان‌های مختلف، توزیع جیوه در بدن و ارگان‌های مختلف به طور گسترده‌ای با دوز و زمان پس از جذب تغییر می‌کند. در هر حال تحت هر شرایط، کلیه بهترین جایگاه جیوه در بدن پس از مواجهه با جیوه (II) می‌باشد. جیوه دو ظرفیتی معدنی می‌تواند متالوتیونین را کاهش دهد، بخش زیادی از جیوه محلول در کلیه‌ها به متالوتیونین متصل می‌گردد. علاوه بر این، یون جیوه غیر آلی احتمالاً با سلنیوم کمپلکسی ایجاد می‌کند، که چربی دوستی آن از یون‌های خود جیوه بیش‌تر بوده و با توجه به مطالعات تجربی، به میزان معینی از غشاهای بیولوژیک عبور می‌کند.

۱۰-۲-۳- جیوه آلی

متیل جیوه از طریق جریان خون به تمام بافت‌ها در بدن توزیع می‌گیرد، فاز اولیه در حدود ۳ روز کامل می‌شود. جز گلبول‌های قرمز که غلظت جیوه آن ۲۰-۱۰ برابر غلظت پلاسمایی است، الگوی توزیع بافتی مواجهه با جیوه آلی از جیوه غیر آلی بسیار یکنواخت‌تر است، متیل جیوه به آسانی از موانع خون مغز و جفت عبور می‌کند. متیل جیوه در جنین، خصوصاً در مغز انباشته و تغلیظ می‌گردد. مانند سایر اشکال جیوه، بالاترین غلظت بافتی در کلیه‌ها جایگزین می‌گردد، هر چند مقدار جیوه کل نه‌نشین شده ممکن است در عضلات بیش‌تر باشد. مطالعات تجربی نشان داده که کینتیک و حذف متیل جیوه تفاوت‌هایی را در دو جنس نشان می‌دهد. در پایان فاز اول توزیع، در یک لیتر خون یک فرد بالغ با وزن ۷۰

کیلوگرم، حدود ۱٪ متیل جیوه یافت می‌شود. نسبت غلظت در مغز به خون، حدود ۵ به ۱ است. با فرایند شکل‌گیری رشته‌های مو، متیل جیوه در مو تجمع می‌یابد. در زمان ورود جیوه به مو، نسبت غلظت خون به مو در فرد، حدود ۲۵۰ به ۱ می‌باشد. متیل جیوه تحت تاثیر تغییرات زیستی خصوصاً در روده به جیوه غیر آلی تبدیل می‌گردد.

۱۰-۳- حذف

۱۰-۳-۱- جیوه عنصری (Hg^0)

پس از مواجهه کوتاه مدت با بخار جیوه، حدود یک سوم از جیوه جذب شده بدون تغییر از طریق بازدم دفع می‌گردد، درحالی که باقی‌مانده 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 می‌دهد که کاهش سطح جیوه در خون، پس از مواجهه با یک دوز واحد، به خوبی توسط دو تابع نمایی با نیمه‌عمر معادل حدود ۳ و ۳۰ روز برای هر یک قابل توصیف است. کم‌ترین نیمه عمر برای جیوه در خون حدود ۹۰٪ محاسبه شده است. درحالی که حذف جیوه معدنی با وجود تغییر نیمه‌عمرهای بیولوژیکی با توجه به بافت و مدت زمان مواجهه، از یک الگوی پیچیده پیروی می‌کند. بنابراین نیمه‌عمر جیوه معدنی در کلیه، همانند کل بدن، ۶۴ روز به دست آمده است. اخیراً در مطالعه انجام شده در ۱۰ دندان‌پزشک و پرستار دندان‌پزشکی در مواجهه شغلی با جیوه، با فرض کینتیک درجه اول برای کلیرانس جیوه ادرار حاصل از بخار جیوه، نیمه‌عمر به طور متوسط ۴۱ روز گزارش شده است.

از سطوح خونی جیوه می‌توان به عنوان شاخص مواجهه اخیر با بخار جیوه استفاده نمود، هر چند به منظور حذف تاثیر احتمالی جذب جیوه از رژیم غذایی حاوی ماهی، نوع گونه جیوه نیز باید مشخص گردد. معذک در حال حاضر هیچ شاخص کلی و مناسبی که منعکس‌کننده وجود غلظت جیوه معدنی در اندام‌های بحرانی نظیر مغز و کلیه در شرایط متفاوت مواجهه باشد، وجود ندارد. این موضوع از الگوی پیچیده پیشنهاد شده برای متابولیسم ترکیبات مختلف جیوه ناشی می‌شود. یکی از نتایج مهم این است که علی‌رغم بالا بودن غلظت جیوه در اندام‌های حیاتی، غلظت جیوه در خون یا ادرار ممکن است بلافاصله پس از توقف مواجهه کاهش یابد، در مقابل، میزان جیوه ادرار با مواجهه طولانی مدت مرتبط است. تفاوت فردی (از جمله میزان دفع روزانه) نیز باید در نظر گرفته شود. برای پایش بیولوژیکی بخار جیوه، هرگز نباید از مدفوع استفاده شود، و غلظت‌های جیوه مو می‌تواند ناشی از جذب احتمالی Hg^0 از جو بوده و ارتباطی با سطوح نداشته باشد.

مطالعات نشان می‌دهد که ادرار افراد دارای بیش از ۳۶ ترمیم دندانی، به طور متوسط دارای ۳۰ nmol/l جیوه در مقایسه با گروه کنترل ۱۰۰ برابر فاقد ترمیم با آمالگام می‌باشد. گزارشات WHO حاکی از افزایش دفع ادراری جیوه بیش از ۳۰ crea.nmol/mmol ناشی از مواجهه شغلی با غلظت $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ در هوا می‌باشد. همچنین مقادیر Hg^0 در بازدم افرادی با پرکردگی‌های آمالگام برابر $8/2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد، که ۱۰۰ برابر سطوح جیوه در هوای بازدم افراد بدون پرکردگی‌های آمالگامی است. افرادی که تعداد ترمیم آمالگامی زیادی دارند، روزانه حدود $10-12 \mu\text{g}$ جیوه جذب می‌کنند. همچنین نشان داده شده است که جذب جیوه فلزی از آمالگام می‌تواند از $21 \mu\text{g}/\text{day}$ نیز بیش تر شود.

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

دفع جیوه معدنی جذب شده عمدتاً از طریق ادرار و مدفوع صورت می‌گیرد، که در صورت مواجهه زیاد، ادرار مسیر دفع غالب است. میزان دفع از هر دو مسیر، تقریباً برابر است. نیمه‌عمر تمام بدن در بالغین حدود ۴۰ روز است. بخار جیوه عمدتاً به شکل جیوه (II) حذف می‌گردد، لذا این موضوع در پایش بیولوژیکی جیوه حائز اهمیت می‌باشد. نیمه‌عمر جیوه در ادرار حدود ۲ ماه بوده و از آنجائی که مقادیر جیوه ادرار ارتباط نزدیکی با سطوح جیوه در کلیه‌ها دارد، اندازه‌گیری جیوه ادرار به طور گسترده‌ای برای ارزیابی مواجهه با جیوه معدنی کاربرد دارد. مطالعه کلیرانس بخار جیوه رادیواکتیو، حاکی از دفع ۷٪ جیوه استنشاق شده با یک نیمه‌عمر ۱۸ ساعته می‌باشد. نیمه‌عمر جیوه کل در کلیه ۶۴ روز می‌باشد که با میزان اکسید شدن به Hg^{2+} متناسب است.

بهترین شاخص ارزیابی مواجهه شغلی با جیوه، اندازه‌گیری جیوه کل در خون و ادرار می‌باشد. مطالعات نشان می‌دهد که اندازه‌گیری جیوه ادرار عملی‌ترین و حساس‌ترین روش برای نشان دادن مواجهات شغلی با غلظت‌های پایین جیوه معدنی می‌باشد. اندازه‌گیری جیوه در خون را می‌توان در دو بخش خون تام و پلاسما انجام داد و به این ترتیب می‌توان مواجهه شغلی با جیوه فلزی و مواجهه غیرشغلی ناشی از غذاهای دریایی را مشخص کرد. در صورتی که 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 می‌یابد. حداکثر غلظت جیوه در خون، ۴-۲ روز پس از مواجهه اتفاق می‌افتد. لذا تجزیه خون پس از مدت‌های طولانی، فاقد اطلاعات مفید می‌باشد. به طور کلی غلظت جیوه ادرار ناشی از مواجهه با بخار جیوه، به جهت اکسید شدن به Hg^{2+} کاهش می‌یابد. دفع Hg^0 ممکن است به دنبال تماس حاد با آمالگام، یا از طریق امکان احیای Hg^{2+} در بدن ایجاد گردد.

۱۰-۳-۳- جیوه آلی

دفع متیل جیوه عمدتاً از طریق مدفوع انجام می‌گیرد. متیل جیوه در روده به آرامی به جیوه غیر آلی تبدیل گردیده، و بیش‌ترین مقدار آن (البته نه همه آن)، به شکل غیر آلی دفع می‌گردد. چرخه مجدد آنتروپاتیک، عدم وجود احتمالی متیل جیوه در مدفوع را توجیه می‌کند. نیمه عمر تمام بدن متیل جیوه معمولاً بین ۷۰-۸۰ روز است، اما در این بین تفاوت‌های قابل توجهی نیز رخ می‌دهد. نیمه عمر در مغز تقریباً با نیمه عمر تمام بدن برابر است. درحالی‌که نیمه‌عمر در خون تا حدودی کم‌تر است. استفاده از تکنیک‌های ردیابی در مطالعات انجام شده در حیوانات آزمایشگاهی حاکی از آن است که پس از تجویز حاد متیل جیوه، غلظت جیوه خون در ابتدا، به خوبی نمایانگر منطقی غلظت اندام خواهد بود، اما با گذشت زمان، نسبت سربار بدن در مغز، عضلات و کلیه افزایش می‌یابد. در کلیرانس کل بدن و توزیع بافتی جذب روده‌ای متیل جیوه در جوندگان، تفاوت‌های جنسی نشان داده شده است. در نسبت غلظت جیوه در خون و اندام‌های هدف بالقوه، نیز تفاوت وابسته به جنس مشاهده شده است. غلظت خون ممکن است یک شاخص مفید برای جیوه سربار بدن باشد، درحالی‌که غلظت جیوه در گلبول‌های قرمز برای مواجهه با متیل جیوه اختصاصی‌تر است. بنابراین در مواقع مشکوک بودن به مواجهه با بخار جیوه یا سایر ترکیبات جیوه غیر آلی، یا باید نوع گونه جیوه مشخص گردد و یا نمونه سرم تجزیه گردد. تجزیه مو خصوصاً در بررسی مواجهه با متیل جیوه که با ترکیبات مویستگی دارد، حائز اهمیت است. با توجه به رشد مو (حدود ۳mm در هفته) می‌توان سیر پیشرفت مسمومیت را با تجزیه اجزاء مو بررسی نمود. همچنین با اندازه‌گیری جیوه مو تنها در طول یک رشته، می‌توان به عنوان یک شاخص، از سطوح خونی فرد در گذشته اطلاع حاصل نمود. با این حال 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 می‌گردد.

۱۱- سمیت و خطرات جیوه

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

مسمومیت با جیوه می‌تواند از استنشاق، بلع، یا جذب از طریق پوست ناشی گردد. جیوه عنصری به دلیل فرار بودن، مخاطراتی را برای سلامتی ایجاد می‌کند. جیوه عنصری به صورت بخار، به سیستم اعصاب مرکزی^{۲۵} (CNS) نفوذ کرده و بعد از یونیزه شدن، در آنجا به دام می‌افتد، و در نتیجه اثرات سمی شدید ایجاد می‌کند. اما هدف اصلی Hg^{2+} کلیه‌ها و کبد است. جیوه عنصری به خوبی توسط دستگاه گوارش جذب نمی‌شود، بنابراین در هنگام خورده شدن، سمیت خفیفی تولید می‌کند. جیوه فلزی و ترکیبات جیوه در صورت استنشاق و یا باقی ماندن برای بیش از یک دوره زمانی کوتاه بر روی پوست، بسیار خطرناک می‌باشند. دی‌متیل 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 می‌باشد. تا کنون 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 می‌یابد. انواع ترکیبات جیوه، سمیت متفاوتی دارند، ترکیباتی مانند فنیل جیوه، کمترین میزان سمیت، و ترکیبات الکیل جیوه بیشترین سمیت را دارند. سمیت و خطرات ترکیبات مختلف جیوه در زیر ذکر شده است:

- بخار جیوه (مانند جیوه عنصری) از طریق استنشاق به آسانی جذب شده و همچنین از طریق پوست سالم جذب می‌شود. پس از جذب، خون جیوه عنصری را به سیستم اعصاب مرکزی منتقل نموده و در آنجا اکسید می‌شود. محصول اکسیداسیون ایجاد آسیب بدنی می‌کند. در افرادی که در مواجهه شدید با جیوه عنصری می‌باشند، علائم مشخصی از جمله: لرزش دست، کم‌رویی، بی‌خوابی، و بی‌ثباتی عاطفی (مانند نشانه‌های بیماری لرزش کلاه سازان) پیشرفت می‌کند. زمانی که مایع جیوه گرم می‌شود، بخارات آن می‌تواند به سطوح بسیار بالا برسد. اگر کنترل محل کار ناکافی باشد، چنین سطوحی تقریباً بلافاصله باعث ایجاد عوارض جانبی در انسان می‌شود.
- نمک‌های جیوه (مانند نیترات جیوه) بسیار سمی و خورنده بوده که با تجمع زیاد در کلیه، باعث آسیب کلیوی می‌گردد.
- ترکیبات آلی جیوه با حمله به سیستم اعصاب مرکزی باعث لرزش، اختلال در بینایی و شنوایی و فلج می‌گردد. این ترکیبات همچنین ممکن است باعث نقص هنگام تولد شود. اثرات ناشی از مواجهه بیش از حد با جیوه موجود در هوا یا تماس پوستی با ترکیبات جیوه ممکن است برای ماه‌ها و یا سال‌ها قابل توجه نباشد.
- فولمینات جیوه $Hg(ONC)_2$ ، ماده‌ای که در چاشنی‌های انفجاری استفاده می‌شود.
- اکسید جیوه (II) که مانند یک اکسید کننده قوی می‌تواند باعث شروع سوختن مواد آلی گردد.

