

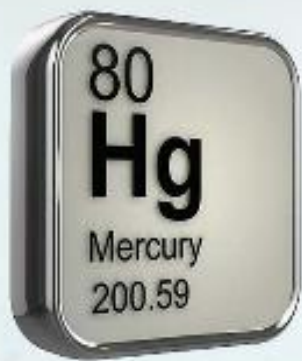
جمهوری اسلامی ایران
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی



دانشگاه علوم پزشکی
وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی



اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست
راه های پیشگیری و کنترل آن در محیط



صلاة الاضلاع



اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست و راه های پیشگیری و کنترل آن در محیط

تهیه و تنظیم :

مهندس سونیا چاوشی

(دانشجوی دکتری تخصصی بهداشت محیط)

دکتر محمدخزایی

(عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی همدان)

با همکاری :

دکتر احمد جنیدی جعفری

مهندس فریبا ملک احمدی

مهندس سمیرا شیخ الاسلامی

مهندس طیبه الهی

زمستان ۱۴۰۰

عنوان و پدیدآورنده: اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست و راه های پیشگیری و کنترل آن در محیط، مهندس سونیا چاوشی، دکتر محمدخزایی، دکتر احمد جنیدی جعفری، مهندس فریبا ملک احمدی، مهندس سمیرا شیخ الاسلامی، مهندس طیبه الهی

مشخصات نشر: تهران، دانشگاه علوم پزشکی تهران، پژوهشکده محیط زیست، ۱۴۰۰

مشخصات ظاهری: ۲۱۹ صفحه

موضوع: سلامت انسان و محیط زیست

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۶۲۷۶-۹۶-۲

Effects of mercury and its compounds on human health and the environment and ways to prevent and control it in the environment. (ISBN:978-622-6276-96-2)

پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۴۰۰

فهرست

۷	پیشگفتار
۸	مقدمه
۱۰	اهداف
۱۱	اصطلاحات و تعاریف
۱۳	فصل اول: در محیط
۱۴	شیمی جیوه
۱۶	سم شناسی جیوه
۲۴	چرخه جهانی جیوه
۲۶	جیوه در محیط های کاری
۳۴	فصل دوم: فرآیندهای اتمسفریک
۳۵	انتشارات جیوه: زمینه جهانی
۴۴	منابع انسانی قدیمی(انتشار مجدد جیوه در اتمسفر)
۴۶	انتقال و تحولات جوی(دگرگونی و جابجایی جیوه)
۵۰	فصل سوم: جیوه در محیط های آبی و خاکی
۵۱	جیوه در خاک
۶۴	جذب جیوه توسط حیوان و گیاه
۷۲	جیوه در اکوسیستم آب های تازه
۷۶	فصل چهارم: جیوه در محیط های دریایی
۷۸	فصل پنجم: نمونه برداری و متدهای آنالیز جیوه
۷۹	نمونه برداری جیوه
۷۹	نمونه های محیطی
۷۹	روش نمونه برداری جیوه در گیاهان
۸۰	روش نمونه برداری جیوه در آب
۸۰	روش نمونه برداری جیوه در رسوبات و خاک
۸۱	روش نمونه برداری جیوه در اتمسفر
۸۲	نمونه های انسانی
۸۴	روش اندازه گیری و آنالیز جیوه در نمونه ها
۸۶	تکنیک های اندازه گیری گونه های جیوه در هوا
۸۷	پایش بیولوژیک
۹۳	فصل ششم: کاهش و جلوگیری از تولید پسماند
۹۴	کاهش و جلوگیری از تولید پسماند در فرآیندهای صنعتی
۱۰۴	کاهش و جلوگیری از تولید پسماند در محصولات با جیوه افزوده شده
۱۰۶	افزایش مسئولیت و پاسخگویی تولید کننده
۱۰۷	فصل هفتم: مدیریت پسماندهای جیوه

۱۰۸	برنامه ریزی مدیریت پسماندهای جیوه
۱۱۰	ذخیره سازی موقت پسماند جیوه در مراکز
۱۱۷	بسته بندی ، برجسب گذاری و حمل و نقل پسماندهای حاوی جیوه به خارج از مراکز
۱۱۷	بسته بندی
۱۱۹	حمل و نقل پسماند جیوه به خارج از مراکز
۱۲۰	ذخیره سازی پسماند جیوه در یک سایت مرکزی واسط
۱۲۲	روش های دفع صحیح زیست محیطی
۱۳۳	فصل هشتم : روش های کاهش رهاسازی جیوه از فرآیندهای تصفیه حرارتی و دفع پسماند
۱۳۴	کاهش رهاسازی جیوه از فرآیندهای تصفیه حرارتی پسماند
۱۳۶	کاهش رهاسازی جیوه از لند فیل
۱۳۷	فصل نهم : روش های پاکسازی سایت ها آلوده
۱۳۸	تعریف سایت های آلوده و اقدامات لازم در شرایط اضطراری
۱۳۸	پاکسازی صحیح زیست محیطی سایت های آلوده
۱۴۰	فصل دهم: معرفی جایگزین های جیوه در مصارف مختلف
۱۴۱	مصارف مهم صنعتی
۱۵۱	مصارف مهم پزشکی و بهداشت
۱۵۶	فصل یازدهم: بهداشت و ایمنی
۱۵۷	پلان پاسخگویی به شرایط اضطراری
۱۶۱	ملاحظات ویژه در خصوص نشت جیوه عنصری
۱۶۸	فصل دوازدهم : سمیت و مخاطرات جیوه برای انسان
۱۷۲	تاثیر جیوه بر سلامتی
۱۷۳	درمان مسمومیت با جیوه
۱۷۴	کینتیک و متابولیسم جیوه
۱۷۶	فصل سیزدهم: روش های ارزیابی ریسک جیوه
۱۷۸	شناسایی خطر
۱۷۸	ارزیابی مواجهه
۱۸۲	ارزیابی ریسک جیوه در انسان
۱۸۵	فصل چهاردهم: راه های جلوگیری از انتشار جیوه در محیط و کاهش تماس انسان
۱۸۶	محدود کردن مقدار جیوه از منابع خاص که جیوه به هوا منتقل می شود
۱۸۸	محدود کردن مقدار جیوه از منابع خاص که جیوه به آب منتقل می شود
۱۸۹	دفع زباله های حاوی جیوه
۱۹۰	فصل پانزدهم: ارائه مدل ثبت اطلاعات زیست محیطی و شغلی مرتبط با جیوه
۱۹۷	فصل شانزدهم: معرفی کنوانسیون میناماتا
۲۰۵	منابع:
۲۰۷	پیوست

پیشگفتار

یکی از برنامه های مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی تدوین و انتشار رهنمودهای مربوط به حوزه ها و زمینه های مختلف بهداشت محیط و حرفه ای و سایر موضوعات مرتبط است که با بهره گیری از توان علمی و تجربی کارشناسان، متخصصین و صاحب نظران متعددی از سراسر کشور، انجام شده است. جیوه از جمله عناصر فلزی است که کاربرد وسیعی دارد و به علت اثرات سمی شناخته شده در انسان و همچنین تجمع زیستی آن در زنجیره غذایی، از آلاینده های پرخطر شغلی و زیست محیطی به شمار می رود. بر همین اساس سازمان ملل متحد با حضور نمایندگان از ۱۳۹ کشور جهان؛ کنوانسیون منع استفاده از جیوه میناماتا را تصویب نمود. کشور جمهوری اسلامی ایران نیز با توجه به عضویت در این کنوانسیون و پذیرش آن، ملزم به انجام تعهدات مربوطه در خصوص حذف تدریجی جیوه گردید. به منظور نیل به اهداف این کنوانسیون در گام نخست به شناخت صحیح و کاملی از منابع جیوه موجود در محیط (اتمسفیر، خاک و اقیانوس ها)، وضعیت بکارگیری جیوه در صنعت و به دنبال ضایعات آن در پسماندهای صنعتی و پزشکی و سپس تبیین روش های جایگزین و یا برنامه ریزی جهت کاهش مصرف آن اقدام نمود.

در راستای حصول به اهداف فوق و همچنین ارتقاء سطح آگاهی کلیه کارشناسان بهداشت محیط و حرفه ای، شاغلین صنایع مرتبط، پزشکان و کادر درمان، سیاستگذاران سیستم های بهداشتی درمانی و دوستداران محیط زیست، راهنمای حاضر تحت عنوان «اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست و راه های پیشگیری و کنترل آن در محیط» تهیه و منتشر گردید. به منظور دسترسی بیشتر کاربران، این راهنما بر روی تارگه های وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی (وبدا)، معاونت بهداشتی، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران و مرکز سلامت محیط و کار قرار می گیرد. در انتها وظیفه خود می دانم از زحمات کلیه دست اندرکاران تهیه و تدوین این راهنما صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و بدینوسیله از کلیه متخصصین، کارشناسان و صاحب نظران ارجمند دعوت می شود تا با ارائه نظرات و پیشنهادات خود این مرکز را در تکمیل این راهنما و همچنین تدوین راهنما در رابطه با دیگر مواجعات آسیب رسان شغلی یاری نمایند.