- دی متیل جیوه، ماده بسیار سمی، مایع بی‌رنگ و خوش‌بو با خطر آتش‌سوزی شدید با فلش پوینت 4°C می‌باشد. این ماده به سرعت به پوست نفوذ می‌کند و مواجهه با مقادیر بسیار جزئی باعث سمیت شدید و کشنده می‌گردد. هنگام کار با این ماده، لازم است احتیاطات شدید اعمال گردد.

۱۲- اثرات زیان‌آور جیوه

به علت تفاوت در کینتیک سمیت، اثرات زیان‌آور جیوه به اشکال شیمیایی ترکیبات آن بستگی دارد.

۱۲-۱- جیوه عنصری (Hg°)

بررسی اثرات بهداشتی بخار جیوه، حاکی از ایجاد آسیب وابسته به دوز در سیستم عصبی، مخاط دهان و کلیه‌ها می‌باشد. اثرات بر سیستم عصبی به صورت لرزش و نشانه‌هایی از اختلالات روانی و اختلال در حافظه کوتاه مدت، تحریک‌پذیری شدید و کناره‌گیری از روابط اجتماعی آشکار می‌گردد. درگیری سیستم عصبی محیطی نیز به صورت کاهش سرعت هدایت عصبی بروز می‌کند. اثر بر سیستم عصبی خصوصاً در عملکرد خودکار، معمولاً برگشت‌پذیر است. توسعه خیلی آهسته اختلالات شناختی و تغییر عواطف، مضرترین اثرات ناشی از مواجهه شغلی می‌باشد. بخار جیوه می‌تواند سندرم نفروتیک ایجاد نماید که باعث از دست دادن بیش از حد پروتئین (عمدتاً آلبومین) در ادرار و ایجاد ادم می‌گردد، که حساسیت‌های فردی سبب ایجاد تفاوت‌های قابل توجهی در این مورد می‌شود. 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 می‌گردد.

عوامل مربوط به میزان اهمیت ویژه‌ای در توسعه سندرم نفروتیک در کارگران در معرض بخار جیوه یا ترکیبات جیوه غیر آلی دارد. افزایش گردش آنتی‌گلوبولین در غشای پایه آنتی‌بادی‌ها در ۸ مورد از ۱۳۱ کارگر مرد در مواجهه شغلی مشاهده شده است. در مطالعه دیگر ارتباط بین مواجهه با جیوه غیر آلی و افزایش سطح ایمونوگلوبولین IgM و IgA نشان داده شده ولی هیچ رابطه دوز-اثری به دست نیامده است. 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 $13 \mu\text{g/g}$ ، هیچ‌گونه اثر بر روی گویچه‌های سفید خون، ایمونوگلوبولین‌ها یا آنتی‌بادی‌ها نشان نداده است. با این حال مطالعات حیوانی حاکی از وجود اثرات ایمونولوژیکی است که به طور ژنتیکی تعیین می‌شود، با توجه به محدود بودن تعداد کارگران در مواجهه مورد بررسی، اثر سمیت ایمنی ناشی از مقادیر کم جیوه معدنی در افراد مستعد را نمی‌توان نادیده گرفت.

اخیرا یک مطالعه بر روی میمون‌ها نشان داده که مواجهه با آمالگام می‌تواند باعث غنی‌سازی فلور روده با گونه‌های باکتریایی مقاوم به جیوه گردد، که خود می‌تواند به نوع مقاوم به آنتی‌بیوتیک تبدیل گردد. در حال حاضر ما برداشت مشخصی از این مشاهدات در میمون‌ها نداریم، اما مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها، به طور کلی یک مشکل فزاینده در پزشکی است. به نظر می‌رسد مواجهه با بخار جیوه سبب تجمع جیوه در غده هیپوفیز می‌گردد. در حالی که هیچ ارتباطی بین مواجهه جیوه با متوسط سطح جیوه ادرار $37 \mu\text{g/g}$ و سطح سرمی پرولاکتین، هورمون محرک تیروئید و هورمون محرک فولیکول وجود ندارد.

در خصوص اثرات بخار جیوه بر مراحل اولیه چرخه زندگی انسان، 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 نمی‌باشد. برای ارزیابی سربار بدن در افراد در مواجهه مزمن با جیوه، اغلب از شاخص‌های موجود در ادرار استفاده می‌شود. غلظت جیوه نمونه‌های ادرار افراد بدون مواجهه مشخص با جیوه، در حدود 98% موارد، کم‌تر از $5 \mu\text{g/litre}$ است. مواجهه شغلی مزمن با جیوه می‌تواند در افراد بالغ حساس با مقادیر جیوه ادرار $50-100 \mu\text{g/litre}$ ، سبب ایجاد پروتینوری گردد. لرزش و اختلالات روانی معمولاً در مقدار جیوه ادرار بیش از $300 \mu\text{g/litre}$ مشاهده می‌گردد، اما هیچ آستانه معینی منتشر نشده است (جدول ۷). در افراد حساس، اثرات ممکن است در مقادیر جیوه ادرار حدود $100 \mu\text{g/litre}$ نیز دیده شود. بیش‌تر اثرات بخار جیوه، معمولاً چند ماه پس از خاتمه مواجهه از بین می‌روند.

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، که می‌تواند کشنده باشد، منجر خواهد شد. کودکان بیش‌تر 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، گونه‌ها و بینی، حساسیت به نور، مشکلات خواب و عرق کردن زیاد گردد.

استنشاق بخار جیوه در طول زمان، بر مغز انسان، نخاع، چشم‌ها، و کلیه‌ها اثر سوء دارد. مواجهه مزمن با بخار جیوه ممکن است باعث ضعف، خستگی، بی‌اشتهایی، کاهش وزن، ناتوانی در تمرکز، لرزش، احساس سوزن سوزن شدن، یا از دست دادن حس لمس در دست، زبان یا پلک، تغییر رنگ قرنی و عدسی چشم، اختلالات بینایی و اختلال در عملکرد دستگاه گوارش گردد. لرزش ممکن است ابتدا از انگشتان، پلک و لب‌ها

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 تحریک پذیری، 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 شدید، التهاب لثه، بی تفاوتی، بی اشتها، 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، بی خوابی و خارش و گاهی پوسته پوسته شدن دردناک پوست دست ها و پاها به همراه تاول اشاره نمود.

جدول ۷: غلظت های 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
ادرار ($\mu\text{g}/\text{litre}$)	هوا ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^b	
۱۰۰	۳۰	لرزش قابل مشاهده
۵۰	۱۵ ^c	اثرات توبولی کلیه، تغییر در آنزیم های پلاسمائی
۲۵-۱۰۰	۱۰-۳۰	علائم غیر اختصاصی

- a. این اثرات با فراوانی کم در گروه دارای مواجهه شغلی ایجاد می گردد. اثرات دیگری نیز گزارش شده، ولی سطوح هوا و ادرار آن ها 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) اندازه گیری شده است.
- c. در محاسبه غلظت ادرار، غلظت جیوه هوا $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ اندازه گیری شده توسط نمونه بردارهای محیطی، معادل غلظت جیوه ادرار $300 \mu\text{g}/\text{litre}$ در نظر گرفته شده است.

۱۲-۲- ترکیبات معدنی جیوه (II)

این ترکیبات سمومی خورنده هستند، یک دوز حاد دهانی می تواند باعث ایجاد سمیت شدید در دستگاه گوارش، شوک سیستمیک و مرگ ناشی از نارسایی کلیه گردد. اطلاعات مربوط به اثرات مزمن ناشی از مواجهه انسان یا حیوانات با ترکیبات معدنی جیوه نشان می دهد که کلیه ارگان هدف این ترکیبات است. با این حال گزارش اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه مزمن با ترکیبات جیوه معدنی بسیار نادر است.

مواجهه شغلی با اکسید جیوه با آسیب سیستم اعصاب محیطی همراه است، به نظر می رسد این اثرات برگشت پذیر باشد. مواجهه با ترکیبات معدنی جیوه (II) و نیز Hg^0 ، سبب ایجاد عارضه بیماری صورتی در کودکان مستعد می گردد. ارتباطات دوز- اثر گزارش نشده است، 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 خطرناک‌ترین شکل جیوه است. استفاده از متیل جیوه به عنوان قارچ کش برای محافظت دانه‌ها سبب کاهش قابل ملاحظه پرندگان شد که از این دانه‌ها مصرف کرده بودند و همچنین صدها مرگ در عراق و آمریکا از مصرف نانی که دانه‌های گندم آن با متیل جیوه در تماس بوده گزارش شده است. ورود سمی‌ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان، بیماری میناماتا^{۲۶} ایجاد می‌کند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ درخلیج 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 نمک‌های Hg^{2+} ، سم قوی‌تری است، زیرا علاوه بر انحلال‌پذیری در بافت چربی، قابلیت تجمع و بزرگ‌نمایی زیستی دارد. همچنین می‌تواند از سدخونی- مغزی و جفت جنین عبور کند. فرایند متیل‌دار شدن جیوه در شرایط ناهوازی در رسوبات گل‌آلود رودخانه‌ها، توسط متیل کوبالامین صورت می‌گیرد. جیوه موجود در بدن انسان، بیش‌تر به صورت متیل جیوه بوده و اغلب از طریق خوردن ماهی وارد بدن انسان می‌شود.

آسیب ناشی از این ترکیب، تقریباً محدود به سیستم عصبی می‌شود. در افراد بالغ، آسیب به مناطق خاصی از مغز که با عملکرد حسی و هماهنگی مرتبط است، به خصوص سلول‌های عصبی در کورتکس بینائی و سلول‌های گرانولی مخچه منحصر می‌شود. به نظر می‌رسد دوره نهفتگی اثراتی مانند تنگی میدان بینائی و عدم تعادل، هفته‌ها تا ماه‌ها به طول انجامد. چنین اثراتی معمولاً برگشت‌ناپذیر است. اثر اولیه معمولاً با ذکر شکایت از احساس خارش در اندام‌ها و اطراف دهان همراه است. این احساس خارش می‌تواند برگشت‌پذیر یا برگشت‌ناپذیر باشد. در دوزهای بالا، سیستم عصبی محیطی نیز ممکن است تحت تاثیر این آسیب‌پذیری 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 کلیه‌ها توزیع شده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری تظاهر می‌کند. از جمله این اختلالات: آتاکسی، پاراستزی، لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، دامانس پیش رونده، نکروز کانونی، تخریب سلول‌های گلیال، اختلالات حرکتی و مرگ می‌باشد.

دوره پیش از تولد، مرحله‌ای از زندگی است که انسان بیش‌تر مستعد مواجهه با متیل جیوه است. این نوع مسمومیت در طول دهه‌های گذشته در ژاپن و عراق رخ داده است. به دنبال این مسمومیت، اثرات شدیدی مانند فلج مغزی در فرزندان مادران در مواجهه‌ای که این اثرات در آن‌ها حداقل بوده و یا وجود نداشت، مشاهده شد. در گزارشی از ایسن^{۲۷} و همکاران پیشنهاد شد که اثرات خفیف مواجهه قبل از تولد مانند

²⁶ - Minamata

²⁷ - Eyssen

عقب ماندگی روانی، می تواند با سطوح جیوه $10-30 \mu\text{g/g}$ مو مادر در دوران بارداری ارتباط داشته باشد. این اثرات که قبل از تولد در نوزادان پسر در مواجهه مشاهده شد، در نوزادان دختر دیده نشد. داده های به دست آمده از شیوع مسمومیت حاد ناشی از جیوه در عراق، با گزارش ایسن و همکاران هم خوانی دارد. داده های به دست آمده از مطالعه ای که اخیر توسط جلیستروم²⁸ و همکاران در نیوزیلند انجام شده، حاکی از آن است که در گروهی از کودکان که مادران آنها غلظت جیوه مو $6-15 \mu\text{g/g}$ داشته اند، تغییرات اندکی در آزمون عملکرد (آزمون دنور²⁹) مشاهده شده است. در این گونه موارد، برآورد ارتباطات دوز- پاسخ در سطوح مواجهه پایین، عدم اطمینان قابل ملاحظه ای ایجاد می کند. همه اثرات قبل از تولد شناخته شده تا به امروز، برگشت ناپذیر می باشد. سطوح جیوه خون و موی سر رایج ترین پارامترهای مورد استفاده برای نشان دادن جیوه سربار بدن به دنبال مواجهه با ترکیبات متیل جیوه می باشند، سطح متیل جیوه با مصرف ماهی مرتبط است. سطوح خونی جیوه بیش از $1 \mu\text{g/litre}$ با اثرات بهداشتی در بالغین ارتباط داشته، و غلظت $40-50 \mu\text{g/litre}$ در یک زن باردار، می تواند برای جنین وی ریسک سمیت به همراه داشته باشد. از آنجا 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 وسایر محیطها ضروری است. در مناطق دور از صنعت، سطح جیوه جوی، حدود $2-4 \text{ ng/m}^3$ و در مناطق شهری حدود 10 ng/m^3 می باشد. این بدان معنی است که روزانه حدود $32-64 \text{ ng}$ در مناطق دور افتاده و حدود 160 ng در مناطق شهری جیوه در نتیجه مواجهه تنفسی از جو جذب جریان خون می شود. جو و آمالگام دندان مهم ترین منابع مواجهه با بخار جیوه می باشند، در حالی که رژیم غذایی منبع اصلی مواجهه با ترکیبات متیل جیوه است. سطح فعلی جیوه در هوای خارج، به استثنای مناطق بحرانی، معمولاً $0.10 \mu\text{g/m}^3$ - 0.05 ng/m^3 می باشد. بنابراین مواجهه با جیوه در هوای باز، در مقایسه با جذب بخار جیوه ناشی از پرکردن دندان با آمالگام که روزانه به طور متوسط بین $17000-30000 \text{ ng}$ برآورد شده، ناچیز است. انتظار می رود مواجهه با این سطوح از جیوه در هوای خارج، اثرات مستقیمی بر سلامت انسان نداشته باشد. Hg^0 گونه غالب جیوه موجود در هوا می باشد که نه جهشزا بوده و نه سرطانزا است. مواجهه با متیل جیوه هوا برد $2-3$ بار از میزان