دکتر احمد جنیدی جعفری

رییس مرکز سلامت محیط و کار

مقدمه

در بین انواع و اقسام فلزات سنگینی جیوه سمی ترین عنصر رها شده به محیط زیست است و با توجه به اثرات سوء و خطرناک جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست در دنیا به ویژه کشورهای توسعه یافته اقدامات مفید و موثری برای کنترل آن وجود دارد. شورای حکام برنامه محیط زیست ملل متحد و سازمان جهانی بهداشت طرح های مختلفی را برای حذف یا کاهش استفاده از جیوه ارائه داده اند. جیوه به علت پایداری در محیط زیست و تجمع زیستی در زنجیره غذایی، از خطرناک ترین آلاینده های زیست محیطی 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 (EPA) در فهرست III آلاینده های خطرناک هوا (HAPs) قرار گرفته است. این سازمان همچنین در سال ۲۰۰۵ قانون هوای پاک جیوه را صادر کرد، تا بدینوسیله با ایجاد استانداردهای عملکردی، با کنترل انتشار جیوه، به تصفیه پایدار آن کمک کند. برنامه زیست محیطی سازمان ملل (UNEP) نیز تلاش فوق العاده ای در شناسایی و کمی سازی آلودگی جیوه در سراسر جهان انجام داده، و با استقرار برنامه جیوه، به کاهش ریسک مواجهه کمک کرده است. این ترکیب در دمای اتاق شکل مایع یا بخار دارد، اما بسته به تغییرات دما و فشار، ممکن است در حالات فیزیکی و اشکال شیمیایی مختلفی وجود داشته باشد. از لحاظ فیزیکی، گونه های جیوه گازی بر ترکیبات ذره ای موجود در هوا غلبه دارد. جیوه گازی به سه دسته گروه بندی شده است: جیوه عنصری، جیوه غیرآلی و جیوه آلی. با توجه به گرایش جیوه به انجام تعامل بیولوژیکی، به طور کلی پیش بینی تغییرات غلظت و اشکال شیمیایی این فلز دشوار و پیچیده می باشد. تشکیل گونه های مختلف جیوه، یک پارامتر مهم در درک چرخه های جوی و انتشار و رسوب آن در جو می باشد. جو یا هوای موجود در محل مسیر اصلی انتقال جیوه از منابع و انتشار به محیط های مختلف می باشد. کنترل جیوه فلزی با توجه به خواص منحصر به فرد آن، بسیار مشکل است. جیوه فلزی وقتی که در معرض هوا قرار می گیرد، می تواند تبخیر گردیده، وارد هوا شود و در اثر استنشاق جذب بدن گردد. با افزایش دما، جیوه با سرعت بیشتری وارد هوا می شود. افزایش دما از 18°C به 26°C ، فشار بخار جیوه را دو برابر می کند. جذب جیوه از طریق پوست، چندان قابل ملاحظه نیست. اگر جیوه نشت پیدا کرده به طور کامل پاک نشود، به آسانی در اطراف پخش می گردد. قطرات جیوه می تواند 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 می تواند 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 می تواند در اطراف محل کار، ماشین، و خانه پخش گردد.

حذف جیوه یک اولویت و برنامه جهانی است. لذا تهیه، تدوین و اجرای برنامه ای که بتواند این مشکل را برطرف کند الزامی می باشد. مطالعه هزینه های زیست محیطی آلودگی جیوه حاکی از آن است که برای جبران آلودگی ناشی از هر کیلوگرم جیوه در محیط زیست، به طور میانگین باید نزدیک به ۱/۱ میلیون دلار هزینه خواهد شد. در صورتی که اگر هزینه های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از بیماری های مربوط به جیوه و همچنین هزینه های اجتماعی مرتبط را نیز مدنظر قرار دهیم، آنگاه اهمیت موضوع مشخص تر می گردد. در مورد هزینه های ناشی از جیوه و ترکیبات آن در ایران، متأسفانه مطالعه ای صورت نگرفته است ولی با توجه به مطالعات سایر کشورها پس از مشخص شدن منابع و مناطق خطر و تهیه آمارهای مربوطه، می توان با توجه

¹ United States Environmental Protection Agency

² Hazardous Air Pollutants

³ United Nations Environment Programme

به مطالعات سایر کشورها این هزینه ها را محاسبه کرد. بهترین راه پیش گیری از خطرات جیوه، حذف کامل مواجهه با آن است که این کار باید به وسیله ارزیابی ریسک صورت گیرد.

با توجه به نقش مهم برنامه های آموزشی در بهبود وضعیت مدیریت پسماندهای حاوی جیوه، هدف از تنظیم این راهنما بررسی اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست و ارائه راهکارهای عملی و کاربردی در پیشگیری و کنترل آن در محیط است تا علاوه بر جبران کمبود منابع آموزشی در این زمینه، رویه و مرجع نسبتاً ثابتی را برای برنامه های آموزشی در خصوص مدیریت جیوه و ترکیبات آن در سراسر کشور فراهم آورد.

اهداف

هدف از انتشار این دستورالعمل عبارت است از:

- ارائه گزیده ای از اطلاعات در زمینه شناسایی، ارزیابی و مدیریت پسماندهای حاوی جیوه با استفاده از آخرین منابع علمی موجود
- ارتقاء آگاهی، نگرش و مهارت مدیران و کارکنان مراکز اداری، صنعتی و تجاری در خصوص پسماندهای حاوی جیوه در مراکز پزشکی
- جلوگیری از اثرات زیان آور مواجهه با جیوه بر سلامت انسان
- هشدارها و کنترل های مدیریت ایمن فلز جیوه
- ارائه راهکار جهت کاهش اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و پیشگیری و کنترل آن
- ارائه راهکار جهت کاهش اثرات جیوه و ترکیبات آن بر محیط زیست و پیشگیری و کنترل آن

اصطلاحات و تعاریف

- **جیوه:** این واژه به انواع گونه های جیوه شامل جیوه عنصری، جیوه معدنی و کلیه ترکیبات آلی حاوی جیوه اطلاق می گردد.
- **جیوه عنصری گازی:** جیوه عنصری گازی⁴ با فراریت بالا، که به سرعت از حالت مایع تبخیر شده و به این ترتیب، شایع ترین شکل جیوه در جو را ایجاد می کند.
- **جیوه معدنی:** گونه های مهمی مانند، $Hg(OH)_2$ ، HgO_2 ، $HgCl_2$ ، $HgBr_2$ که معمولاً به آن ها جیوه گازی فعال RGM و یا جیوه II اطلاق می گردد، این شکل، جیوه گازی اکسید شده GOM نیز نامیده می شود.
- **جیوه آلی:** این واژه به جیوه ترکیب شده با مولکول های حاوی کربن، مانند ترکیبات منومتیل جیوه $HgCH_3$ و دی متیل جیوه $Hg(CH_3)_2$ اطلاق می گردد.
- **منبع:** قسمتی از فرایند تولید که منشاء ورود آلاینده به محیط است.
- **خطر بالقوه:** پتانسیل آسیب رسانی به سلامتی
- **ریسک:** احتمال آسیب رسانی به سلامتی
- **ارزیابی ریسک:** ارزیابی خطرات بهداشتی در افراد در مواجهه با جیوه
- **وسایل حفاظت فردی (PPE):** تجهیزات و لباس هایی که جهت حفاظت از سلامتی پرسنل در مقابله با مواجهات محیط کار استفاده می شود.
- **جذب:** روشی که به موجب آن یک ماده می تواند وارد بدن گردد.
- **آمالگام:** مخلوط یا آلیاژ جیوه با فلزات دیگر مانند نقره، طلا، مس و روی
- **حوضچه یا سینی جمع آوری:** وسیله مورد استفاده جهت جمع آوری ریخت و پاش های جزئی
- **سیستم اعصاب مرکزی (CNS):** بخشی از سیستم عصبی، شامل مغز و نخاع
- **مانومتر:** ابزاری که برای اندازه گیری فشار گازها و بخارات استفاده می شود.
- **مکنده جیوه:** نوعی مکنده طراحی شده ویژه جهت جمع آوری ایمن ریخت و پاش جیوه
- **مراکز پزشکی:** منظور از مراکز پزشکی مراکز نظیر: بیمارستان ها، کلینیک ها، مطب ها، درمانگاه ها، مراکز بهداشتی و درمانی و آزمایشگاه ها است که در آن خدمات بهداشتی، درمانی و آموزشی در اختیار بیماران و مراجعه کنندگان قرار داده می شود.
- **پسماند پزشکی (بیمارستانی):** به کلیه پسماندهای عفونی و زیان آور ناشی از بیمارستان ها، مراکز بهداشتی، درمانی، آزمایشگاه های تشخیص طبی و سایر مراکز مشابه گفته می شود. سایر پسماندهای خطرناک بیمارستانی از شمول این تعریف خارج است.

⁴ Gaseous elemental mercury

⁵ Personal Protective Equipment

⁶ Central nervous system

- **پسماند ویژه:** به کلیه پسماندهایی گفته می شود که به دلیل بالا بودن حداقل یکی از خواص خطرناک از قبیل سمیت، بیماری زایی، قابلیت انفجار یا اشتعال، خوردگی و مشابه آن به مراقبت ویژه نیاز داشته باشد و آن دسته از پسماندهای پزشکی و نیز بخشی از پسماندهای عادی، صنعتی، کشاورزی که نیاز به مدیریت خاص دارند جزء پسماندهای ویژه محسوب می شوند.
- **پسماندهای پزشکی ویژه:** به کلیه پسماندهای عفونی و زیان آور ناشی از بیمارستانها، مراکز بهداشتی درمانی، آزمایشگاههای تشخیص طبی، و سایر مراکز مشابه که به دلیل بالابودن حداقل یکی از خواص خطرناک از قبیل سمیت، بیماری زایی، قابلیت انفجار یا اشتعال، خوردگی و مشابه آن که به مراقبت ویژه (مدیریت خاص) نیاز دارند، گفته می شود. (ضوابط و روشهای مدیریت اجرایی پسماندهای پزشکی و پسماندهای وابسته)
- **پسماند برقی و الکترونیکی:** کلیه لوازم، قطعات و تجهیزات غیر قابل استفاده و یا از رده خارج شده ای که در تولید برق و یا استفاده از برق کاربرد دارند(قانون پسماند برق و الکترونیک).
- **پسماندهای جیوه:** به باقیمانده عنصر جیوه در اشیاء، مواد حاوی جیوه یا ترکیبات جیوه ای اطلاق می گردد. (ضوابط و روش های اجرایی مدیریت محیط زیستی و بهداشتی پسماندهای جیوه)

فصل اول :

جیوه در محیط

تاریخچه جیوه

جیوه اولین بار توسط چینی ها و هندوهای قدیم در آرامگاه های مصری مربوط به ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ سال قبل از میلاد یافت شده است که برای ساخت ملغمه جیوه با فلزات دیگر مورد استفاده قرار می گرفت. یونانی های قدیم، این فلز سمی را در انواع مرهم (پماد) برای پوست و رومیان آن را در ابزار آرایشی و به عنوان وسیله زینتی، به کار می بردند. همچنین جیوه و املاح آن را در قدیم به عنوان سموم عمومی رسوب دهنده پروتئین ها می شناختند. نام لاتین جیوه، مرکوری یا سینابر که به نقره روان^۲ نیز معروف می باشد، از نام یکی از خدایان یونان باستان به نام مرکوری، اقتباس شده که پیامبر سایر خدایان بوده است. علامت شیمیایی این عنصر واژه یونانی هیدرارجیروس منشاء گرفته که خود شامل دو کلمه هیدرو به معنی آب و آرجیروس به معنای نقره می باشد. کشف یک کیلوگرم از این فلز در لایه های ماسه ای با قدمت ۲۵۱۱ سال در سواحل شرقی یونان در سال ۱۹۳۸ حاکی از بکارگیری این فلز در استحصال طلا در گذشته های دور است. حدود ۲۰۰ سال قبل از میلاد، در متون هندی و نیز چینی (دوره سلسله هان) به جیوه اشاره شده است.

شیمی جیوه

جیوه به عنوان دومین عنصر سمی در جهان، در گروه **BII** دوره ۶ جدول تناوبی قرار دارد. جیوه دارای ۷ ایزوتوپ پایدار است که Hg^{202} فراوان ترین آن (۲۶/۸۶ درصد) است. رادیو ایزوتوپ های Hg^{194} و Hg^{203} به ترتیب دارای نیمه عمرهای ۴۴۴ سال و ۴۶/۶۱۲ روز می باشد. رادیو ایزوتوپ های دیگر جیوه دارای نیمه عمر کمتری از یک روز می باشند. جیوه فلزی مایع به رنگ سفید-نقره ای است. برخی خصوصیات فیزیکی این عنصر عبارتند از: عدد اتمی ۸۰ و وزن اتمی ۲۰۰/۹۵، وزن مخصوص ۱۳/۵۴ گرم بر سانتی متر مکعب، سختی ۱/۵ در مقیاس موس، سنگین، براق، سمی و دارای نقطه جوش ۳۵۷ و نقطه ذوب -۳۸/۷۲ درجه سلسیوس می باشد. هدایت گرمایی نسبتاً ضعیف اما هدایت الکتریکی نسبتاً خوبی دارد. جیوه یکی از دو عنصری است که در دمای اتاق و تحت شرایط عادی، به صورت مایع است و در اثر تصعید به صورت بخار وارد هوا می شود. با وجود وزن اتمی زیاد و سنگین بودن، فراریت قابل ملاحظه ای دارد و می تواند بخارات اتمی تولید کند، به طوری که در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد فشار بخار قابل ملاحظه ای $10^{-3} \times 1/3$ میلی متر جیوه دارد. جیوه حتی در دمای ۱۰- درجه سانتی گراد هم تبخیر می شود. فراوانی جیوه در پوسته زمین بین ۶۰ تا ۸۰ میکروگرم در کیلوگرم تخمین زده شده است. چگالی بیشتر ترکیبات جیوه در گستره ۹-۵ گرم بر سانتیمتر مکعب می باشد. تخلیه الکتریکی، بخار جیوه را تا حالت روشنایی و نورافشانی پیش می برد (لامپ های بخار جیوه). در این لامپ ها در مرحله اول پرتوافشانی فرابنفش صورت می گیرد که می تواند آغازگر واکنش های شیمیایی باشد. کشش سطحی جیوه تقریباً ۶ برابر آب است که علت خیس شونده گی ضعیف آن با آب می باشد. گرانشی دینامیک جیوه تقریباً برابر گرانشی دینامیک آب می باشد.

جیوه یک فلز واسطه با رایج ترین حالت اکسایش +۱ مرکوروس و مرکوریک +۲ می باشد. ولی گاهی در بعضی مواد مرکب در حالت اکسایش +۳ نیز یافت می شود. جیوه تک ظرفیتی (+۱ مرکوروس) را در محیط بیشتر می توان یافت. جیوه با هالوژن ها، ترکیب تک و دو ظرفیتی تشکیل می دهد. ترکیب $Hg-Hg$ پیوندهای این فلز با گوگرد بیشتر تک ظرفیتی و یا دو ظرفیتی می باشد. جیوه فلزی به راحتی در اسید نیتریک، تیزاب سلطانی، سولفوریک اسید و هیدروکلریک اسید غلیظ و گرم حل می شود. حلالیت جیوه در آب به شدت به دما بستگی دارد. در دمای کم، افزودن کلرید سدیم، حلالیت آن را در آب کم می کند. جیوه به آسانی با فلزاتی مانند (طلا و نقره) تشکیل آلیاژ می دهد که هر یک از این آلیاژها را ملغمه جیوه نامند. اکسید جیوه HgO ۴۰۰-۵۰۰ درجه سانتی گراد تجزیه می شود. از این پدیده در استحصال از منابع اکسیدی آن استفاده می شود.

جدول ۴: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی جیوه

نام	جیوه
نماد	Hg
عدد اتمی	۸۰
شعاع اتمی	Å ۱/۵
حجم اتمی	cm ³ /g-atom ۱۴/۸۱
وزن اتمی	۲۰۰/۵۹
وزن مخصوص	۱۳/۵۴۶ در دمای ۲۰ °C
چگالی	۱۳/۵۴۶ g/cm ³ در دمای ۲۰ °C
گرانروی	۱/۵۵۴ Cp در دمای ۲۰ °C
فشار بخار اشباع	۰,۱۶ N/m ² در دمای ۲۰ °C
نقطه جوش	۳۵۷/۷۳ °C
نقطه انجماد	-۳۸/۸۷ °C
هدایت حرارتی	۰/۰۲۲ cal/sec/cm ³ .°C
ضریب پخش	۰/۱۱۲ cm ² /sec
مقاومت ویژه حرارتی	۹۵/۸×۱۰ ^{-۶} ohm/cm در دمای ۲۰ °C
ظرفیت حرارتی	cal/g.۰,۳۳۲ در دمای ۲۰ °C
ثابت قانون هنری	atm m ³ /mol.۰/۰۱۱۴
پتانسیل یونیزاسیون اولیه	ev ۱۰/۴۳۷۵
پتانسیل یونیزاسیون ثانویه	ev ۱۸/۷۵۱
کشش سطحی	dyn/cm ۴۳۶ در دمای ۲۰ °C
تبخیر در هوا	mg/cm ² .hr.۰/۰۰۷ برای ۱۰/۵ Cm ² در دمای ۲۰ °C
الکترون گاتیویته	۱/۹۲ پائولینگ
حلالیت در آب	۸۰-۶۰ µg/L در دمای ۲۰ °C

منابع جیوه

سنگ های معدنی جیوه در اغلب صخره ها و معادن یافت می شوند و مهمترین آن ها، سنگ آهک، سنگ رستی کالکر، بازالت و ریولیت می باشد. جیوه معمولا از کانی سینابر که حدود ۸۶/۲ درصد جیوه خالص دارد، استخراج می شود و گاهی نیز به صورت آزاد و خالص در برخی نقاط یافت می شود. استخراج جیوه از سینابر به این صورت است که آن را حرارت داده و پس از عبور جریانی از هوا از روی آن، بخار جیوه حاصل را سرد می کنند.

مهمترین ترکیبات جیوه عبارتند از:

- کلرید جیوه (حالت اکسایش +۳) که بسیار خورنده، قابل تصعید و یک سم خطرناک می باشد.
- کلرید جیوه (حالت اکسایش +۱) در کانی سنگ جیوه کالومل یافت می شود و هنوز هم برخی اوقات در پزشکی مورد استفاده قرار می گیرد.
- فولمینات جیوه (حالت اکسایش +۳) یک چاشنی است که بطور گسترده در مواد منفجره استفاده می شود.

- سولفید جیوه (حالت اکسایش +۲) برای ساخت سینابر استفاده می شود و یک رنگدانه با عیار بالاست. از نمک های آلی جیوه نیز می توان به متیل جیوه و فنیل جیوه اشاره کرد.

سم شناسی جیوه

جیوه بر اثر انحلال از کانسارها و باطله های معدنی، کانه آرایبی، فعالیت آتشفشانی، سوزاندن زغال سنگ، سوخت های فسیلی و پسماند کارخانجات، وارد آب و خاک می شود. کاربرهای علمی، دارویی، پزشکی، کشاورزی و صنعتی جیوه نیز باعث افزایش غلظت جیوه در آب های سطحی و زیرزمینی شده است. اثرات مسمومیت زایی جیوه موجود در آب بر روی انسان، سال هاست که مشخص شده است.