²⁸ - Kjellström

²⁹ - Denver

برداشت روزانه از مواد غذایی کم تر است و لذا جذب از این حیطة، ناچیز در نظر گرفته می شود. بنابراین، ارائه دستورالعمل عددی تنها برای استنشاق جیوه معدنی شامل بخار جیوه و جیوه دو ظرفیتی مقدر است. سطوح کم ترین اثر زیان آور مشاهده شده³⁰ (LOAELs) پیشنهادی برای بخار جیوه حدود $30-15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ است. استفاده از یک ضریب عدم اطمینان $20(10)$ برای عدم اطمینان ناشی از حساسیت های مبتنی بر اطلاعات دوز- پاسخ در جمعیت های با ریسک بالا، و ضریب ۲ مربوط به تعمیم LOAEL به سطح اثر زیان آور غیر قابل مشاهده³¹ (NOAEL)، برای بخار جیوه غیر آلی، مقادیر پیشنهادی $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، به عنوان متوسط سالانه منتشر شده است. از آن جا که ماندگاری جیوه معدنی کاتیونی فقط نصف بخار جیوه می باشد، این دستورالعمل، محافظت در برابر اثرات خفیف کلیوی ناشی از جیوه کاتیونی معدنی را نیز پوشش می دهد. با این حال، دانش حاضر نشان می دهد که اثرات بر سیستم ایمنی در مواجهات پایین را نمی توان نادیده گرفت.

افزایش سطوح هوای محیطی، سبب افزایش جیوه در بدن آبزیان طبیعی، و در نتیجه منجر به افزایش احتمالی غلظت متیل جیوه در بدن ماهی های آب شیرین می گردد. چنین احتمالی نقش مهمی در تعیین سطوح قابل قبول جیوه در جو دارد. متاسفانه به علت عدم آگاهی کامل از چرخه جهانی و مسیرهای متیلاسیون و تجمع در زنجیره غذایی آبزیان، هیچ گونه برآورد کمی از ریسک های ناشی از پروسه های رسوب گذاری امکان پذیر نمی باشد. بنابراین یک راهنمای کیفیت هوای محیطی که بتواند از پتانسیل اثرات زیان آور متیل جیوه تشکیل شده از رسوب گذاری به طور کامل جلوگیری کند، پیشنهاد 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.

۱۳-۲- گروه های جمعیتی حساس

گروه های جمعیتی 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 جمعیت، بیان ژن متفاوتی دارد، مطالعات انجام شده در سوئیس و سوئد، برای این صفت یک فراوانی $0/006$ نشان داده است. بنابراین به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت، تقریباً $30-40$ نفر به طور کامل فاقد فعالیت کاتالاز (هموزیگوت) و $1/2$ هتروزیگوت با کاهش 60% 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.

³⁰ - lowest-observed-adverse-effect levels

³¹ - No -observed-adverse-effect levels

ایجاد اثرات کلیوی ناشی از جیوه معدنی و فنیل جیوه در یک زیر گروه از افراد حساس، حاکی از این واقعیت است که حساسیت می تواند به صورت ژنتیکی تعیین شود. با این حال مشخص نیست این زیر گروه چه نسبتی از جمعیت 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 استثناء 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 باشد، 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

غلظت های وزنی-زمانی هوا، ابزار معمول جهت ارزیابی مواجهه افراد می باشد. مقادیر گزارش شده در هوا به نوع نمونه برداری بستگی دارد. به طور کلی مقادیر اندازه گیری شده با نمونه برداری ثابت یا استاتیک، از نمونه برداری فردی کم تر است. با توجه به مندرجات جدول ۷، به منظور تبدیل غلظت های هوا به غلظت های معادل در هوای محیطی، دو عامل باید در نظر گرفته شود. اولاً، غلظت های هوا ذکر شده در جدول ۷، با استفاده از نمونه بردارهای محیطی در محیط کار اندازه گیری شده است. فاکتور تبدیل بسته به شرایط مواجهه ممکن است متفاوت باشد. جهت تبدیل مقادیر نشان داده شده به غلظت های 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، 50 m^3 ($10 \text{ m}^3/\text{day}$ در ۵ روز) در نظر گرفته شده است، در حالی که مقدار هوای محیطی استنشاقی در هفته 140 m^3 ($20 \text{ m}^3/\text{day}$ در ۷ روز) می باشد. بنابراین حجم هوای محیطی استنشاقی 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 متوسط 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 مشاهدات در انسان 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 هایی از هوا که در آن اثری با فراوانی کم رخ می دهد نمی باشد. از آن جایی

که ایجاد چنین اثراتی در کارگران در مواجهه شغلی با غلظت‌های کم به میزان نصف مقادیر آمده در جدول ۷ بعید به نظر می‌رسد، استفاده از یک ضریب عدم اطمینان ۲۰ مناسب به نظر می‌رسد. بنابراین، دستورالعمل غلظت جیوه در هوا $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ برآورد می‌گردد.

۱۳-۴- ترکیبات معدنی

ماندگاری اشکال کاتیونی جیوه معدنی استنشاق شده در ریه‌ها، حدود نصف بخار جیوه است (۴۰٪ در مقابل ۸۰٪)، بنابراین میزان محافظت در برابر اثرات توبولی کلیه ناشی از ترکیبات معدنی در این دستورالعمل، در مقایسه با بخار جیوه ۲ برابر تخمین زده می‌شود.

۱۳-۵- متیل جیوه

به نظر می‌رسد مجموعه دستورالعمل‌های کیفیت هوا برای ترکیب متیل جیوه مناسب نباشد. سهم جذب استنشاقی این شکل از جیوه در جو، قابل اغماض است. با این حال جیوه موجود در جو ممکن است پس از تجمع در خاک یا بدن موجودات طبیعی آبرزی به متیل جیوه تبدیل شده و باعث تجمع این شکل از جیوه در زنجیره غذایی آبرزیان گردد. در این صورت، دستورالعمل‌هایی برای برداشت از طریق غذا مانند مواردی که توسط کمیته کارشناسی مشترک FAO / WHO در افزودنی‌های غذایی توصیه شده، مناسب خواهد بود.

۱۴- حدود مجاز مواجهه شغلی

۱۴-۱- PELs-OSHA

سازمان بهداشت و ایمنی شغلی^{۳۳} (OSHA) حد مواجهه مجاز^{۳۳} (PEL) $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ را به صورت حد سقفی^{۳۴} برای مواجهه با تمامی اشکال جیوه در هوا توصیه نموده است. مواجهه کارگر با جیوه در هیچ زمان نباید از مقادیر پیشنهادی تجاوز کند.

۱۴-۲- RELs-NIOSH

موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی^{۳۵} (NIOSH) برای مواجهه با ترکیبات معدنی جیوه در کار روزانه بالغ بر ۱۰ ساعت و ۴۰ ساعت در هفته، حد مجاز توصیه شده^{۳۶} (REL) $0.05 \text{ mg}/\text{m}^3$ را به صورت TWA و $0.1 \text{ mg}/\text{m}^3$ را به صورت حد سقفی پیشنهاد کرده است. اختصاص نماد

32- Occupational Safety and Health Administration

33- permissible exposure limit

34- Ceiling limit

35- National Institute for Occupational Safety and Health

36- Recommended exposure limit

"پوست"، برای جیوه، توسط NIOSH، تاثیر مسیر جلدی مواجهه، از جمله غشاهای مخاطی و چشم را در مواجهه کلی نشان می‌دهد. حدود پیشنهادی توسط این موسسه بر ریسک آسیب سیستم عصبی مرکزی، چشم، پوست، و تحریک دستگاه تنفسی استوار است.

۱۴-۳- TLVs-ACGIH

کنفرانس دولتی متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا^{۳۷} (ACGIH)، حد آستانه مجاز^{۳۸} (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 0.025 mg/m^3 ، برای ترکیبات آلکیل جیوه 0.01 mg/m^3 و برای ترکیبات آریل جیوه 0.1 mg/m^3 توصیه نموده، این سازمان همچنین برای مواجهه کوتاه مدت^{۳۹} با ترکیبات آلکیل جیوه، مقادیر 0.03 mg/m^3 را پیشنهاد کرده است. ACGIH کلاس A۴ (ماده‌ای که به عنوان سرطانزای انسانی طبقه‌بندی نمی‌شود) و اختصاص ناماد "پوست" را نیز برای بخار جیوه در نظر گرفته است. این سازمان مستندات مربوط به TLV پیشنهادی برای بخار جیوه را منتشر نکرده، در حالی که در مستندات مربوط به سال ۱۹۹۱ (نسخه ۶) در خصوص مقدار حد آستانه مجاز قبل از 0.05 mg/m^3 بحث شده است.

۱۴-۴- OELs

با تدوین حدود مجاز مواجهه شغلی^{۴۰} کشور با مشارکت گروهی از متخصصین بهداشت حرفه‌ای کشور در سال 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 بهداشت حرفه‌ای تحت نظارت مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، 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 ساعته، و نیز مقدار حد مواجهه کوتاه مدت برای مواجهه با ترکیبات الکیل جیوه که توسط کمیته بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه‌ای پیشنهاد گردیده، در جدول ۸ نشان داده شده است. این کمیته همچنین اختصاص ناماد "پوست" برای کلیه اشکال معدنی و عنصری، آریل و الکیل جیوه و نیز کلاس A۴ (ماده‌ای که به عنوان سرطانزای انسانی طبقه بندی نمی‌شود) را برای ترکیبات معدنی و عنصری جیوه در نظر گرفته است.

37- American Conference of Governmental Industrial Hygienists

38- Threshold limit value

39- Short term exposure

40- Occupational exposure limits

جدول ۸: حدود مجاز مواجهه شغلی جیوه پیشنهادی توسط کمیته بازرنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه‌ای در سال ۱۳۹۰

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

۱۵- فوریت‌های پزشکی

جهت اجتناب از مواجهه بیش‌تر و انجام کمک‌های اولیه مناسب، ابتدا بایستی نسبت به خارج نمودن کارگر مسموم اقدام گردد. و منطقه آلوده به جیوه در فرد، فوراً با استفاده از چشم‌شوی یا دوش ایمنی مناسب شسته و مسئولین واحد HSE یا طب کار 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 آموزش‌های لازم در این خصوص به آنان داده شود.

۱. آشنائی با روش‌های اورژانس، محل نگهداری و استفاده مناسب از تجهیزات اضطراری و روش‌های حفاظتی در طی

عملیات نجات

۲. نحوه مطلع نمودن مسئولین یا پزشکان از جذب جیوه

۳. استفاده از پایش‌گر بخار جیوه جهت اطمینان از عدم وجود هیچ‌گونه 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 پایش‌گر به جهت حصول اطمینان از حذف کامل

جیوه

۴. عدم استفاده از محلول‌ها یا پودرهای خورنده همراه با اسفنج برای پاک‌سازی شخصی

۵. قرار دادن لباس‌های آلوده در کیسه‌های پلاستیکی

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

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

۱۶- درمان مسمومیت با جیوه

قطع فوری تماس، درمان‌های حمایتی و درمان با ترکیبات کلیتور^{۴۱} (شلاتور)، راه‌های اصلی درمان مسمومیت با جیوه می‌باشند. جیوه فلزی با کلیتورها واکنش نمی‌دهد، معدلک حدود ۸۰٪ جیوه فلزی در بدن به Hg^{2+} اکسید شده و به کلیتورها جواب می‌دهد. در مقایسه با سایر فلزات سنگین، استفاده از اتیلن‌دی‌آمین‌تترااستیک‌اسید^{۴۲} (EDTA) در درمان مسمومیت با جیوه، نسبت به ترکیبات دارای گروه سولفیدریل از اهمیت کم‌تری برخوردار است. ترکیبات منوتیول مانند گلوکاتایون^{۴۳}، سیستین^{۴۴}، پنی‌سیلامین^{۴۵} و مشتقات N-استیله آن‌ها قادر به حذف جیوه از پروتئین‌ها و مولکول‌های زیستی می‌باشند. ترکیبات دی‌تیول مانند دیمرکاپرول^{۴۶} (BAL) یا دی‌مرکاپتوسوکسینیک‌اسید^{۴۷} (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 اطلاع‌رسانی مناسب در زمینه خطرات و رعایت اصول کار با جیوه و ترکیبات آن مورد توجه بیش‌تری قرار گیرد.