خطرات استفاده از جیوه توسط مصریان باستان که از بردگان جهت کار در معادن جیوه استفاده می کردند، کشف شده، و بردگانی که در معادن شنگرف رومی ها کار می کردند، احتمالاً به خاطر سمیت آمالگام جیوه در استخراج طلا، بعد از ۶ ماه می مردند. از اوایل قرن هجدهم میلادی توجه دانشمندان به مواجهه شغلی و مواجهه افراد عادی با جیوه جلب شد. مسمومیت با جیوه می تواند از استنشاق، بلع، یا جذب از طریق پوست ناشی گردد. جیوه عنصری به دلیل فرار بودن، مخاطراتی را برای سلامتی ایجاد می کند. جیوه عنصری به صورت بخار، به سیستم اعصاب مرکزی (CNS)^۷ نفوذ کرده و بعد از یونیزه شدن، در آن جا به دام می افتد، و در نتیجه اثرات سمی شدید ایجاد می کند. اما هدف اصلی Hg^{2+} کلیه ها و کبد است. جیوه عنصری به خوبی توسط دستگاه گوارش جذب نمی شود، بنابراین در هنگام خورده شدن، سمیت خفیفی تولید می کند. جیوه فلزی و ترکیبات جیوه در صورت استنشاق و یا باقی ماندن برای بیش از یک دوره زمانی کوتاه بر روی پوست، بسیار خطرناک می باشند. دی متیل جیوه به سرعت در پوست نفوذ می کند. بسته به نوع جیوه و دوز، علائم ممکن است نسبتاً به سرعت (بیماری حاد) و یا طی چند سال بروز کند (بیماری مزمن). جیوه عنصری یا موجود در هوا که در مایعات بدن به متیل جیوه تبدیل شده، بسیار سمی تر می باشد. تاکنون مدارک محدودی در ارتباط با سرطانزا بودن جیوه ارائه شده است. علاوه بر این، جیوه موجود در محیط زیست به آسانی در زنجیره غذایی تجمع زیستی می یابد. انواع ترکیبات جیوه، سمیت متفاوتی دارند، ترکیباتی مانند فنیل جیوه، کم ترین میزان سمیت، و ترکیبات الکیل جیوه بیش ترین 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 می شود. پس از جذب، خون جیوه عنصری را به سیستم اعصاب مرکزی منتقل نموده و در آن جا اکسید می شود. محصول اکسیداسیون ایجاد آسیب بدنی می کند. در افرادی که در مواجهه شدید با جیوه عنصری می باشند، علائم مشخصی از جمله: لرزش دست، کم رویی، بی خوابی، و بی ثباتی عاطفی (مانند نشانه های بیماری لرزش کلاه سازان) ایجاد می شود. زمانیکه مایع جیوه گرم می شود، بخارات آن می تواند به سطوح بسیار بالا برسد. اگر کنترل محل کار ناکافی باشد، چنین سطوحی تقریباً بلافاصله باعث ایجاد عوارض جانبی در انسان می شود.
- **نمک های جیوه** مانند نیترات جیوه بسیار سمی و خورنده بوده که با تجمع زیاد در کلیه، باعث آسیب کلیوی می گردد.

⁷ Cental nervous system

- **ترکیبات آلی جیوه** با حمله به سیستم اعصاب مرکزی باعث لرزش، اختلال در بینایی و شنوای و فلج می گردد. 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 ماه ها و یا سال ها قابل توجه نباشد.
- **فولمینات جیوه $Hg(ONC)_2$** ، ماده ای که در چاشنی های انفجاری استفاده می شود.
- **اکسید جیوه II** که مانند یک اکسید کننده قوی می تواند باعث شروع سوختن مواد آلی گردد.
- **دی متیل جیوه**، ماده بسیار سمی، مایع بی رنگ و خوش بو با خطر آتش سوزی شدید با فلش پوینت $4 - C^{\circ}$ می باشد. این ماده به سرعت به پوست نفوذ می کند و مواجهه با مقادیر بسیار جزئی باعث سمیت شدید و کشنده می گردد. هنگام کار با این ماده، لازم است احتیاطات شدید اعمال گردد

اکثر مراکز بهداشتی دنیا حداکثر میزان مجاز جیوه را در آب، در حدود ۵ میکروگرم بر لیتر در نظر گرفته اند که اخیراً این میزان به ۱ میکروگرم بر لیتر کاهش یافته است. لذا آبریان و ماهیانی که حاوی $0.5/100$ میلی گرم بر کیلوگرم جیوه هستند، برای استفاده انسان خطرناک محسوب می شوند. هنگامی که غلظت جیوه در خون به $0.2/100$ میلی گرم در ۱۰۰ میلی لیتر برسد، مسمومیت حاد رخ می دهد. ویژگی مشترک جیوه و فلزات سنگین آن است که در بدن موجودات زنده انباشته می شوند. غلظت فلزات مزبور در ماهیان بزرگ که از ماهیان کوچک، تغذیه می کنند، بیشتر می باشد. حداکثر تراکم مجاز جیوه در هوا ۱ میلی گرم در هر متر مکعب است و پیدایش آن تا حد $0.3/100$ میلی گرم در ادرار، بی خطر می باشد. مسمومیت جیوه و ترکیبات آن بطور عمده به انحلال پذیری آن ها بستگی دارد به این معنی که هر چه حلالیت جیوه بیشتر شود، جذب و توزیع آنان در ارگانسیم ها، بیشتر و سمیت آن نیز بیشتر می شود. به طور کلی، سمیت جیوه معدنی کمتر از ترکیبات آلی آن است. حلالیت جیوه در خون بیشتر از حلالیت آن در آب می باشد. بنابراین، ورود جیوه به بدن انسان، به آسانی صورت می گیرد. سمیت جیوه بر پایه عملکرد آن به عنوان سم عمومی سلولی و پرتوپلاسمی، استوار است، یعنی با گروه های سولفوهایدرید سلول میزان RNA پروتئین ها، پیوند شیمیایی برقرار می کند که موجب آسیب به غشاء و کاهش میزان شود. این امر باعث از کار افتادن بسیاری از سیستم های آنزیمی می گردد. کلیه ها و سیستم های عصبی، بسیار در برابر این ترکیب آسیب پذیرترند. همه اشکال جیوه به یک میزان کشنده نیستند. نمک و ترکیبات جیوه دو ظرفیتی از یک ظرفیتی، سمی تر هستند. نمک هایی که شدید تجزیه می شوند، از نمک هایی که کمتر تفکیک می شوند، خطرناک تر و سمی تر هستند. بیشتر ترکیبات آلی جیوه، محلول در چربی اند. برخی از آن ها به راحتی تبخیر می شوند و همچنین در فاز گازی عمل می کنند. جیوه اصولاً در حالت متیل جیوه، بسیار مسموم کننده است. میکروارگانسیم ها در آب و خاک، سبب تشکیل متیل جیوه می شوند. جیوه عموماً به صورت ترکیبات آلی و به ویژه به صورت متیل جیوه در بافت های زنده وجود دارد. متیل جیوه در آب محلول بوده، به راحتی می تواند جذب بافت های ماهی ها شود. ترکیبات جیوه در طبیعت، تحت تاثیر نور آفتاب می تواند تجزیه شوند. ترکیبات فنیل مرکوری و آلکوکسی آلکیل مرکوری در ارگانسیم ها، متابولیسم شده و به ترکیبات غیرآلی جیوه تبدیل می گردند و مانند نمک های جیوه عمل می کنند. ترکیبات پایدار آلکیل مرکوری، برای سیستم عصبی و جنین، سمی است. در آزمایش های انجام شده بر روی حیوانات، ثابت شده است که متیل جیوه و کلریدجیوه می تواند موجب کاهش اسپرم زایی شود.

در یک جایگاه آلوده، ممکن است اشکال مختلف جیوه وجود داشته و تحت برخی از شرایط زیست محیطی، این ترکیبات می توانند از گونه ای به گونه دیگر تبدیل گردد. رفع آلودگی اشکال مختلف جیوه به روش های مختلفی نیاز دارد. بنابراین، آگاهی کامل از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی، هیدرولوژیکی، کانی شناسی و بیولوژیکی موثر بر انتقال و سرنوشت جیوه در محیط زیست،

گام اول و کلیدی در تلاش های موفق با هدف رفع آلودگی می باشد. این آگاهی پایه و اساسی برای انتخاب یا توسعه موثر تکنیک های رفع آلودگی و بازسازی ارائه می کند.

کاربردها و مصارف عمده جیوه

جیوه به دلیل داشتن خواص فیزیکی ویژه و منحصر به فرد در دمای اتاق، کاربرد گسترده ای دارد. بیشترین کاربرد جیوه در صنایع شیمیایی، الکتریکی، الکترونیکی و پزشکی است که شامل ساخت انواع دماسنج ها، فشارسنج ها، تهیه سموم، باتری سازی، ساخت لوازم و دستگاه های دفع آفات، انواع حشره کش ها، مصارف دارویی، تهیه ملغمه، تولید سود سوزآور، کلرین، الکتروود مورد استفاده در الکترولیز، کاتالیزورها، ساخت کلید برق و آلیاژ دندان سازی می باشد. خواص سمی جیوه برای میروارگانسیم ها، کاربرد آن را در پزشکی (ضد عفونی)، کشاورزی (آفت کش ها) و تولید مواد گندزدا بیشتر کرده است. برخی از ترکیبات جیوه در پزشکی هومئوپاتی (نوع دارو درمانی) کاربرد دارد. آمالگام که ملغمه جیوه با طلا و نقره است، برای بازیافت ذخایر طلا و نقره استفاده می شود. کاربرد مهم دیگر جیوه، در صنعت روشنایی و انواع گوناگون لامپ ها می باشد. که در این مورد می توان به سوییچ های جیوه، نوسانگر و باتری های یکبار مصرف اشاره کرد که اغلب حاوی ۳۰ درصد جیوه می باشند. جیوه به عنوان کاتد مایع در تولید سدیم هیدروکسید و گاز کلر به کمک الکترولیز قلیایی به کار می رود. به علاوه جیوه در ساخت فشارسنج ها، پمپ های پخشی و تجهیزات آزمایشگاهی نیز به کار می رود. از جیوه گازی شکل در لامپ های بخار جیوه و لامپ های فلورسنت استفاده می گردد.

با وجود سمیت و اثرات زیست محیطی فراوان جیوه و ترکیبات آلی آن در برخی موارد، مقادیر ناچیز آن دارای کاربرد طبی نیز می باشند. برای مثال از جیوه در زمان های قدیم به عنوان درمان انسداد روده استفاده می شد. ترکیبات آلی جیوه، برای نابود کردن قارچ ها در مواد رنگی و صنایع کشاورزی، مورد استفاده قرار می گرفت.

در صنعت، فنیل مرکوریک استات^۸ (PMA) به عنوان محافظ لاستیکی و آفت باد زدگی به رنگ اضافه می شود. در صنعت کاغذ برای کشتن میکروب ها و به تاخیر انداختن کپک زدگی در کاغذ، از ترکیبات آریل مرکوری^۹ استفاده می شود. ترکیبات آلکیل مرکوری^{۱۰} نیز، به منظور پوشش بذرها در برابر قارچ ها به کار برده می شدند که به علت آلودگی زیست محیطی این آفت کش ها، در سال ۱۹۷۳، استفاده از آن ها توسط EPA^{۱۱} ممنوع شد. ترکیبات معدنی جیوه، کلرید و سولفات جیوه به عنوان کاتالیزور در تبدیل استیلن به کلرید، استفاده می گردد (۷۶) که البته در فاضلاب این کارخانجات، مقدار زیادی از ترکیبات جیوه یافت می شود.