۱۷- کنترل مواجهه با جیوه

حذف جیوه یک اولویت و برنامه جهانی است. لذا تهیه، تدوین و اجرای برنامه‌ای که بتواند این مشکل را برطرف کند الزامی می‌باشد. مطالعات حاکی از آن است که تنها هزینه‌های ناشی از کاهش بهره‌وری کودکان و به تبع آن کاهش بهره‌وری ناشی از جیوه در سال ۲۰۰۰، سالانه

41- Chelator

42- Ethylenediaminetetraacetic acid

43- Glutathione

44- Cysteine

45- Penicillamine

46- Dimercaprol

47 - Dimercaptosuccinic acid

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^{۴۸} آمریکاست. مطالعه هزینه‌های 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 هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از بیماری‌های مربوط به جیوه و همچنین هزینه‌های اجتماعی مرتبط را نیز مدنظر قرار دهیم، آنگاه اهمیت موضوع مشخص ترمی گردد. در مورد هزینه‌های ناشی از جیوه و ترکیبات آن در ایران، متأسفانه مطالعه‌ای صورت نگرفته است ولی با توجه به مطالعات سایر کشورها پس از مشخص شدن منابع و مناطق خطر و تهیه آمارهای مربوطه، می‌توان با توجه به مطالعات سایر کشورها این هزینه‌ها را محاسبه کرد.

بهترین راه پیش‌گیری از خطرات جیوه، حذف کامل مواجهه با آن است که این کار باید به وسیله ارزیابی ریسک صورت گیرد. طبق بررسی‌ها و برنامه جامع سازمان جهانی^{۴۹} (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 حمل‌ونقل 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 حمل‌ونقل کلیه مواد و ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که در این لیست اعلام شده، ممنوع است. رویکردی که به نظر می‌رسد با توجه به شرایط کشور در قالب برنامه عملیاتی قابل اجرا باشد، رویکرد لیست مثبت می‌باشد. در این راستا مرکز سلامت بهداشت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، استراتژی‌ها و فعالیت‌هایی را تحت عنوان کاهش و حذف جیوه و جایگزینی آن با مواد بی‌خطر یا کم‌خطر 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 می‌توان از روش‌های جداسازی، جایگزینی جیوه با مواد بی‌خطر یا کم‌خطرتر، تهویه موضعی و عمومی، روش‌های پایش بیولوژیکی و تجهیزات حفاظت فردی به تنهایی یا به صورت هم‌زمان بهره‌گرفت. این بخش شامل معرفی روش‌ها و دستورالعمل‌های کنترلی جهت جلوگیری از مواجهه غیر ضروری و به حداقل رساندن احتمال و میزان ریخت‌وپاش جیوه می‌گردد. (راهنمای کنترل مواجهه با بخار جیوه در محیط کار در ضمیمه ۱ آمده است)

48 - Power plants

49 - United Nation Environment Program

۱۷-۱- تحلیل ایمنی پروژه

تحلیل ایمنی پروژه⁵⁰ (PSA) یک روش افزایش آگاهی از خطرات موجود در یک پروژه یا عملیات، و شناسایی پتانسیل‌های کاهش ریسک در فرایند برنامه‌ریزی یک پروژه می‌باشد. مقررات مهندسی ایمنی، تحلیل ایمنی پروژه را برای تمامی پروژه‌های جدید و پروژه‌های قدیمی که در آن‌ها شرایط بالقوه مضر یا خطرناک، یک ریسک غیر قابل قبول ایجاد می‌کند را الزامی می‌سازد. در تحلیل ایمنی یک پروژه پیشنهادی، امکانات، وسایل، تجهیزات و مواد شیمیایی مورد استفاده، خطرات و ریسک‌های هر یک از مراحل پروژه، کنترل‌های لازم برای جلوگیری از مواجهه زیان‌آور بالقوه، استانداردهای آموزش شیوه‌های انجام کار با دستگاه‌ها و تجهیزات به روش ایمن، و ترکیبات شیمیایی و امکانات پاک‌سازی مورد نیاز شرح داده می‌شود. عملیات ارزیابی تحلیل ایمنی پروژه، در واحد HSE سازمان انجام می‌گیرد.

۱۷-۲- کنترل‌های مهندسی

برای فعالیت‌های مربوط به استفاده از جیوه بایستی کنترل‌های زیر را فراهم نمود:

- سیستم تهویه مناسب و کافی مجهز به سیستم‌های مهار بخار
- کیت‌های کنترل نشت جیوه. این کیت‌ها باید در تمام محیط‌های کاری که بیش از ۱ ml جیوه استفاده می‌شود (جز مقادیر کم جیوه موجود در محفظه بسته دماسنج‌ها و فشارسنج‌ها) وجود داشته باشد. کیت کنترل نشت پس از هر بار استفاده، باید تعویض گردد. شاغلین برای مهار و کنترل نشت، و پاک‌سازی و دفع باید از افرادی که آموزش واکنش اضطراری مواد خطرناک را دیده‌اند کمک بگیرند.
- حوضچه‌ها و سینی‌های ساخته شده از مواد صاف و غیر قابل نفوذ (مانند رنگ‌های پلاستیکی یا صیقلی) و شیب‌دار، جهت سهولت به دام اندازی جیوه ریخت‌وپاش شده. حوضچه‌ها 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 سینی‌های بدون درز به جای ورقه‌های پلاستیکی جاذب. بسته‌بندی قطرات جیوه جمع‌آوری شده با پلاستیک و دفع به عنوان زباله حاوی جیوه
- استفاده از محافظ‌های پلاستیکی متحرک و تله‌های جیوه
- پر نمودن طبقات بتنی با اپوکسی و استفاده از سطوح غیر قابل نفوذ با شکاف مختصر برای کار با جیوه (عدم استفاده از فرش و کاشی).

⁵⁰ - Project safety analysis

۱۷-۳- کنترل‌های مدیریتی

هنگام استفاده از جیوه و ترکیبات آن در هر فرایند، کنترل‌های 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 یک‌پارچه^{۵۱} (IWS)، برای آشنائی با خطرات مربوط به بهره‌برداری خاص و اجرای کلیه کنترل‌های لازم
 - تهیه برگه اطلاعات ایمنی مواد^{۵۲} MSDS، برای شرح خطرات و کنترل جیوه و هر یک از ترکیبات آن به طور جداگانه
 - آموزش‌های کامل ایمنی در آزمایشگاه، خطرات مرتبط، بهره‌برداری از دستگاه‌ها و تجهیزات خاص و روش ایمن انجام کار به کارگران و کلیه پرسنل در مواجهه
 - مستند نمودن کلیه دوره‌های آموزشی و نگهداری سوابق آن‌ها در واحد HSE
 - اطلاع واحد HSE از موارد استفاده جدید از جیوه (به جز دماسنج)
- برای تمام پروژه‌های جدید یا در حال انجامی که تغییرات قابل توجهی در آن‌ها صورت گرفته باشد، و یا زمانی که شرایط خطرناک رخ داده، تحلیل ایمنی پروژه الزامی است. (کاربرگ جمع‌آوری اطلاعات مربوط به کار با جیوه فلزی در ضمیمه ۴ و کاربرگ جمع‌آوری اطلاعات مربوط به روش‌های کنترلی جیوه فلزی در ضمیمه ۵ آمده است)

۱۷-۳-۲-وظایف واحد HSE:

- راهنمایی در انتخاب کنترل‌ها و ارائه آموزش اختصاصی
- تعیین نوع پایش جیوه در محیط کار در صورت نیاز
- ارزیابی مستندات تهیه و تایید شده توسط سازمان‌های ذریبط و اخذ مجوزهای مورد نیاز
- تنظیم طرح ایمنی مدون جهت انجام عملیاتی مانند حرارت دادن و یا استفاده از مقادیر زیاد جیوه 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 کاملا محصور با مقادیر

⁵¹ - Integration work sheet

⁵² - Material safety datd sheet

مصرفی کمتر از ۱ ml انجام گردد، واحد HSE می‌تواند از نوشتن طرح ایمنی چشم‌پوشی کند. با تذکر این نکته که استفاده از دی‌متیل جیوه، همیشه به یک برنامه ایمنی کاربردی^{۵۳} (OSP) نیاز دارد.

۱۷-۳-۴- آموزش

شاغلین و دانشجویانی که به طور بالقوه در معرض جیوه می‌باشند، قبل از شروع کار باید آموزش‌های 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 پاک‌سازی ریخت‌وپاش مختصر (ضمیمه الف در مورد دستورالعمل پاک‌سازی جیوه)
- آموزش استفاده مناسب از پاک‌کننده‌های مکننده جیوه. کارگرانی که از تجهیزات شکستنی حاوی بیش از ۱ ml جیوه فلزی استفاده کرده و یا آن‌را باز و بسته می‌کنند، باید آموزش استفاده صحیح از مکننده‌های جیوه و دیگر روش‌های پاک‌سازی را دیده باشند.
- آموزش استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، از جمله آموزش استفاده ایمن از ماسک تنفسی
- آموزش روش اطلاع‌رسانی 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 شیمیایی و انجام کار آزمایشگاهی به روش ایمن می‌توانید به راهنما و دستورالعمل جامع موادشیمیایی خطرناک مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با کد الزامات ۱-۰۹۰۷-۲۰۵۰۲۰۲ مراجعه کنید).

۱۷-۴- روش ایمن کار با جیوه

- شاغلین در مواجهه با جیوه باید از شیوه‌های 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 اندازه‌گیری دما و یا فشار جایگزین فاقد جیوه
 - در صورت استفاده از مواد یا روش‌های جایگزین، انتخاب روش جایگزین موجود با کم‌ترین میزان خطر
 - استفاده از تجهیزات حفاظت فردی اضافی، بسته به نوع و غلظت جیوه با نظر واحد HSE (تجهیزات حفاظتی مورد استفاده جهت پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه در ضمیمه ۳ آمده است)

⁵³ - Operation safety plan

- 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 دستکش‌های حفاظتی
- عدم استفاده از دستکش‌های یک‌بار 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 عملیاتی که باعث مواجهه صورت گردد، مگر آن که حفاظ تنفسی تمام صورت را پوشانده باشد. (از مقدار نفوذ جیوه در انواع دستکش‌ها یا لباس‌های 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، فضاها بین تخته‌های چوبی، ستون‌های چوبی، گودی دیوار، شکاف بین پایه‌ها و سطح میز)، شکاف سنگ‌ها و سایر سطوح سخت، سطوح منفذدار (مانند فرش، چوب و رنگ متخلخل)، و سطوح کاذب
- عدم ذخیره یا کار با جیوه در نزدیکی آب‌روها یا فاضلاب‌ها. جیوه نشست شده پس از به دام افتادن در سینک، با فلز لوله‌های فاضلاب تشکیل آمالگام داده و باعث تخریب آن می‌گردد، و سپس وارد محیط زیست و یا مخازن طراحی شده جهت نگهداری آب می‌گردد. جیوه موجود در سیستم لوله‌کشی 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 زباله‌های حاوی جیوه آلوده به ترکیبات پرتوزا گردد، زیرا دفع این نوع زباله‌های 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 می‌باشد.
- جهت محدود کردن هر گونه ریخت‌وپاش، انتقال جیوه مایع بین ظروف، باید در زیر هود مخصوص انجام گردد.
- کلیه تجهیزات حفاظت فردی، کنترل‌ها، تجهیزات و دستگاه‌ها باید از جانب خود افراد به صورت هفتگی بازرسی شده و اقدامات اصلاحی احتمالی مستند گردد.

۱۷-۵- برچسب‌زنی و ذخیره‌سازی

جهت برچسب‌زنی و ذخیره‌سازی جیوه و ترکیبات آن، کنترل‌های زیر اعمال می‌شود:

- 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، می‌تواند کشنده باشد

از استنشاق بخار اجتناب شود

از تهویه مناسب استفاده شود

از تماس پوستی اجتناب شود

- جیوه در نزدیکی مواد شیمیایی که می‌توانند با جیوه مخلوط قابل انفجار ایجاد کنند (مانند استیلن، آمونیاک، فسفودی‌یدید بور، دی‌اکسید کلر، متیل‌آزید، 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، ذخیره‌سازی کلیه مواد شیمیایی بر اساس کلاس مخاطرات انجام گیرد.
- به حداقل رساندن مقدار جیوه جهت استفاده یا ذخیره‌سازی
- مد نظر قرار دادن مهار یا کنترل نشت ذاتی جیوه در ذخیره‌سازی
- نگهداری جیوه در یک محل جداگانه خنک و ایمن
- استفاده از ظروف ساخته شده از مواد مقاوم در برابر ضربه، و یا قرارگیری در ظروف ثانویه محکم
- بستن محکم ظروف زمانی که از جیوه استفاده نمی‌گردد
- اجتناب از برش کارتن‌های حاوی بطری‌های پلاستیکی پر شده با جیوه. یا پاره و باز نمودن بطری‌های پلاستیکی

۱۷-۶- بسته بندی و حمل و نقل

جهت بسته‌بندی کلیه ظروف، اشیاء و دستگاه‌های حاوی جیوه، از مواد و روش‌های بسته‌بندی مناسب استفاده گردد.

پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه

کار با جیوه عنصری در صورت مانند استفاده از هود مناسب، آسان است. در هر حال در صورت نادیده گرفتن یا عدم محل‌یابی درست، ریخت‌وپاش جیوه عنصری می‌تواند 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، می‌تواند باعث جابه‌جایی با سرعت زیاد و در مسافت‌های طولانی گردد.

- قطرات کوچک و بخارات جیوه تمایل دارند در شکاف‌ها جمع شوند. مواد متخلخل پس از آلوده شدن ممکن است به ضایعات جیوه تبدیل گردد. که در این صورت رفع آلودگی از آن‌ها بیش از حد دشوار خواهد بود.

- جیوه با فلزات دیگر تولید آمالگام می‌کند. مقاومت فیزیکی اشیاء فلزی بعد از آلودگی با جیوه ضعیف‌تر شده و برای استفاده نامناسب می‌گردد.

- اقلام خاکی و آلوده به جیوه اغلب قابل پاک‌سازی نبوده و لذا می‌بایست به صورت زباله‌های خطرناک آلوده به جیوه دفع گردد.

- میکروارگانسیم‌ها جیوه فلزی را به ترکیبات آلی جیوه که در برخی از گونه‌ها از فرم فلزی خطرات بیش‌تری دارند تبدیل می‌کنند. این موضوع خصوصاً هنگام ورود جیوه به زنجیره غذایی آبریزان، ممکن است باعث مشکلات زیست محیطی قابل توجه گردد.

- جیوه در محیط زیست، تجمع زیستی یافته و در نتیجه به زنجیره غذایی منتقل می‌گردد. در صورت ریخت‌وپاش جیوه فوراً باید:

۱. منطقه‌ای که قطرات جیوه مشاهده شده را باید با استفاده از نوار یا علائم هشداردهنده 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 پاک‌سازی و دفع جیوه ریخت و پاش شده

۴. دسترسی آسان به تجهیزات حفاظت فردی و پوشش ویژه طراحی شده برای کار با جیوه در موقعیت‌های غیرمعمول و

پاک‌سازی نشد

۵. پاک‌سازی ریخت‌وپاش مختصر فلز جیوه به صورت ایمن توسط پرسنل درگیر، در صورت برخورداری از آموزش و تجهیزات مناسب

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

۷. عدم استفاده از پاک‌کننده‌های مکنده معمولی برای جیوه نشت شده، و استفاده از پاک‌کننده مکنده‌ای که اختصاصاً برای جیوه طراحی و اختصاص داده شده (دستورالعمل پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه در ضمیمه ۲ آمده است).

۱۷-۷- جمع‌آوری 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 می‌گردد. ضایعات آلوده به جیوه تولید شده بایستی از نظر تعیین قابلیت اجرایی 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 برنامه‌های مدیریت پسماند خطرناک ارزیابی شود. تجهیزات یا اشیاء مشخص شده به عنوان پسماندهای خطرناک باید برچسب زده شده و برای حمل‌ونقل و دفع از طریق برنامه مدیریت پسماندهای خطرناک آماده گردد. واحد HSE باید برنامه دفع نهایی مواد و پسماندهای خطرناک، و تمیز کردن و پاک‌سازی دستگاه‌ها، تجهیزات و امکانات را مستند کند. طرح دفع باید قبل از خرید مواد و یا شروع نهایی فعالیت‌های پروژه برنامه‌ریزی گردد.

بایستی از ذخیره‌سازی موقت پسماندهای حاوی جیوه با شیوه‌ای سازگار با محیط زیست اطمینان حاصل شود. تمامی مفاد کنوانسیون بازل^{۵۴} مبنی بر کنترل دفع مواد زائد خطرناک باید در خصوص پسماندهای حاوی جیوه نیز اعمال گردد. برای جمع‌آوری پسماندهای جیوه بایستی از دستکش، روپوش و ماسک‌های هوارسان مناسب استفاده گردد. کلیه قطرات جیوه موجود در حوضچه‌ها بایستی با استفاده از پمپ مکنده و بطری آسپراتوری دارای لوله موئینه جمع‌آوری 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 برچسب‌دار در محل مخصوص پسماندهای خطرناک، قرار داده شود. (برای آگاهی از روش ایمن دفع زباله آلوده به جیوه می‌توانید 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- تکنیک‌های اندازه‌گیری گونه‌های جیوه در هوا

تعیین کمی گونه‌های متنوع جیوه در هوا، نیاز به جمع‌آوری آن‌ها از هوا توسط برخی از وسایل مناسب جهت تجزیه بعدی دارد. مرحله پیش‌تغلیظ همچنین به تجمع مقداری جیوه، بالاتر از حد تشخیص (LOD) تکنیک‌های معمول شناسایی نیاز دارد. به این ترتیب، نمونه‌برداری جیوه معمولاً با عبور دادن حجم کافی هوا از درون یک ماده جمع‌آوری-که اغلب به یک جاذب اشاره دارد، آغاز می‌گردد. اگر تجزیه جیوه جوی به سه شکل مهم (TGM یا GEM)، RGM و Hg_p، محدود گردد، تکنیک‌های نمونه‌برداری گونه‌های مختلف را می‌توان به سه دسته تقسیم نمود (جدول ۱۰). در مکان‌های دور، جایی که غلظت TPM معمولاً کم است، TGM بخش غالب (>۹۹٪) غلظت کل جیوه در هوا را تشکیل می‌دهد. با این حال با بهبود تکنیک‌های نمونه‌برداری حاصل از تحولات تکنولوژیک، می‌توان اشکال شیمیایی کلیدی جیوه (یعنی GEM، RGM و Hg_p) را هم‌زمان نمونه‌برداری و تجزیه نمود. با توجه به کاربردهای اندازه‌گیری و پایش، روش‌های دستی و اتوماتیک برای اشکال مختلف جیوه توسعه داده شده‌اند. رایج‌ترین روش به کار گرفته شده برای نمونه‌برداری از جیوه، جذب در آمالگام طلا و پس از آن، واجذب حرارتی مستقیم یا غیرمستقیم از طریق یک فرایند گام‌به‌گام، و نهایتاً تشخیص (معمولاً توسط طیف‌سنجی جذب اتمی بخار سرد^{۵۵} (CVAAS) یا طیف‌سنجی فلورسانس اتمی بخار سرد^{۵۶} (CVAFS) متکی می‌باشد. (روش‌های پایش جیوه در هوای محیط کار در ضمیمه ۶ آمده است)

جدول ۱۰: روش‌های نمونه‌برداری مرسوم جهت اندازه‌گیری گونه‌های مختلف جیوه در هوا

روش‌ها و مواد نمونه‌برداری	گونه جیوه
آمالگاماسیون با طلا - سنجش گرهای اتوماتیک جیوه	GEM/TGM
محفظه میست	RGM
جاذب پشم کوارتز - تله‌گیر مرطوب - فیلترهای الیاف شیشه‌ای، الیاف کوارتز و سلولز استات	Hg _p

تعیین مواجهه شغلی با بخار جیوه موجود در هوا با استفاده از لوله‌های جاذب (۲۰۰ میلی‌گرمی) با اسامی تجاری هیدرار^{۵۷} یا هاپکالایت^{۵۸}، ساخت کمپانی SKC انجام می‌شود. نمونه‌های TWA با دبی حداکثر ۰/۲ l/min در حجم هوای حداقل ۳ lit یا حداکثر ۹۶ lit جمع‌آوری شده و

55 - Cold vapour atomic absorption spectroscopy

56 - Cold vapour atomic fluorimetry spectroscopy

57 - Hydrar

58 - Hopcalite

توسط طیف‌سنجی جذب اتمی بخار سرد تعیین مقدار می‌گردد. این روش در متدهای (OSHA ID-140) و NIOSH-6009 توضیح داده شده و به طور کامل معتبر است.

۱۷-۸-۲- پایش بیولوژیک

پایش بیولوژیک اندازه‌گیری یک عامل شیمیایی در خون، ادرار، و یا بافت بدن افراد در مواجهه می‌باشد، که با نمونه‌برداری و تجزیه بافت‌ها یا مایعات بدن، یک شاخص مواجهه قابل اندازه‌گیری را جهت یک ماده سمی یا متابولیت ارائه می‌نماید. این نوع پایش با تعیین مقدار مواد شیمیایی جذب شده به بدن، جهت اندازه‌گیری مواجهات محیطی در گذشته کاربرد دارد. چرا که اندازه‌گیری‌های هوا به تنهائی قادر به ارزیابی مواجهه پوستی و یا اثرات تجهیزات حفاظتی و شیوه‌های انجام کار نمی‌باشد. از طرفی، با اندازه‌گیری مقدار واقعی یک عامل جذب شده در بدن، بهتر از پایش هوا می‌توان ریسک ابتلا به اثرات بهداشتی زیان‌آور را برآورد نمود. روش پایش بیولوژیک ایده‌آلی برای ارزیابی خطرات ناشی از مسمومیت با بخار جیوه عنصری وجود ندارد. با این حال، جیوه معدنی کل در ادرار را می‌توان توسط نمونه‌گیری قبل از شیفت، هم در خون و هم در ادرار اندازه‌گیری نمود. سطوح فردی اندازه‌گیری شده ممکن است روز به روز و حتی در طول یک روز تا حد زیادی متفاوت باشد. لذا تفسیر مناسب نتایج می‌تواند مشکل باشد، در حال این اندازه‌گیری می‌تواند در مورد مواجهه بالقوه بیش از حد اطلاعاتی را ارائه کند. در هر پروژه‌ای که از مقادیر قابل توجهی جیوه استفاده می‌گردد، برای ایجاد پایه‌ای جهت مقایسه در آینده، کلیه پرسنل آسیب دیده، مقام مسئول و دانش‌جویان قبل از کار با جیوه باید توسط روش‌های 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 زیان‌آوری 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 غیر آلی، اندازه‌گیری جیوه در ادرار است. در حالت ایده‌آل، جمع‌آوری ادرار باید ۲۴ ساعته انجام گیرد. نمونه‌های ادرار تائیدی نیز باید گرفته شود، اما باید دقت شود که تمام نمونه‌ها در یک زمان مشخص از روز در حوالی پایان هفته کاری و پس از چند ماه مواجهه مداوم جمع‌آوری گردد. نمونه‌های شبانه نیز باید گرفته شود، محدوده زمانی این نمونه‌ها از وقتی که فرد به رختخواب می‌رود تا اولین دفع ادرار در صبح می‌باشد. نمونه‌ها در ظروف فاقد جیوه حاوی نگهدارنده که از آزمایشگاه

دریافت شده، جمع آوری می‌گردد. حداقل ۲۵ CC ادرار باید جمع‌آوری شود. جلوگیری از آلودگی ظروف نمونه و یا ادرار با جیوه از طریق پوست یا هوای محیط کار، نیاز به مراقبت‌های زیادی دارد.

هنگام تفسیر نتایج، مقدار جیوه ادرار باید براساس گرم کراتینین در نمونه اصلاح گردیده و به صورت $\mu\text{g/gCreatinine}$ بیان شود. سطوح ادرار افرادی که مواجهه شغلی با جیوه ندارند، به ندرت از $5 \mu\text{g/gCreatinine}$ بیش‌تر می‌شود. اخیراً توسط گروه بهداشت و خدمات سالمندان و پزشکان نیوجرسی^{۵۹}، سطوح بیش‌تر یا مساوی $20 \mu\text{g/gCreatinine}$ نیز گزارش شده است. هرچند بسیاری از آزمایشگاه‌ها تنها سطوح بالاتر از $150 \mu\text{g/gCreatinine}$ را دال بر سمیت می‌دانند، ولی شواهد قوی وجود دارد که نشانه‌های اولیه مسمومیت با جیوه را می‌توان در کارگران با دفع ادراری بیش از $50 \mu\text{g/gCreatinine}$ (برای میزان کراتینین ادرار استاندارد 1g/l) نیز مشاهده نمود. مقدار $50 \mu\text{g/gCreatinine}$ 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 $50 \mu\text{g/gCreatinine}$ 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 می‌باشد، بنابراین مصرف حاوی ماهی حاوی متیل جیوه آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین آزمایش خون برای ارزیابی دوره‌های مواجهه شغلی با جیوه توصیه نمی‌شود. نمونه‌ها همیشه باید در یک زمان مشخص از روز در حوالی پایان هفته کاری و پس از چند ماه مواجهه مداوم جمع‌آوری گردد. خون تام باید توسط لوله‌های فاقد جیوه حاوی هپارین، و پس از تمیز نمودن کامل پوست، جمع‌آوری گردد. میزان جیوه در خون افرادی که مواجهه شغلی با جیوه ندارند، معمولاً کم‌تر از $1 \mu\text{g/l}$ است. اخیراً توسط گروه بهداشت و خدمات سالمندان و پزشکان نیوجرسی، سطوح بیش‌تر یا مساوی $28 \mu\text{g/l}$ نیز گزارش شده است. به گفته برخی از کارشناسان، متوسط غلظت هوا بر د $50 \mu\text{g/m}^3$ سبب غلظت جیوه خون در حدود $35-30 \mu\text{g/l}$ می‌گردد. اثرات زودرس سمیت جیوه در غلظت خون بیش از $30 \mu\text{g/l}$ دیده می‌شود. کارگری با سطوحی بیش از این مقدار، تا زمان ارزیابی میزان مواجهات از طریق رژیم غذایی و محیط کار و بازگشت سطوح خونی وی به حد پایه، باید در کاری فاقد مواجهه با جیوه گمارده شود.

نمونه‌های خون یا ادرار برای تجزیه باید به یک آزمایشگاه معتبر فرستاده شوند. همه آزمایشگاه‌ها مهارت انجام این نوع تجزیه را ندارند. لیست آزمایشگاه‌های قابل اطمینانی که از مهارت کافی برای تجزیه جیوه در خون و ادرار برخوردار می‌باشند را می‌توان از دفتر سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی استعلام نمود.