محصولاتی حاوی جیوه:

باتری ها

• باتری های دکمه ای

باتری های دکمه ای باتری های مینیاتوری به شکل یک سکه یا دکمه هستند. از آنها در دستگاه های الکترونیکی قابل حمل کوچک مانند ساعت، دوربین، دماسنج دیجیتال، ماشین حساب و اسباب بازی ها استفاده می شود. باتری های روی- هوا،

⁸ Phenyl Mercuric Acetate

⁹ Aryl Mercury

¹ Alkyl Mercury 0

¹ Environmental Protection Agency

قلیایی و اکسید نقره حاوی مقادیر کمی جیوه هستند و هنگام استفاده خطری برای سلامتی ندارند زیرا احتمال نشت جیوه از آنها کم است. اما جیوه موجود در باتری های دکمه ای می تواند پس از دور ریختن به محیط زیست وارد شده و یا سوزانده شود یا در محل دفن زباله قرار گیرد. اگرچه هیچ مقرراتی در خصوص منع دفع باتری های دکمه ای در زباله های معمول وجود ندارد ، اما ضرورت بازیافت آنها به شدت احساس می شود چرا که در صورت عدم بازیافت این باتری ها، تقریباً تمام جیوه موجود در آنها همراه سایر اجزای زباله سوزانده و وارد هوا می گردد، یا اگر دفن شود ، می تواند آبهای زیرزمینی و به طور بالقوه در منابع آب آشامیدنی را آلوده نماید. برخی ایالت ها یا شهرداری ها می توانند پرتاب باتری های جیوه ای را در سطل زباله ممنوع کنند.

• باتری های اکسید مرکوریک

باتری های اکسید مرکوریک هنوز در تجهیزات نظامی و پزشکی که نیاز به باتری هایی با جریان پایدار و عمر طولانی دارند استفاده می شوند. طبق قانون فدرال ، سازنده باید سیستمی برای جمع آوری باتری های استفاده شده و اطمینان از عدم آزاد شدن جیوه در محیط داشته باشد. کاربران باتری باید مراحل جمع آوری ضایعات توسط سازنده را دنبال کنند.

لامپ بخار جیوه یا لامپ های کم مصرف

یکی دیگر از مصارف عمده جیوه، تولید لامپ بخار جیوه یا لامپ های کم مصرف می باشد. این لامپ ها باعث صرفه جویی در مصرف انرژی شده و طول عمر بیش تری دارند. این لامپ ها، مصرف را ۴ تا ۶ برابر لامپ های معمولی، بهینه می کنند. موضوعی که در زمینه کاربرد این لامپ ها باید مورد توجه قرار گیرد و رعایت آن مورد توصیه و تاکید وزارت بهداشت است، نحوه اقدام در زمان پایان عمر یا شکستن این لامپ ها است که بدلیل وجود مقادیر اندک ماده خطرناک جیوه در این لامپ ها است که در صورتی که همراه با پسماند های دیگر و به روش سنتی دفع شوند، موجب آلودگی محیط زیست خواهند شد. تا زمانی که این لامپ ها نشکند این جیوه که مقدار آن به اندازه پوشش نوک یک قلم ذکر شده، هیچ خطری برای کاربران ندارد بنابراین پس از پایان عمر این لامپ ها باید آن را داخل جعبه اولیه قرارداده و سپس داخل یک یا دو کیسه پلاستیکی مقاوم قرار داده شود و پس از بستن درب آن به مأمور جمع آوری پسماند تحویل شود. در مواقعی که لامپ های کم مصرف می شکند باید مراقب بود تا بدون هیچ گونه اثر سوئی بقایای این لامپ ها جمع آوری و دفع شود، بنابراین به افراد توصیه می شود از اتاقی که لامپ در داخل آن شکسته است خارج شوند و مواظب باشند که بر روی قطعات شکسته لامپ پا نگذارند، قبل از پاکسازی اتاق به مدت ۱۵ دقیقه پنجره ها را باز بگذارند تا بخارات جیوه از اتاق خارج شود و در صورتی که اتاق دارای سیستم تهویه مرکزی است آن را خاموش کنند، به هیچ وجه از جاروبرقی برای تمیز کردن بقایای لامپ شکسته استفاده نکنند چون بخارات جیوه را در فضا پخش می کند و جارو نیز آلوده می شود، یک دستکش یکبار مصرف بپوشند تا از تماس مستقیم با بقایای شکسته لامپ و بردن دستان، جلوگیری شود، با دو تکه مقوای نازک بقایای لامپ شکسته را بطور کامل با احتیاط جمع کنند، با یک پارچه مرطوب خرده های شیشه یا پودر باقیمانده را تمیز کنند تا همه بقایای لامپ تمیز شود، قطعات و بقایای لامپ شکسته و اشیائی که برای تمیز کردن مورد استفاده قرار گرفته است در داخل یک ظرف شیشه ای یا پلاستیکی بریزند و درب آن را محکم ببندند و به مأمور جمع آوری پسماند تحویل دهند، پس از اتمام کار دستان خود را با آب و صابون بشویند.

○ لامپ های کم مصرف فلورسنت (CFL)

CFL در کاهش مصرف انرژی کمتر ، کاهش تغییرات لامپ و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای کمک می کند. اشکال مختلف این لامپ ها شامل:

- لوله های فلورسنت خطی ، لوله U و دایره ای
- لامپ های برنزه کننده
- چراغهای سیاه
- لامپهای میکروپ کش
- لامپ های خروجی بالا
- لامپهای فلورسنت کاتدی سرد

لامپ تخلیه با شدت بالا:

- متال هالید
- سرامیک متال هالید
- فشار زیاد سدیم و بخار جیوه.
- لامپ های قوس کوتاه جیوه ؛ و
- لامپ های نئون

آمالگام دندانپزشکی

آمالگام دندانپزشکی که گاهی از آن با عنوان "پرکننده نقره" نامیده می شود، ماده ای نقره ای رنگ است که برای پر کردن (ترمیم) دندان هایی که دارای حفره هستند استفاده می شود. آمالگام دندانپزشکی مخلوطی از فلزات است که از جیوه مایع (عنصری) و آلیاژ پودری تشکیل شده از نقره ، قلع و مس تشکیل شده است. تقریباً نیمی (۵۰٪) آمالگام دندانپزشکی از نظر وزن جیوه اولیه است. خواص شیمیایی جیوه اولیه باعث می شود که بتواند با ذرات آلیاژ نقره / مس / قلع واکنش داده و بهم متصل شود و یک آمالگام تشکیل دهد. هنگام قرار دادن آمالگام دندانپزشکی ، دندانپزشک ابتدا دندان را سوراخ می کند تا پوسیدگی از بین برود و سپس حفره دندان را برای قرار دادن آمالگام شکل می دهد. در مرحله بعد ، تحت شرایط ایمنی مناسب ، دندانپزشک آلیاژ پودر کپسوله شده را با جیوه مایع مخلوط کرده و بتونه آمالگام تشکیل می دهد. این بتونه نرم کننده آمالگام در حفره آماده شده قرار می گیرد و شکل می گیرد ، جایی که به سرعت به صورت پر شدن جامد در می آید.

هنگامی که پر کننده های آمالگام در دندان قرار می گیرند یا از آن جدا می شوند ، می توانند مقدار کمی بخار جیوه آزاد کنند. آمالگام همچنین می تواند هنگام جویدن غذا هم مقدار کمی بخار جیوه آزاد کند. افراد می توانند این بخارات را با استنشاق یا بلعیدن جذب کنند. با این حال ، سازمان غذا و داروی ایالات متحده (FDA) مواد پرکننده آمالگام دندان را برای بزرگسالان و کودکان بالای شش سال بی خطر می داند. FDA مسئول اطمینان از ایمنی و موثر بودن آمالگام دندان است. از دهه ۱۹۹۰ ، FDA ، مراکز کنترل و پیشگیری از بیماری ها (CDC) و سایر سازمان های دولتی به دنبال ارتباط بین آمالگام های دندانپزشکی و مشکلات بهداشتی بوده اند. CDC در سال ۲۰۰۱ گزارش داد که شواهد کمی وجود دارد که نشان می دهد سلامت استفاده کنندگان آمالگام دندانپزشکی به خطر می افتد، یا که از حذف مواد پر کننده آمالگام تأثیر مفیدی بر سلامتی دارد. در مورد نتایج

سلامتی دراز مدت در زنان باردار و جنین در حال رشد و کودکان زیر شش سال ، از جمله نوزادانی که از شیر مادر تغذیه می کنند ، بسیار محدود است و هیچ داده بالینی در دسترس نیست.

در حال حاضر ، پنج نوع ماده ترمیم کننده دیگر برای پوسیدگی دندان وجود دارد:

- کامپوزیت رزین
- یونومر شیشه ای
- یونومر رزین
- ظروف چینی
- آلیاژهای طلا

در صورت عدم مدیریت نادرست مطب های دندانپزشکی ، ضایعات آمالگام دندانی می تواند در محیط آزاد شود. اگرچه در حال حاضر بیشتر مطب های دندانپزشکی از نوعی سیستم تصفیه اساسی برای کاهش میزان جامدات جیوه ای که به سیستم فاضلاب منتقل می شود استفاده می کنند، مطب های دندانپزشکی بزرگترین منبع جیوه در تصفیه خانه های فاضلاب هستند.

در محل های دفن زباله اگر زباله های آمالگام به محل دفن زباله ارسال شود ، ممکن است جیوه در آب یا هوا زیر زمین رها شود. و در صورت سوزاندن جیوه ، ممکن است از پشته های زباله سوز جیوه به هوا منتقل شود.

دماسنج های جیوه ای

در دماسنج جیوه ای ، یک لوله شیشه ای پر از جیوه شده و مقیاس دمایی استاندارد روی لوله مشخص شده است. با تغییر دما ، جیوه منبسط شده و منقبض می شود و می توان دما را از مقیاس خواند. از دماسنجهای جیوه ای می توان برای تعیین دمای بدن ، مایعات و بخار استفاده کرد. از دماسنجهای جیوه ای در خانه ها ، آزمایش های آزمایشگاهی و کاربردهای صنعتی استفاده می شود.

کاربردهای صنعتی دماسنج های جیوه ای

از دماسنج های جیوه ای استفاده می شود:

- نیروگاه ها و لوله گذاری
- مخازن شیمیایی و دیگهای بخار
- تجهیزات سرمایشی و گرمایشی
- کارخانه های آبجوسازی ، کنسرو فروشی
- نانوایی ، آب نبات سازی
- لبنیات ، کشتی
- کارخانه های شراب سازی و مشروب فروشی ها
- کتری رنگ

حذف تدریجی دماسنج های جیوه در تنظیمات صنعتی و آزمایشگاهی

EPA تلاشی را برای کاهش استفاده از دماسنج های جیوه ای که در محیط های صنعتی آغاز کرده است. به عنوان بخشی از همکاری EPA که با انستیتوی استاندارد ملی و فناوری (NIST) توسعه یافته است، NIST دیگر خدمات کالیبراسیون را برای دماسنجهای جیوه ای ارائه نمی دهد. درباره تأثیری که این تصمیم خواهد داشت می توانید در بیانیه مطبوعاتی NIST در فوریه ۲۰۱۱ که این تغییر را اعلام کرده است.

محدودیت فروش دماسنج های جیوه ای

برخی از ایالت ها و شهرداری ها قوانینی را تصویب کرده اند که تولید، فروش و / یا توزیع دماسنج تب جیوه ای را ممنوع می کند. این برای کمک به از بین بردن خطر شکستن دماسنج و انتشار بعدی بخار جیوه در داخل خانه است. حداقل ۱۳ ایالت - کالیفرنیا، کنتیکت، ایلینوی، ایندیانا، ماین، مریلند، ماساچوست، میشیگان، مینه سوتا، نیوهمپشایر، رود آیلند، اورگان و واشنگتن - چنین قوانینی را تصویب کرده اند.

گزینه های جایگزین دماسنج های تب جیوه ای

انواع دماسنج تب بدون جیوه دقیق و قابل اعتماد در داروخانه های محلی موجود است. مشابه ترین گزینه دماسنج تب جیوه، دماسنج دیجیتال با انرژی خورشیدی است. این دماسنج ها از نظر قیمت و کاربرد مشابه دماسنج های جیوه ای است. همه اینها را می توان به صورت خوراکی، مقعدی یا زیر بغل استفاده کرد.

تیمروزال در واکسن ها

تیمروزال ماده نگهدارنده ای است که از دهه ۱۹۳۰ که اولین بار توسط شرکت الی لیلی معرفی شد، در برخی واکسن ها استفاده می شود. ۶/۴۹ درصد وزنی آن جیوه است و به اتیل جیوه و تیوسالیسیلات متابولیزه یا تجزیه می شود. در غلظت های موجود در واکسن ها، این ماده مطابق با الزامات نگهدارنده است که توسط داروسازی ایالات متحده تنظیم شده است. یعنی ارگانیسم های مشخص شده را از بین می برد و قادر است از رشد قارچ های چالش جلوگیری کند. قبل از معرفی در دهه ۱۹۳۰، داده ها در چندین گونه جانوری و انسان، ایمنی و اثربخشی آن به عنوان ماده نگهدارنده را اثبات می کرد. از آن زمان، تیمروزال سابقه طولانی استفاده ایمن و موثر در جلوگیری از آلودگی باکتریایی و قارچی واکسن ها بدون هیچ اثر سو غیر از واکنش های جزئی محلی در محل تزریق، را دارد.

از تیمروزال به عنوان یک نگهدارنده واکسن در غلظت های ۰/۰۳ تا ۰/۰۱ درصد استفاده می شود. یک واکسن حاوی ۰/۰۱٪ تیمروزال به عنوان نگهدارنده حاوی ۵۰ میکروگرم تیمروزال در هر دوز ۰/۵ میلی لیتر یا تقریباً ۲۵ میکروگرم جیوه در هر دوز ۰/۵ میلی لیتر است. استفاده از مواد نگهدارنده حاوی جیوه در واکسن ها از سال ۱۹۹۹ به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

FDA به تلاش های خود در زمینه کاهش یا حذف تیمروزال از همه واکسن های موجود ادامه می دهد که تا به امروز پیشرفت های زیادی در این زمینه حاصل شده است. FDA برای رسیدن به هدف از بین بردن تیمروزال از واکسن ها، به طور فعال با تولیدکنندگان، به ویژه کسانی که واکسن های کودکان را تولید می کنند، همکاری کرده است. در این راستا، تمام واکسنهایی

که به طور معمول برای کودکان ۶ ساله یا کمتر توصیه می شوند و در ایالات متحده به بازار عرضه می شوند ، به استثنای واکسن آنفلوانزا ، حاوی هیچ تیمروزال نیستند یا فقط مقادیر کمی (۱ میکروگرم یا جیوه کمتر در هر دوز) دارند.

فشار سنج های جیوه ای

معمولاً منومتر یک لوله شیشه ای پر از مایع است که برای اندازه گیری اختلاف فشار در وسایل اندازه گیری جریان مانند روزنه یا کنتور ونتوری استفاده می شود. ابزاری که برای اندازه گیری فشار خون استفاده می شود نوعی مانومتر و ترموستات است. بسیاری از ایالت ها و آژانس های محلی برنامه های جمع آوری / مبادله را برای دستگاه های حاوی جیوه مانند فشار سنج ها را ایجاد کرده اند.

محصولاتی که ممکن است حاوی جیوه باشند:

- عتیقه جات
- لوازم خانگی
- قطعات خودرو
- لوازم الکترونیکی
- جواهر سازی
- تجهیزات پزشکی و دارویی
- کرم پوست
- تجهیزات ورزشی
- ترموستات

اطلاعات برای مصرف کنندگان

منابع و محصولات حاوی جیوه در مراکز پزشکی

جیوه در مراکز بهداشتی و درمانی به سه شکل فلز، ترکیبات آلی و معدنی استفاده می شود. ترکیبات آلی جیوه شامل گروه های هیدروکربنی آروماتیک یا آلیفاتیک و ترکیبات معدنی جیوه معمولاً شامل نمک های جیوه نظیر کلریدها یا اکسیدهای جیوه می باشد. از انواع محصولات حاوی جیوه مورد استفاده در این مراکز می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- 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، لامپ های فلورسنت و نئون (منبع ترموستات جیوه ای در محفظه رشد مورد استفاده جهت نوزادان نارس)
- فشارسنج ها و انواع گیج های حاوی جیوه
- ضد عفونی کننده و انواع صابون های شیمیایی حاوی جیوه
- استفاده در دندان پزشکی پرکردن دندان با آمالگام، تهیه آمالگام و دفع پسماندهای مربوطه
- باتری های حاوی جیوه مانند باتری اکسید جیوه، باتری ساعت، باتری های تخت، قلمی، پرمنگنات و غیره

- سلول های حاوی جیوه مانند دکمه ای، قلمی آلکالین، اکسید- نقره و انواع سلول های جیوه- روی
- ترموستات ها
- انواع پمادها و محصولات دارویی حاوی ترکیبات نگهدارنده جیوه ای (به عنوان مثال از تيو مرسال به میزان ۱۰۰ µg در هر تزریق برای حفاظت واکسن و ایمونوگلوبولین استفاده می شود).
- رنگ های لاتکس (مواجهه با بخار سطوح جیوه آزاد شده از رنگ لاتکس ترکیبات حاوی جیوه با ماندگاری زیاد، می تواند تا ۳۰۰-۱۵۰۰ ng/m³ نیز برسد).

چرخه جهانی جیوه

جیوه در نتیجه فعالیت های انسانی یا از منابع و فرآیندهای طبیعی مانند آتشفشان ها و هوازدگی سنگ ها، درآب ها و خشکی ها و اتمسفر رها می شود. جیوه موجود در اتمسفر می تواند در سراسر جهان جابجا شود و در نهایت روی خاک، آب یا گیاهان رسوب کند. همچنین جیوه می تواند با پدیده انتشار مجدد و یا توسط آب و شبکه غذایی منتقل شود. در طول قرن ها، جیوه از طریق دفن در رسوبات اعماق اقیانوس، رسوبات دریاچه ها و خاک های زیرسطحی از این چرخه جهانی خارج می شود. تنها کسری از جیوه موجود در محیط، متیل جیوه است، سمی بسیار نگران کننده که در شبکه غذایی بزرگنمایی زیستی^۱ می شود. متیل جیوه از جیوه معدنی، عمدتاً در اکوسیستم های آبی از طریق فعالیت میکروبی تولید می شود. درک صحیحی از چرخه جهانی جیوه برای پیش بینی میزان انتشار جیوه در هوا، آب، زمین و جذب توسط گیاهان، جانوران و انسان ها و تلاش برای کاهش آن بسیار حائز اهمیت و تاثیرگذار است.

بر اساس برآورد^۱ GMA در سال ۲۰۱۳، فعالیت های انسانی به طور تجمعی غلظت جیوه اتمسفر را ۳۰۰ تا ۵۰۰ درصد در طول قرن گذشته افزایش داده است. جیوه در آب های سطحی و یاقیانوس ها با عمق کمتر از ۲۰۰ متر، تقریباً سه برابر شده است. آب های عمیق تر افزایش غلظت های کمتری را نشان می دهند، زیرا تخلیه های جیوه با منشا انسانی برای رسیدن به اعماق اقیانوس زمان بیشتری می برد. مقادیر قابل توجهی جیوه قبلاً به طور طبیعی در خاک های سرتاسر جهان وجود داشته، بنابراین افزودن جیوه انسانی، تفاوت اندکی در آنجا از نظر ذخیره کل ایجاد کرده است. در حال حاضر تخلیه های جیوه با منشا انسانی در خاک ها و اقیانوس ها و نیز پدیده "انتشار مجدد جیوه در هوا"، به عنوان عوامل اصلی، غلظت جیوه در اتمسفر بالا برده است.