۱۷-۸-۲-۳- شاخص‌های بیولوژیکی مواجهه^{۶۰} (BEIs)

برای ارزیابی مواجهه خطر ابتلا کارگران به ریسک بهداشتی، از شاخص‌های بیولوژیکی مواجهه استفاده می‌گردد. BEIs حدودی برای ارزیابی نتایج پایش بیولوژیکی هستند، این حدود معرف سطوحی از عوامل قابل اندازه‌گیری مشاهده شده در نمونه‌های جمع‌آوری شده از کارگران سالمی می‌باشد، که به طور بالقوه با مواد خطرناک در محدوده حد آستانه مجاز (TLV) از طریق استنشاق مواجهه داشته باشند. BEIs نشان دهنده مقادیر کم‌تر از محدوده غلظتی است که تقریباً در تمام کارگران عوارض نامطلوب بهداشتی ایجاد نکند. BEIs به طور غیر مستقیم دوز حاصل از مواجهه کارگر با یک ماده خاص را نشان می‌دهد. این روش مستلزم اندازه‌گیری غلظت یک ترکیب شیمیایی معین در خون، مایعات و بافت‌های افراد دارای مواجهه بالقوه به شاخص جذب ماده می‌باشد. در اکثر موارد، نمونه‌های بیولوژیکی مورد استفاده جهت پایش بیولوژیک، ادرار، خون یا هوای بازدم کارگران است. برای تعیین BEIs می‌توان 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 بیماری‌های شغلی استفاده گردد. پایش بیولوژیک امکان کمک به متخصصین بهداشت حرفه‌ای یا پزشکان را از طروق زیر فراهم می‌کند:

- 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 بهره‌وری کنترل‌های مهندسی و تجهیزات حفاظت فردی
- پایش شیوه‌های انجام کار

BEIs به عنوان دستورالعملی جهت ارزیابی خطرات بهداشتی بالقوه در نظر گرفته شده است. BEIs جهت ۸ ساعت مواجهه روزانه به مدت ۵ روز در هفته کاربرد دارد. هرچند در برنامه کاری مشاغل مختلف گاهی تغییر ایجاد می‌شود، معذک کمیته BEI سازمان ACGIH اعمال

⁶⁰ - Biological exposure indices

هیچ گونه تغییر یا ضریب تصحیحی را در BEIs توصیه نمی کند، 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 مستندات حدود مجاز شغلی مجاز و شاخص های بیولوژیکی مواجهه که سالانه توسط کمیته دولتی متخصصین بهداشت صنعتی امریکا منتشر می گردد، مراجعه نمود.

مقادیر BEIs جیوه معدنی کل که توسط کمیته بازنگری حدود مجاز و استانداردهای بهداشت حرفه ای پیشنهاد گردیده، در جدول ۱۰ نشان داده شده است. از آنجائی 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 تاثیر گذار باشد وجود داشته باشد، 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 $\mu\text{g/g}$ Creatinine	زمینه
خون	انتهای شیفت در آخر هفته کاری		۱۵ $\mu\text{g/l}$	زمینه

۱۷-۸-۳- پایش های پزشکی

پایش پزشکی، ارزیابی دوره ای کارگران در مواجهه جهت حصول اطمینان از عدم ایجاد هرگونه عوارض جانبی ناشی از مواجهه بالقوه خطرناک در محیط کار می باشد. هدف اصلی از انجام این ارزیابی که در برنامه پایش دوره ای هوا و پایش بیولوژیک کاربرد دارد، حصول اطمینان از کم تر بودن سطوح مواجهه از اثرات سوء بهداشتی مربوطه می باشد. برنامه پایش پزشکی باید به نحوی طراحی شود 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 پزشکی 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 سایر عوارض زیان آور بهداشتی مرتبط با کار باید ارزیابی فوری اقدامات پیشگیرانه اولیه (مانند پایش های بهداشت حرفه ای، کنترل های مهندسی، و تجهیزات حفاظتی شخصی) را به دنبال داشته 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 مسمومیت با جیوه در ابتدا ممکن است بسیار خفیف جلوه کند، لذا زمانی که مجموع علائم مورد توجه قرار گیرد، افزایش احتمالی نشانه‌های 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 سنجش‌ها نمی‌گردد. به منظور شناسایی و کنترل اثرات بهداشتی مرتبط با کار، ارزیابی‌های پزشکی باید (۱) قبل از شروع به کار، (۲) به صورت دوره‌ای در طول مدت اشتغال، و (۳) در زمان انتقال یا فسخ کار انجام گردد. کلیه پایش‌های پزشکی شاغلین در مواجهه باید توسط پزشک متخصص طب کار انجام گردد. به علاوه، تفسیر داده‌ها تنها باید توسط پزشک متخصص طب کار یا پزشک دیگر دارای تجربه در انجام چنین تجزیه و تحلیل‌هایی انجام گردد.

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

قبل از این که کارگری در کاری دارای پتانسیل مواجهه با بخار جیوه به کار گمارده شود، مجوز مراقبتی کارگر بایستی با توجه به ارزیابی مستندات مربوط به وضعیت بهداشتی کارگر از طریق سوابق پزشکی، زیست‌محیطی و شغلی، معاینه فیزیکی و آزمایشات فیزیولوژیک و آزمایشگاهی مناسب برای پیش‌بینی ریسک‌های شغلی شده، از نظر بهداشت حرفه‌ای صادر گردد. این ارزیابی بایستی عملکرد چشم‌ها، پوست، سیستم تنفسی، سیستم عصبی مرکزی و محیطی را به صورت متمرکز شامل گردد. پایش پزشکی جهت بیماری‌های تنفسی بایستی با استفاده از اصول و روش‌های توصیه شده توسط سازمان‌های علمی ذیربط انجام گیرد. هنگامی که کارگر با بخار جیوه پایین‌تر از حدود مجاز شغلی مواجهه دارد، جهت ارزیابی شرایط پزشکی منجر به افزایش یا تشدید ریسک ابتلا، توصیه می‌گردد یک ارزیابی پزشکی اولیه انجام گیرد. در پایش بهداشتی 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 می‌باشد. 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 این که جیوه یک حساس کننده پوست شناخته شده است)

- علائم و نشانه‌های 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 اندام‌های هدف فوق‌الذکر

- 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 یافته‌های معاینات اولیه مقایسه گردد. جهت تأیید لرزش، نمونه‌های دست خط باید با نمونه پایه مقایسه گردد. اگر علائم ذکر شده مربوط به مسمومیت با جیوه تأیید گردید، باید اقدام به انجام ارزیابی‌های موقت نمود.

۱۷-۸-۳-۲- ارزیابی‌های پزشکی دوره‌ای

مصاحبه‌های بهداشت حرفه‌ای و معاینات فیزیکی باید مطابق با استانداردهای منطقه‌ای و محلی در فواصل منظم در طول دوره استخدام انجام شود. در جایی که هیچ استاندارد وجود نداشته و میزان خطر حداقل باشد، ارزیابی باید هر ۳ تا ۵ سال و یا اغلب با توصیه یک پزشک طب کار با تجربه انجام شود. اگر در کارگری علائم مربوط مواجهه با بخار جیوه مشاهده گردد، معاینات اضافی ضرورت خواهد داشت. مصاحبه‌ها، معاینات و آزمایشات غربالگری پزشکی باید با تأکید بر شناخت عوارض جانبی بخار جیوه در چشم‌ها، پوست، سیستم تنفسی، سیستم عصبی مرکزی و محیطی، و یا کلیه‌ها 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 هر گونه تغییر احتمالی مربوط به مسمومیت با جیوه، نتایج معاینات فیزیکی و پرسشنامه‌ای به دست آمده از معاینات دوره‌ای، باید با معاینات اولیه مقایسه گردد. نتایج باید با جزئیات به کارگر منتقل گردد. اگر بر اساس علائم و نتایج حاصل از یافته‌های معاینات فیزیکی و یا تست‌های 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 استثنای متخصصان بهداشت حرفه‌ای، هیچ یک از کارمندان دیگر نایستی به سوابق پزشکی دسترسی داشته باشند.

مطالعات متعددی نشان داده‌اند که برخی از آزمایشات خاص می‌توانند در تشخیص علائم اولیه سمیت جیوه مفید باشند. تست‌های عصبی رفتاری، طراحی شده برای شناسایی تغییرات اولیه در تمرکز، زمان پاسخ، حافظه و هماهنگی دست و چشم، می‌تواند در تشخیص علائم اولیه مواجهه با جیوه در سیستم عصبی در فرد و گروه شاهد مفید باشد. آسیب اولیه کلیوی را می‌توان با وجود پروتئین‌های با وزن مولکولی کم در ادرار تشخیص داد. وجود این پروتئین‌ها در ادرار، آسیب کلیوی را مدت‌ها قبل از این که توسط یک شاخص ادراری معمولی معرف غیرطبیعی بودن تأیید گردد، نشان می‌دهد. بتا-۲-میکروگلوبولین و N-استیل -D-B - گلوکز آمینیداز (NAG) دو پروتئینی هستند که می‌توان در ادرار اندازه‌گیری نمود. انجام این آزمایش در افراد گروه شاهد نیز مفید می‌باشد. این آزمایشات 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- ارزیابی‌های نهائی پزشکی

مصاحبه‌های مربوط به تاریخچه سوابق پزشکی، زیست‌محیطی و شغلی، معاینات فیزیکی، و آزمایشات انتخابی فیزیولوژیک یا آزمایشگاهی که در زمان شروع به کار انجام شده، جهت تعیین وضعیت پزشکی کارگر در زمان انتقال و یا ختم کار نیز بایستی تکرار گردد. هر گونه تغییر در وضعیت سلامت کارگران بایستی با شرایط 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 نشانه‌های مسمومیت تشخیص داده شود و یا سطوح جیوه ادرار و خون آنان به ترتیب از $50 \mu\text{g/gCreatinine}$ و $30 \mu\text{g/l}$ تجاوز کند، را باید از مواجهه با جیوه دور نمود. افرادی که به دلیل بالا بودن سطوح جیوه خون یا ادرار و یا نتایج معاینه فیزیکی دال بر مسمومیت اولیه با جیوه، از کار دور می‌گردند، باید در کار بدون مواجهه گمارده شده و دستمزد، مزایا و مرتبه شغلی آنان حفظ شود. هیچ کارگری به دلیل مواجهه بیش از حد با جیوه نباید مجازات یا اخراج گردد.

این افراد تنها هنگامی باید به کار اصلی خود بازگردند که فاقد علائم مسمومیت با جیوه بوده و سطح جیوه ادرار آنها به کم‌تر از $35 \mu\text{g/gCreatinine}$ کاهش یافته باشد. در صورتی که هیچ‌گونه کار فاقد مواجهه با جیوه در دسترس نباشد، این کارگران می‌توانند با استفاده از ماسک مجهز به تامین هوا هم‌چنان به کار خود ادامه دهند، به شرطی که نتایج پایش بیولوژیکی یا کاهش علائم آنان در طول زمان رضایت بخش باشد.

۱۸- مراجع

۱. الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۳۰۱-۲۰۵۰۲۰۲)، حدود مجاز مواجهه شغلی
۲. الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۹۰۲-۲۰۵۰۲۰۲)، راهنمای کنترل سرب در محیط کار
۳. الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۹۰۱-۲۰۵۰۲۰۲)، راهنمای نحوه صحیح امحاء مواد شیمیایی
۴. الزامات، دستورالعمل‌ها و رهنمودهای تخصصی مرکز سلامت محیط و کار (کد الزامات: ۱-۰۹۰۷-۲۰۵۰۲۰۲)، راهنما و دستورالعمل جامع مواد شیمیایی خطرناک
۵. خاموردی، زهرا. عصاری، محمد جواد. ملکی، کیکاوس. بررسی میزان جیوه ادرار دندان‌پزشکان شهرستان همدان با سابقه کاری بیش از چهار سال. مجله دندان‌پزشکی جامعه اسلامی دندان‌پزشکان، شماره ۱۶ (۸۳) صفحات ۴۸-۴۲.
۶. گلبابائی، فریده. شریعتی، بتول. حسنی طباطبائی، معصومه. بررسی میزان جیوه ادرار دندان‌پزشکان شهر تهران و عوامل مؤثر بر آن. مجله دندان‌پزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران، دوره ۱۹، شماره ۳، ۱۳۸۵.
۷. نقاب، مسعود. کاردانیان، محمدرضا. نوروزی، محمد امین. اثرات بهداشتی مواجهه شغلی با غلظت‌های کم بخارات جیوه توسط کارگران یک واحد کلرآلکالی. فصل‌نامه سلامت کار ایران، دوره ۷، شماره ۱، ۱۳۸۹. صفحات ۳۳-۲۶.
8. 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).
9. 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).
10. 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).

11. 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.
12. IOMC, Global Mercury Assessment, Issued by UNEP Chemicals, Geneva, Switzerland, December 2002.
13. Kales, S. and R. Goldman. "Mercury Exposure: Current Concepts, Controversies, and a Clinic's Experience". *J. Occupational Environmental Medicine*. 2002; 44.2: 143-154.
14. 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.
15. Mason, H., P. Hindell, and N. Williams. "Biological Monitoring and Exposure to Mercury". *Occupational Medicine (Lond.)*. 2001; 51.1: 2-11.
16. NIOSH, Analytical Methods Manual. METHOD 6009, Issue 2, dated 15 August 1994.
17. OSHA. 2007. Mercury: OSHA Standards. US Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration.
18. Patty's Toxicology, Bingham, E., Cohns, B. and Powell, H. C. (Eds). 5th edition, New York: John Wiley & Sons, inc. 2000.
19. 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.
20. WHO. 2000. Air Quality Guidelines for Europe, 2nd ed. World Health Organization. Regional Publications, European Series No.91. Copenhagen (Denmark).
21. WHO. 1996. Biological Monitoring of Chemical Exposure in the Workplace Guidelines, World Health Organization. Geneva.
22. 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.