پس از برآورد GMA در سال ۲۰۱۳، "مطالعات جدید بر روی انتشارات معدنی جیوه در دنیای جدید پس از قرن شانزدهم" و بررسی مجدد مقادیر جیوه در رسوبات دریاچه ها و باتلاق های ذغال سنگ نارس، نشان داده است که تأثیر انسان بر چرخه جیوه جهانی بسیار قبل از آغاز عصر صنعتی بوده است. اغلب مطالعات سال ۱۸۵۰ را به عنوان نقطه شروع سنجش تأثیرات انسانی بر سطوح جیوه در سراسر جهان نام برده اند. با این وجود هنوز هم توافقی در مورد زمان قطعی شروع سنجش وجود ندارد، اما واضح است که در حال حاضر غلظت فعلی جیوه در اتمسفر چندین برابر بیشتر از سطوح "طبیعی" آن است.

در حال حاضر مقدار کل جیوه محیط ترکیبی از منابع است این منابع شامل:

- انتشارات با منشا انسانی تاریخی در هوا، زمین و اقیانوس ها
- منابع طبیعی تاریخی

¹ Biomagnification

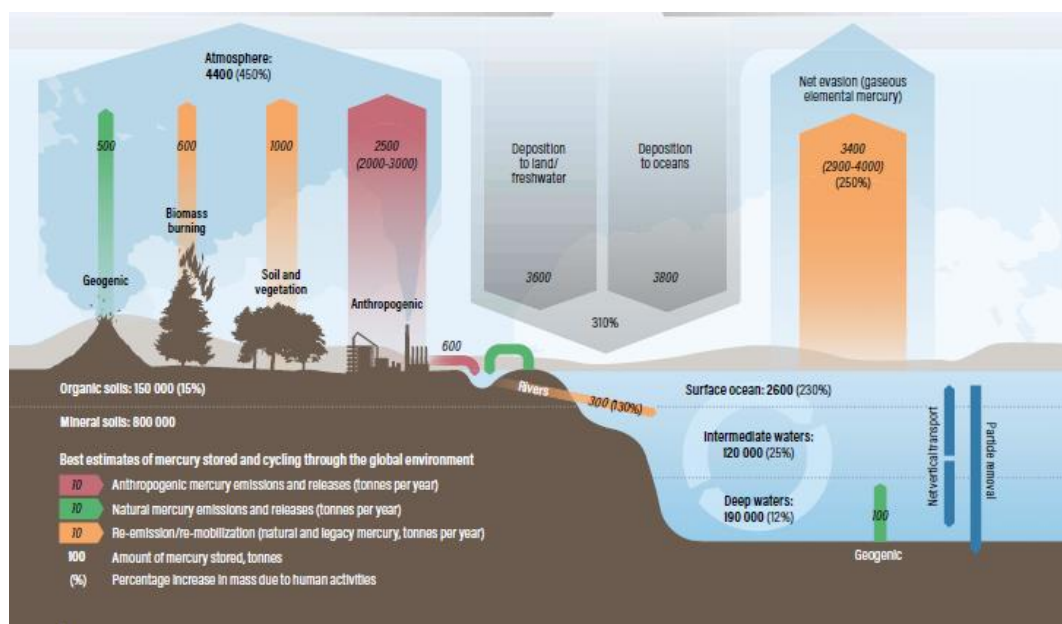
¹ GLOBAL MERCURY ASSESSMENT

• انتشارات انسانی و طبیعی فعلی

تأثیر استخراج تاریخی نقره بر بودجه جیوه اقیانوسی بسیار تاثیرگذار بوده است. اخیراً، یک مطالعه تاریخی جدید واردات و مصرف جیوه را در طی استخراج نقره استعماری در مکزیک، پرو و بولیوی کنونی بررسی کرد. مشخصات رسوب دریاچه در نزدیکی عملیات معدنی افزایش قابل توجهی در جیوه در طول دوره فعالیت معدن نشان را می دهد.

مطالعات جدیدتر GMA در ۲۰۱۸ سال تجدید نظرانی را در خصوص بودجه بندی جیوه شامل ذخایر و حرکات جهانی جیوه را در سیستم زیست محیطی جهانی نشان می دهد. اکثر تغییرات این مطالعه نسبت به مطالعه قبلی GMA در سال ۲۰۱۳ نسبتاً کوچک هستند و انتشارات ناشی از خاک و پوشش گیاهی به طور قابل توجهی کمتر از میانگین قبلی است. یافته‌های جدید حاصل از مدل سازی‌های اخیر نشان می دهد که استخراج معادن از قرن شانزدهم تقریباً دو سوم از کل جیوه انسانی موجود در اقیانوس‌ها را تشکیل می دهد. این جیوه قبل از سال ۱۹۲۰ وارد اقیانوس ها شده است. از آن زمان به بعد عمدتاً یک سوم باقیمانده از ورودی های جیوه با منشا انسانی به اقیانوس ها از احتراق زغال سنگ و سایر فعالیت های صنعتی به دست آمده است. نتایج این مدل ها با سایر تخمین ها از میزان جیوه انسانی در اقیانوس های جهان مطابقت دارد. بودجه جهانی جیوه به روز شده تأثیر فعالیت های انسانی بر چرخه جیوه و افزایش در نتیجه جیوه انباشته شده در خاک ها و اقیانوس ها را نشان می دهد.

بر اساس این مطالعه بودجه جهانی جیوه به شکل زیر تجدید نظر گردید:



چرخه جهانی جیوه GLOBAL MERCURY ASSESSMENT, UNEP 2018

جیوه در محیط های کاری

در حال حاضر بیش از ۶۰۰ شغل وجود دارد که با جیوه مواجهه دارند. برخی از این مشاغل عبارتند از تولید وسایل اندازه گیری مانند دماسنج ها و فشارسنج ها، لامپ های الکتریکی، باتری ها به ویژه باتری های آلکالاین تا قبل از سال ۱۹۹۶، ترموستات ها، لامپ های فلورسنت و نئون، رنگ های لاتکس قدیمی، آینه ها، دیگ های بخار، اکسیداسیون تر یکبات آلی به عنوان کاتالیست، استخراج طلا و نقره از سنگ های معدنی، یک سوکندنده های جریان برق، تولید کلر و کاغذ، آمالگام های دندان پزشکی، گریس، رنگ های محافظ چوب، مواد منفجره، فتوگراف ها، حشرکش ها، قارچکش ها، تولید فولاد، تعمیر دستگاه های هواشناسی، کلیدهای الکتریکی بی صدا، زباله سوزها، آب کاری، چرم سازی، تاکسی درمی، نیروگاه های زغال سوز و گازسوز، عملیات آزمایشگاهی مرتبط با جیوه، خن ککننده های راکتورهای هسته ای، نقاشی، جواهرسازی و غیره. مواجهات شغلی با جیوه در ایران، عمدتاً در واحدهای کلرآلکالی، صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه های تولید دماسنج، معادن طلا و کلینی ک های دندان پزشکی رخ میدهد. مواجهه شغلی با بخار جیوه متعاقب تنفس، دارای پتانسیل قوی ایجاد اثرات بهداشتی از طریق جذب از ریه ها، می باشد. شدت مواجهه با جیوه به تعدادی از عوامل مانند دوز، سن فرد در معرض حساس ترین جنین است، مدت زمان مواجهه، راه مواجهه مانند، استنشاق، بلع و تماس پوستی، و وضعیت سلامت فرد در معرض بستگی دارد. که می تواند شامل اثرات کوتاه مدت، علائم برگشت پذیر مانند، لرزش، تغییرات احساسی، بی خوابی، تغییرات عصبی و عضلانی، سردرد، اختلال در حس، تغییرات در پاسخ های عصبی و اختلال در عملکرد آزمون عملکرد شناختی. علاوه بر این، و جدی تر، می تواند باعث آسیب های بهداشتی شدید یا غیرقابل برگشت مانند: نارسایی کلیوی و تنفسی، و در موارد شدید، حتی مرگ گردد.

کنترل مواجهه با جیوه در محیط کار

حذف جیوه یک اولویت و برنامه جهانی است. لذا تهیه، تدوین و اجرای برنامه ای که بتواند این مشکل را برطرف کند الزامی می باشد. مطالعات حاکی از آن است که تنها هزینه های ناشی از کاهش بهره هوشی کودکان و به تبع آن کاهش بهره وری ناشی از جیوه در سال ۲۰۰۰، سالانه نزدیک به ۸/۷ میلیارد دلار (با دامنه ۲/۲ تا ۴۳/۸ میلیارد دلار) برآورد شده که بخش اعظم آن مربوط به کارخانجات تولید برق آمریکاست. مطالعه هزینه های زیست محیطی آلودگی جیوه حاکی از آن است که برای جبران آلودگی ناشی از هر کیلوگرم جیوه در محیط زیست، به طور میانگین باید نزدیک به ۱/۱ میلیون دلار هزینه کرد. در صورتی که اگر هزینه های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از بیماری های مربوط به جیوه و همچنین هزینه های اجتماعی مرتبط را نیز مدنظر قرار دهیم، آنگاه اهمیت موضوع مشخص تر می گردد. در مورد هزینه های ناشی از جیوه و ترکیبات آن در ایران، متأسفانه مطالعه ای صورت نگرفته است ولی با توجه به مطالعات سایر کشورها پس از مشخص شدن منابع و مناطق خطر و تهیه آمارهای مربوطه، می توان با توجه به مطالعات سایر کشورها این هزینه ها را محاسبه کرد. بهترین راه پیش گیری از خطرات جیوه، حذف کامل مواجهه با آن است که این کار باید به وسیله ارزیابی ریسک صورت گیرد. طبق بررسی ها و برنامه جامع سازمان جهانی دو رویکرد برای حذف و کاهش جیوه و مواد حاوی جیوه، تحت عناوین لیست مثبت و لیست منفی پیشنهاد شده است. لیست مثبت بدین معنی است که تولید، مصرف و حمل و نقل کلیه مواد و ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که در این لیست مشخص شده، اجازه استفاده دارند. لیست منفی نیز بدین معناست که تولید، مصرف و حمل و نقل کلیه مواد و ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که در این لیست اعلام شده، ممنوع است. رویکردی که به نظر می رسد با توجه به شرایط کشور در قالب برنامه عملیاتی قابل اجرا باشد، رویکرد لیست مثبت می باشد. در این راستا مرکز سلامت بهداشت محیط و کار وزارت بهداشت،

درمان و آموزش پزشکی، 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، 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 ریخت و پاش جیوه می‌گردد.