راهنمای کنترل مواجهه با بخار جیوه در محیط کار

اقدام در جهت پیدا کردن یک جایگزین برای جیوه

آیا واقعا نیازی به استفاده از جیوه وجود دارد؟ آیا می‌توان میزان استفاده از جیوه را کاهش داد؟ آیا به جای جیوه فلزی، می‌توان از ترکیبات جیوه استفاده نمود؟ آیا می‌توان به جای جیوه، از فلز یا آلیاژ دیگری استفاده کرد؟ آیا می‌توان ابزار و تجهیزات حاوی جیوه را حذف و یا ابزار و تجهیزات فاقد جیوه را جایگزین آن‌ها نمود؟ جایگزینی، سبب حذف کامل جیوه به عنوان یک آلاینده قدیمی از محیط کار می‌گردد. با این حال، بایستی از امکان استفاده ایمن از هر نوع روش یا ابزار جایگزین نیز اطمینان حاصل گردد. در جدول زیر، جایگزین‌های مناسب با توجه به کاربردهای مختلف جیوه ارائه شده است:

جایگزین	مورد
کنترل گره‌های فشار فاقد جیوه یا الکترونیکی	کنترل گره‌های فشار جیوه‌ای
فشارسنج‌های فاقد جیوه یا الکترونیکی، کنترل گره‌های فشار آنالوگ (یا خلاء)	فشارسنج‌ها، وسایل اندازه‌گیری فشار
سوئیچ‌های فاقد جیوه، رله‌ها و تجهیزات گازی با جرقه‌زن الکترونیکی، سوئیچ‌های مکانیکی	سوئیچ‌ها و رله‌ها
الکل و روغن‌های معدنی، دیجیتال	دماسنج‌ها
حس گره‌های شعله‌ای الکترونیکی، جرقه‌زن الکترونیکی	پروپ‌های ترموستات
کنترل توسط هوا، سوئیچ‌های بادی، دیافراگم‌های پرفشار، سوئیچ‌های ضربه‌ای و قابل برنامه‌ریزی	ترموستات‌ها
باتری‌های قلیائی، وسایل الکترونیکی	باتری‌ها
استفاده از جایگزین‌های فاقد جیوه (به طور مثال استفاده از روی-فرمالین به جای کلرید جیوه)	حلال‌ها و محلول‌ها
کامپوزیت، شیشه، پوشش فلز-سرامیک، آلیاژهای طلا و گالیوم	آمالگام دندان
رنگ‌های فاقد جیوه	رنگ (مانند قرمز شنجراف کادمیوم، رنگ شنجراف واقعی) و لعاب‌ها
رنگدانه‌های گیاهی	رنگدانه
تراشه‌های سدر، روغن اوکالیپتوس	سم بید
الکل یا پراکسید هیدروژن	مواد ضد عفونی کننده موضعی حاوی مرکورکروم
محلول‌های فاقد جیوه	محلول‌های حاوی فنیل مرکوریک استات، فنیل مرکوریک نیترات

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 برنامه‌های آموزشی
- امکان دسترسی کارگران به اطلاعات مواجهه و پرونده‌های پزشکی خود

شناسایی خطر

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

انجام اقدامات کنترلی

- پیش‌بینی برنامه‌های کنترلی کوتاه‌مدت و بلندمدت
- انتشار کتابچه راهنمای ایمنی و بهداشت در خصوص مقررات و انجام کار به روش ایمن
- نضارت 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 شیوه‌های آموزش کار

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

- دائمی
- اداری و دفتری
- موقت
- انباردارها
- نظافتچی‌ها
- حمل و نقل
- تعمیر و نگهداری
- پیمانکاران
- تحقیق و توسعه
- دانشجویان و کارآموزان
- رانندگان جرثقیل، لودر و کامیون
- بازدیدکنندگان و مشتریان
- سرپرستان و مدیران

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 موقعیت‌های کاری مانند: دفاتر کار، فرآیندها، طبقات، ماشین آلات، ایستگاه‌های کاری دائم یا موقت، اضافه کاری، شیفت‌های کاری اضطراری و فعالیت‌های معمولی و غیر معمولی مانند:

- خرابی‌ها
- تغییرات در حجم تولید
- کمبود کارکنان
- کارهای آزمایشی
- تغییرات پرسنلی
- 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 دستکش‌ها، لباس، کفش‌ها، عینک و سایر ملزومات شخصی
- آلودگی پوستی به هنگام پوشیدن و بیرون آوردن دستکش‌ها، لباس و کفش‌ها
- 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 دستکش‌ها به هنگام تبخیر خصوصاً در منطقه تنفسی
- آلودگی سطوح کار، کف به هنگام تبخیر
- دمای محیط کار بالاتر از 68°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 اتومبیل‌های 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
- تشخیص حضور جیوه در سطوح 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 سیستم‌های تهویه

تهویه

قدم سوم: مشاهده شاغلین در محیط کار و انجام مصاحبه جهت پیدا کردن روش‌های 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 20°C (68°F)

- خرید جیوه به اندازه نیاز در ظروفی با اندازه متناسب با سیستم‌های مربوطه

- انتقال و ذخیره‌سازی اقلام حاوی جیوه در ظروف در بسته

- تنظیم هشداردهنده‌ها یا پایشگرهای مداوم در $1/2$ حد آستانه مجاز

- استفاده از سطوح کارصاف، نفوذناپذیر (فولاد ضد زنگ) با یک شیب در امتداد سطح کار منتهی به یک بطری جمع‌آوری 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 پایه‌های 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 شیوه‌های مدون اجرای کار به روش‌های استاندارد
- آموزش شغلی
- روش‌های پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه
- استفاده از تهویه موضعی
- استفاده از تهویه رقتی
- استفاده مناسب از روش‌ها و تجهیزات نظافتی
- نظافت روزانه کف‌ها، سطوح کار و تمام نقاط در تماس با دست (ابزار، دستگیره در، رویه میز)
- پاک کردن سریع ریخت‌وپاش
- مکش منظم جیوه با مکنده ویژه
- اجتناب از پاک کردن با جاروی خشک
- عدم استفاده از هوای فشرده برای تمیز کردن
- عدم استفاده از پمپ‌های خلاء
- عدم دستمالی و استفاده مجدد و همچنین اجتناب از قرار دادن نظیف و حوله کاغذی مورد استفاده جهت تمیز کردن در جیب و نیز عدم خشک نمودن بر روی بخاری
- محافظت از چشم و صورت توسط چشم‌شوی و بدن‌شوی اضطراری
- تعویض روزانه لباس و دستکش تجهیزات حفاظت تنفسی و شیوه‌های 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 کفش‌ها، شانه، کیف، حلقه، ساعت و ملزومات شخصی مانند کیف پول) در منطقه کاری

- امکانات و شیوه‌های شست‌وشوی دست‌ها و بدن:

- تمیز نگه داشتن سرویس‌های بهداشتی
- فراهم نمودن صابون، حوله یک‌بار مصرف، برس ناخن، و آب گرم
- فراهم نمودن تسهیلات اضافی شست‌وشوی 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، نوشیدنی‌ها، سیگار، آدامس، و غیره
- اجتناب از خوردن، آشامیدن و سیگار کشیدن در محیط کار
- حصول اطمینان از این‌که شاغلین قبل از غذا خوردن، نوشیدن و استعمال دخانیات، دست و صورت را می‌شویند.
- پاک‌سازی 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 کنترل‌های اضافی با استفاده از روش‌های کنترلی قدم سوم

فرایندهای کار با جیوه زیاد بوده و محدوده کنترل موثر آن‌ها نیز به همان اندازه گسترده است. با این حال، استفاده از کنترل‌های احتمالی شرح 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. ماسک‌های تنفسی و سایر تجهیزات حفاظتی فردی تنها زمانی که دیگر کنترل‌ها کافی نباشند، باید استفاده شود.

روش‌های کنترل به ترتیب الویت عبارت است از:

- جایگزینی با یک ماده شیمیایی ایمن‌تر
- جایگزینی با یک فرایند ایمن‌تر
- مکانیزه نمودن فرایندها
- جداسازی فرایند
- محصور نمودن عملیات
- استفاده از تهویه موضعی
- استفاده از تهویه عمومی
- استفاده از ماسک‌های 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 روش‌ها به روشنی بررسی گردد.

قدم ششم: حصول اطمینان از مطابقت با استانداردهای موجود

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

قدم هفتم: اختصاص بودجه برای کنترل و اجرای تغییرات

قدم هشتم: بررسی اثربخشی کنترل

- بازبینی قدم‌های دوم و سوم
- انجام نمونه‌برداری فردی از تمامی پرسنل شیفت‌ها 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 اتومیل و خانه‌های شاغلین، در صورت لزوم

برای کسب اطلاعات بیشتر در این خصوص می‌توان به بخش‌های حدود مجاز مواجهه جیوه در هوا و روش‌های پایش بهداشت صنعتی جیوه مراجعه گردد.

قدم نهم: بازبینی قدم‌های اول تا هشتم

در صورت تغییر کارخانه، فرایند، عملیات، روش‌های کنترل یا مواد، افزایش اثرات زیان‌آور یا نتایج پایش بیولوژیکی گزارش شده، قدم‌های اول تا هشتم بایستی بازبینی شود. این کار به معنی تکرار ارزیابی کل فرایند نمی‌باشد، بلکه هدف از این مرور، حصول اطمینان از مناسب و کافی بودن ارزیابی موجود است. اگر چنین باشد، به انجام اقدامات بیش‌تری نیاز نمی‌باشد. اگر نتایج حاکی از عدم اعتبار ارزیابی موجود باشد، فقط آن بخش‌هایی که با ارزیابی جدید مغایرت دارند، لازم است که به روز گردد.

دستورالعمل پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه عنصری

ریخت‌وپاش جزئی، ریخت‌وپاشی است که تمامی معیارهای زیر را داشته باشد:

- ماهیت و خطر بالقوه ماده شناخته شده باشد.
 - نتایج حادثه هیچ‌گونه صدمه‌ای به انسان و یا آسیبی به تجهیزات وارد نکند.
 - این نوع انتشار، هیچ‌گونه تهدید واقعی یا بالقوه‌ای برای سلامت انسان، محیط زیست، یا اموال نداشته باشد.
- هر گونه ریخت‌وپاشی که از معیارهای فوق تجاوز کند، ریخت‌وپاش وسیع قلمداد می‌گردد. برای ریخت‌وپاش‌های وسیع، جهت دریافت خدمات پاسخ اضطراری بلافاصله بایستی با واحد HSE تماس گرفته شود.
- دستورالعمل‌های زیر بایستی در هنگام پاک‌سازی نشت جیوه اعمال گردد:
- استفاده از تجهیزات حفاظت فردی و پوشش حفاظتی کارآمد، جهت جلوگیری از ورود قطرات جیوه به لباس و پوست افراد (ضمیمه ۳). این تجهیزات دستکش‌های پلاستیکی یا لاستیکی، پوشش‌های محافظ پا (زمانی که جیوه کف زمین ریخته شده باشد) و استفاده از پوشش‌های محافظ تکمیلی، زمانی که در مناسب بودن پوشش تردیدی وجود داشته باشد را شامل می‌گردد. کلیه تجهیزات و پوشش‌های حفاظتی باید برای استفاده جهت جیوه طراحی شده باشند. هرگز از دستکش‌های نازک یک‌بار مصرف استفاده نگردد، زیرا پاره شده و جیوه به زیر ناخن وارد می‌گردد.
 - در صورت نیاز از محافظ تنفسی استفاده گردد. در پایان عملیات، رنگ کارتریج به عنوان یک شاخص با کارتریج‌های سایر افراد مقایسه شده و در صورت تغییر رنگ تعویض گردد. فقط از کارتریج‌های تنفسی مختص جیوه استفاده گردد. از کشیده شدن لوله‌های خرطومی عبور هوا محافظ تنفسی مراقبت گردد. قبل از انتقال تجهیزات به محل نگهداری، جهت اطمینان از عدم آلودگی، لوله‌های خرطومی و تجهیزات با استفاده از پایشگر بخار جیوه بررسی گردد.
 - قرار دادن صفحات پلاستیکی روی سطوح، جهت جمع‌آوری قطرات جیوه ریخت و پاش شده در حین پاک‌سازی. لبه‌های این صفحات باید به طرف داخل برگشته باشد. **توجه:** صفحات پلاستیکی و دیگر اقلام پاک‌سازی، باید مطابق با دستورالعمل زباله‌های خطرناک آلوده به جیوه دفع گردد.

- هنگام پاک‌سازی ریخت‌وپاش، هر گونه گردوغبار و یا روغن آلوده شده با جیوه را باید دفع نمود. برای حذف روغن و لکه‌های سیاه، از مواد شوینده یا حلال، و برای حذف گردوغبار باید از مکنده استفاده نمود. کلیه مراحل پاک‌سازی ریخت‌وپاش، بایستی مبتنی بر روش‌های کنترلی مناسب باشد.
- پارچه مورد استفاده فقط یک‌بار در محلول پاک‌سازی فرو برده شود. هرگز کهنه کثیف در محلول پاک‌سازی فرو برده نشود، زیرا تمام محلول موجود در ظرف آلوده خواهد شد. میزان مواد آلوده به جیوه تولید شده در هنگام پاک‌سازی را بایستی به حداقل رساند، زیرا دفع زباله‌های مایع آلوده به جیوه پرهزینه می‌باشد. مواد پاک‌سازی شده باید مطابق موازین زباله‌های خطرناک دفع گردد.
- برای پاک‌سازی کاربردی هرگونه ریخت‌وپاش 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 نازل‌های 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 می‌زند. 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 پاک‌سازی تمام دستگاه‌ها، تجهیزات و امکانات پس از هر بار استفاده، یا دفع به صورت زباله‌های خطرناک، و مطلع نمودن واحد HSE از هرگونه موارد مشکوک به دام افتادن جیوه
- استفاده از مکنده ویژه طراحی و اختصاص داده شده برای پاک‌سازی ریخت‌وپاش وسیع جیوه. بررسی خروجی مکنده با پیشگر بخار جیوه قبل و بعد از خارج نمودن جیوه داخل مکنده پس از هر بار استفاده. جیوه باقی‌مانده می‌تواند جاذب جیوه را خراب کند.
- عدم استفاده از جاروبرقی معمولی یا مکنده‌های هپا برای تمیز کردن جیوه ریخت‌وپاش 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 زباله‌های خطرناک دفع گردد.
- استفاده از مکنده ویژه برای حذف بخارات جیوه در نزدیکی سطوح، به خصوص پس از حذف جیوه مایع از سطوح.

- تماس با واحد HSE برای دریافت کمک در عملیات پاک‌سازی یا تعیین بسته‌بندی مناسب مورد نیاز برای اقلام بزرگی که ممکن است با جیوه آلوده شده باشند.
- قرار دادن پارچه استفاده شده، مواد پاک‌سازی، پوشش‌های محافظ و پوشش‌های آلوده به جیوه در کیسه‌های پلاستیکی. شکستن دسته‌ها و سایر ابزار بزرگ قبل از قرار دادن آن‌ها در کیسه. فشردن کیسه به آرامی جهت خارج نمودن هوای اضافی، قرار دادن کیسه‌های مهر و موم شده در درام‌های مخصوص و چسباندن برچسب زباله‌های خطرناک به درام بعد از پر شدن کامل. تماس با واحد HSE یا دفتر مهندسی ایمنی جهت راهنمایی یا کمک در تکمیل فرم برچسب زباله و انتقال درام به منطقه تعیین شده جهت دفع زباله.
- بررسی عملیات تصفیه، قبل از برداشتن هرگونه موانع دسترسی توسط تیم مربوطه. مادامی که بررسی تکمیل نشده، منطقه نشت نباید به استفاده معمولی بازگردد.
- مطلع نمودن واحد HSE در صورت ورود آب آلوده به جیوه به پس‌آب، مخزن نگهداری و فاضلاب بهداشتی، جهت اتخاذ اقدام مناسب.

تجهیزات حفاظتی مورد استفاده جهت پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه

نوع وسیله حفاظتی	توضیحات
دستکش‌های غیر قابل نفوذ	دست راست و چپ (اندازه‌ها: متوسط و بزرگ)
پوشش‌های کفش، یک‌بار مصرف	استاندارد
نیم‌چکمه، کفه سخت	استاندارد
پیش‌بند، آزمایشگاهی	کار سنگین
پیش‌بند، آزمایشگاهی	کار سبک
لباس کار یک‌بار مصرف بدون هود	(اندازه‌ها: کوچک، متوسط و بزرگ)
لباس کار یک‌بار مصرف با هود	(اندازه‌ها: کوچک، متوسط و بزرگ)
محافظ تنفسی، کارتریج ^a	
محافظ تنفسی، راه هوایی ^b	
تذکرات:	
<p>a- استفاده از این محافظ تنفسی باید توسط متخصصین بهداشت صنعتی تأیید 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.</p>	
<p>b- قبل از انتقال تجهیزات به محل نگهداری تأیید شده، ، لوله‌های خرطومی و تجهیزات از نظر آلودگی به جیوه پایش گردد.</p>	

کاربرگ جمع آوری اطلاعات مربوط به کار با جیوه فلزی

محل / ساختمان / طبقه / بخش:

عملیات / فرایند / ماشین آلات / ایستگاه‌های کار:

بررسی مقدماتی نحوه استفاده از جیوه در محل و عملیات:

ساعات شیفت‌های کاری که از جیوه استفاده می‌شود:

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:

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

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

وظایف شغلی با مواجهه بالقوه

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

کاربرگ جمع آوری اطلاعات مربوط به روش‌های کنترلی جیوه فلزی

کنترل‌های حفاظتی هر یک از راه‌های تماس			تعداد عناوین شغلی و شرح وظایف
پاشش	جذب پوستی	استنشاق	
			مثال- ۱.۱
			مثال- ۱.۲

چک‌لیست روش‌های مدون توصیه شده

- برنامه مدون خطر جابه‌جائی
- برنامه مدون ماسک‌های تنفسی
- تأییدیه مدون انجام ارزیابی خطر در محیط کار جهت تعیین خطراتی که نیاز به استفاده از تجهیزات حفاظت فردی دارند،
- روش‌های مدون پاک‌سازی ریخت‌وپاش جیوه
- ارزیابی مدون کنترل مواجهه با جیوه
- روش‌های مدون کنترل جابه‌جائی جیوه
- روش‌های مدون پایش پزشکی

روش‌های پایش جیوه در هوای محیط کار

روش‌های قرائت مستقیم						
نام وسیله	مدل	کمپانی	اساس کار	محدوده غلظت	مزایا	معایب
بخار جیوه Sniffer فقط مخصوص بخار جیوه	MV-2	Bacharach Inc.	فتمتری ماوراء بنفش	$0.02-0.1 \text{ mg.m}^{-3}$ حساسیت: $< 0.1 \text{ mg.m}^{-3}$ سرعت پاسخ‌دهی: 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، هیدروکربن‌های هالوژنه و ذرات، باعث جذب اشعه ماوراء بنفش دستگاه در فرکانس مربوطه می‌شوند.
دوزیمر حلقه طلا فقط مخصوص بخار جیوه	X-412	Arizona Inst.	جمع‌آوری بخار جیوه بر روی لایه نازک طلا و واجذب پس از اتصال به پایشگر Jerome	محدوده: متغیر حساسیت: $> 0.5 \times 10^{-9} \text{ g}$ ظرفیت: $< 1000 \times 10^{-9} \text{ g}$ صحت: $\pm 15\% @ \text{mg.m}^{-3}$ ۰/۱۰۷	- تهیه TWA ۸ ساعته مواجهه فردی - نتایج سریع در تجزیه خانگی - مقرون به صرفه - قابلیت استفاده مجدد - وزن: ۵-۱۱ 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	$0.000-0.999 \text{ mg.m}^{-3} \text{ Hg}$ حساسیت 0.003 mg.m^{-3}	- پرتابل: وزن ۶ lb - عمر باتری: ۴ h - صحت: $\pm 15\% \text{ Hg}$ 0.100 mg.m^{-3} - بسته کامل پایشگر شامل پایه، پردازشگر اطلاعات، دزیمر فردی با حلقه طلا و قابلیت استفاده مجدد (این دوزیمر جهت ارزیابی مواجهه فردی TWA نیاز به یک پمپ و یک پایشگر 431-X Jerome دارد). - اختصاصی برای جیوه، - عدم تداخل ذرات، هیدروکربن‌ها و میدان‌های مغناطیسی	تعیین صفر دستگاه در آلودگی‌های شدید اتمسفری، نیازمند خروج از منطقه آلوده برای چند دقیقه می‌باشد.
لوله آشکارساز MSA و پمپ بیستونی فقط مخصوص بخار جیوه	497663	Mine Safety Appliances Co.	واکنش جیوه با یدید مس	$0.1-0.8 \text{ mg.m}^{-3}$	- سهولت کاربرد - محدوده کارائی در دمای $120-300^{\circ}\text{F}$ و رطوبت نسبی ۹۰-۱۰٪ - کم‌هزینه - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: $\pm 25\%$ - نیاز به ۳۰-۲۰ S جهت هر مرتبه مکش پمپ - نیاز به ۲۰ مرتبه مکش پمپ

روش‌های قرائت مستقیم (ادامه)

نام وسیله	مدل	کمپانی	اساس کار	محدوده غلظت	مزایا	معایب
لوله آشکارساز Draeger و پمپ پیستونی فقط مخصوص بخار جیوه	CH 23101	National Draeger Inc.	واکنش جیوه با یدید مس	$0.05-2 \text{ mg.m}^{-3}$ ۱-۴۰ مرتبه مکش پمپ، حداکثر زمان ۱۲ min	- سهولت کاربرد - کم هزینه - دسترسی سریع به نتایج - عدم تداخل فسفین، سولفید هیدروژن، آمونیاک، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و هیدرازین در محدوده TLV	- محدودیت صحت: $\pm 30\%$ - تاثیر کلر و سایر هالوژن‌های آزاد در کاهش مقادیر قرائت شده - نیاز به ۴۰ مرتبه مکش پمپ
لوله آشکارساز و Sensidyne پمپ پیستونی فقط مخصوص بخار جیوه	40	Sensidyne	واکنش جیوه با یدید مس برای تشکیل کمپلکس Cu-Hg	$0.025-6 \text{ mg.m}^{-3}$ (با ۱ مرتبه مکش پمپ) $0.05-0.25 \text{ mg.m}^{-3}$ (با ۵ مرتبه مکش پمپ) $6-13/2 \text{ mg.m}^{-3}$ (با ۱/۲ مرتبه مکش پمپ)	- سهولت کاربرد - کم هزینه - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: $\pm 25\%$ - افزایش محدودیت در حضور سولفید هیدروژن، دی‌اکسید نیتروژن و کلر
نمونه‌بردار پسیو- Chromair فقط مخصوص بخار جیوه	380018-10	K & M Gillian	در انحصار سازنده	$0.15-1/4 \text{ mg.m}^{-3}$ برای حداقل ۸ h غلظت قابل تشخیص 0.15 mg.m^{-3} محدوده رطوبت نسبی ۸۵- ۲۵٪	- سهولت کاربرد - کم هزینه - مقرون به صرفه جهت غربال‌گری - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: $\pm 20\%$ - تداخل با کلر و برم - نیاز به نگهداری در یخچال با دمای 4°C
نمونه‌بردار پسیو- Safeair فقط مخصوص بخار جیوه	382005	K & M Gillian	در انحصار سازنده	$0.1-0.2 \text{ mg.m}^{-3}$ برای حداقل ۸ h حافل غلظت قابل تشخیص $0.013-0.03 \text{ mg.m}^{-3}$	- سهولت کاربرد - عدم تداخل در فیلترهای غربال‌گر - نمونه‌بردار پسیو دو تائی در حد آستانه - افزایش حساسیت - دسترسی سریع به نتایج	- محدودیت صحت: $\pm 20\%$ - تداخل با کلر و برم و اکسیدکننده‌های قوی - نیاز به نگهداری در یخچال با دمای 4°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	$0.005 - 0.20 \text{ mg.m}^{-3} \text{ Hg}$	- 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	$0.005 - 0.20 \text{ mg.m}^{-3} (\text{h})$	- 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 جاذب اتمی بخار سرد	محدوده اعتبار: $0.061 - 0.20 \text{ mg.m}^{-3}$	- پایداری زیاد ناشی از تمایل غیر قابل 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

روش‌های مستلزم تجزیه (۱۵امه)

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	ml/min -۰/۲۵ ۰/۱۵	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 پسو) برای بخار و جیوه متصل به ذرات کل (نمونه برداری فعال)	جاذب سطحی هیدرار یا هاپکالایت قابل انجام با استفاده پمپ (نمونه برداری فعال) یا دوزیمتر پسو (نمونه برداری پسو)	۴/۸-۹/۶ L (نمونه برداری پسو) ۳-۱۰۰ L (نمونه برداری فعال)	ml/min ۰/۲۰ (نمونه برداری پسو) ml/min ۰/۲۰ (نمونه برداری فعال)	جذب اتمی بخار سرد	۰/۱-۲ µg در نمونه	- حساسیت مناسب - عدم نیاز دوزیمتر پسو به پمپ نمونه برداری - قابلیت استفاده مجدد دوزیمتر - عدم تداخل ناشی از کلر موجود در هوا	- عدم جمع آوری جیوه متصل به ذرات توسط دوزیمتر پسو - وابستگی دبی نمونه برداری به سرعت خطی، عدم کارایی در مناطقی با سرعت جریان هوا < ۲۲۹ m/min (۷۵۰ ft/min) - وابستگی نمونه برداری فعال به پمپ نمونه برداری کالیبره - عدم توانایی تشخیص بخار جیوه از جیوه متصل به ذرات

روش های مستلزم تجزیه (ادامه)

روش	وسیله نمونه بردار ی	حداقل و حداکثر حجم نمونه برداری	دبی جریان	روش تجزیه	محدوده نمونه	مزایا	معایب
OSHA - ID-140 بازنگری شده در دسامبر ۸۹ فقط مخصوص جیوه متصل به ذرات	فیلتر استرسلولزی مخلوط (MCA) μ ۰/۸	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 μ g 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) μ ۰/۸	- عدم جمع آوری بخار جیوه در صورت استفاده از فیلتر استرسلولزی مخلوط (MCA) μ ۰/۸ - 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.