راهنمای کنترل مواجهه با بخار جیوه در محیط کار

اقدام در جهت پیدا کردن یک جایگزین برای جیوه

آیا واقعاً نیازی به استفاده از جیوه وجود دارد؟ آیا 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.

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

تحلیل ایمنی پروژه

تحلیل ایمنی پروژه 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 آموزشی 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.

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 ریخت و پاش 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. بسته بندی 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).

کنترل های مدیریتی

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

ارزیابی خطر

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

- آماده نمودن برگه کار یک پارچه IWS ، برای آشنائی با خطرات مربوط به بهره برداری خاص و اجرای کلیه کنترل های لازم
- تهیه برگه اطلاعات ایمنی مواد MSDS ، برای شرح خطرات و کنترل جیوه و هر یک از ترکیبات آن به طور جداگانه
- آموزش های کامل ایمنی در آزمایشگاه، خطرات مرتبط، بهره برداری از دستگاه ها و تجهیزات خاص و روش ایمن انجام کار به کارگران و کلیه پرسنل در مواجهه
- مستند نمودن کلیه دوره های آموزشی و نگهداری سوابق آن ها در واحد HSE
- اطلاع واحد HSE از موارد استفاده جدید از جیوه (به جز دماسنج)
- برای تمام پروژه های جدید یا در حال انجامی که تغییرات قابل توجهی در آنها صورت گرفته باشد، و یا زمانیکه شرایط خطرناک رخ داده، تحلیل ایمنی پروژه الزامی است. (کاربرگ جمع آوری اطلاعات مربوط به کار با جیوه فلزی در پیوست ۴ و کاربرگ جمع آوری اطلاعات مربوط به روش های کنترلی جیوه فلزی در پیوست ۵ آمده است)

وظایف واحد HSE

- راهنمایی در انتخاب کنترل ها و ارائه آموزش اختصاصی
- تعیین نوع پایش جیوه در محیط کار در صورت نیاز
- ارزیابی مستندات تهیه و تایید شده توسط سازمان های ذیربط و اخذ مجوزهای مورد نیاز
- 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 کاملاً محصور با مقادیر مصرفی کمتر از ۱ ml انجام گردد، واحد HSE می تواند از نوشتن طرح ایمنی چشم پوشی کند. با تذکر این نکته که استفاده از دی متیل جیوه، همیشه به یک برنامه ایمنی کاربردی OSP نیاز دارد.

آموزش

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

- آموزش استفاده ایمن از جیوه
- آموزش خطرات جیوه
- آموزش پاک سازی ریخت و پاش مختصر
- آموزش استفاده مناسب از پاک کننده های مکننده جیوه. کارگرانی که از تجهیزات شکستنی حاوی بیش از ۱ ml جیوه فلزی استفاده کرده و یا آن را باز و بسته می کنند، باید آموزش استفاده صحیح از مکننده های جیوه و دیگر روش های پاک سازی را دیده باشند.
- آموزش استفاده از تجهیزات حفاظت فردی، از جمله آموزش استفاده ایمن از ماسک تنفسی
- آموزش روش اطلاع رسانی برای دریافت خدمات اضطراری و گزارش حادثه
- آموزش خطرات مرتبط با جیوه، ایمنی آزمایشگاه و انجام کار آزمایشگاهی به روش ایمن (برای شناخت خطرات مواد شیمیائی و انجام کار آزمایشگاهی به روش ایمن می توانید به راهنما و دستورالعمل جامع مواد شیمیایی خطرناک مرکز سلامت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با کد الزامات ۱-۰۹۰۷-۲۰۵۰۲۰۲ مراجعه کنید).

روش ایمن کار با جیوه

- شاغلین در مواجهه با جیوه باید از شیوه های کار ذکر شده در زیر آگاه بوده و از آن پیروی کنند.
- در صورت امکان، اجتناب از استفاده از جیوه. استفاده از تجهیزات و ابزارهای اندازه گیری دما و یا فشار جایگزین فاقد جیوه
 - در صورت استفاده از مواد یا روش های جایگزین، انتخاب روش جایگزین موجود با کم ترین میزان خطر
 - استفاده از تجهیزات حفاظت فردی اضافی، بسته به نوع و غلظت جیوه با نظر واحد HSE
 - اجتناب از خوردن، نوشیدن، استعمال دخانیات، نگهداری مواد غذایی، نوشیدنی، دخانیات یا لوازم آرایشی و بهداشتی در مناطقی که از جیوه استفاده می گردد.
 - اجتناب از تماس چشم و پوست با جیوه، و استفاده از دستکش های حفاظتی
 - عدم استفاده از دستکش های یک بار مصرف ساده و سبک برای کارهای سنگین، چرا که به راحتی پاره شده و امکان ورود جیوه به زیر ناخن و یا تماس با دیگر نقاط پوست را ممکن می سازد.
 - 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 دستکش ها یا لباس های حفاظتی که جهت حفاظت از جیوه و ترکیبات آن پیشنهاد گردیده، اطلاعات مختصری در دسترس است).
 - شستن دست و صورت پس از دست زدن به جیوه، قبل از ناهار و استراحت، و در پایان از هر دوره کاری
 - عدم کار با جیوه در سطوح درزدار (مانند درزهای کاشی، فضاها بین تخته های چوبی، ستون های چوبی، گودی دیوار، شکاف بین پایه ها و سطح میز)، شکاف سنگ ها و سایر سطوح سخت، سطوح
 - منفذدار (مانند فرش، چوب و رنگ متخلخل)، و سطوح کاذب
 - عدم ذخیره یا کار با جیوه در نزدیکی آب رو ها یا فاضلاب ها. جیوه نشت شده پس از به دام افتادن در سینک، با فلز لوله های فاضلاب تشکیل آمالگام داده و باعث تخریب آن می گردد، و سپس وارد محیط زیست و یا مخازن طراحی شده جهت

نگهداری آب می گردد. جیوه موجود در سیستم لوله کشی و تخلیه ممکن است باعث مواجهه غیر ضروری و به طور بالقوه نامطلوب در کارگران مسئول تعمیر و نگهداری و دیگران گردد.

- اجتناب از استفاده از جیوه یا تر یکبات آن در عملیاتی که منجر به تولید زباله های حاوی جیوه آلوده به تر یکبات پرتوزا گردد، زیرا دفع این نوع زباله های مخلوط، پرهزینه بوده و اغلب غیر ممکن است. فرایند دفع مناسب و یا ذخیره سازی طولانی مدت زباله جیوه آلوده به تر یکبات پرتوزا، به عنوان بخشی از وظایف واحد HSE، مستلزم مستندسازی می باشد.
- جهت محدود کردن هرگونه ریخت و پاش، انتقال جیوه مایع بین ظروف، باید در زیر هود مخصوص انجام گردد.
- کلیه تجهیزات حفاظت فردی، کنترل ها، تجهیزات و دستگاه ها باید از جانب خود افراد به صورت هفتگی بازرسی شده و اقدامات اصلاحی احتمالی مستند گردد.

برچسب زنی و ذخیره سازی

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

- بر روی تمام ظروف حاوی جیوه فلزی و تر یکبات آن برچسب زده شود.
- در برچسب ظروف و محل نگهداری از جیوه باید مطالبی مطابق نمونه زیر درج گردد:

هشدار: حاوی جیوه

دارای بخارات زیان آور در دمای اتاق

در صورت حرارت دادن در محیط باز، می تواند کشنده باشد.

از استنشاق بخار اجتناب شود.

از تهویه مناسب استفاده شود.

از تماس پوستی اجتناب شود.

- جیوه در نزدیکی مواد شیمیایی که می توانند با جیوه مخلوط قابل انفجار ایجاد کنند (مانند استیلن، آمونیاک، فسفوردی یدید بور، دی اکسید کلر، متیل آزید، کاربید سدیم و غیره) و یا مواد رادیواکتیو ذخیره نگردد.
- ترکیبات اکسیدکننده جیوه، از مواد آلی و سایر مواد قابل احتراق جداگانه نگاه داشته شود. علاوه بر این، ذخیره سازی کلیه مواد شیمیایی براساس کلاس مخاطرات انجام گیرد.
- به حداقل رساندن مقدار جیوه جهت استفاده یا ذخیره سازی
- مد نظر قرار دادن مهار یا کنترل نشت ذاتی جیوه در ذخیره سازی
- نگهداری جیوه در یک محل جداگانه خنک و ایمن
- استفاده از ظروف ساخته شده از مواد مقاوم در برابر ضربه، و یا قرار گیری در ظروف ثانویه محکم
- بستن محکم ظروف زمانی که از جیوه استفاده نمی گردد.
- اجتناب از برش کارتن های حاوی بطری های پلاستیکی پر شده با جیوه. یا پاره و باز نمودن بطری های پلاستیکی

بسته بندی و حمل و نقل

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

مواجهه با جیوه در دندانپزشکی

آمالگام یکی از کاربردهای مهم جیوه، ساخت آمالگام می باشد. آمالگام، آلیاژ جیوه فلزی با یک فلز دیگر شامل قلع و نقره بوده و حدود ۱۵۰ سال است که در دندانپزشکی کاربرد دارد. حلالیت یک پارامتر اساسی درگیر در تشکیل آمالگام بین جیوه عنصری و فلزات مختلف می باشد. در شرایط محیطی، نقره، طلا، مس، روی و آلومینیوم در حضور جیوه عنصری مایع یا گازی به آسانی تشکیل آمالگام می دهند. با این حال به جز روی، حلالیت این فلزات در جیوه عنصری نسبتاً کم است. حلالیت روی در جیوه، $15/2$ g در 100 g جیوه است، در حالیکه حلالیت طلا در جیوه تنها $0/13$ گرم در 100 g جیوه است. حلالیت نقره، مس و آلومینیوم حتی از طلا نیز پایین تر است.

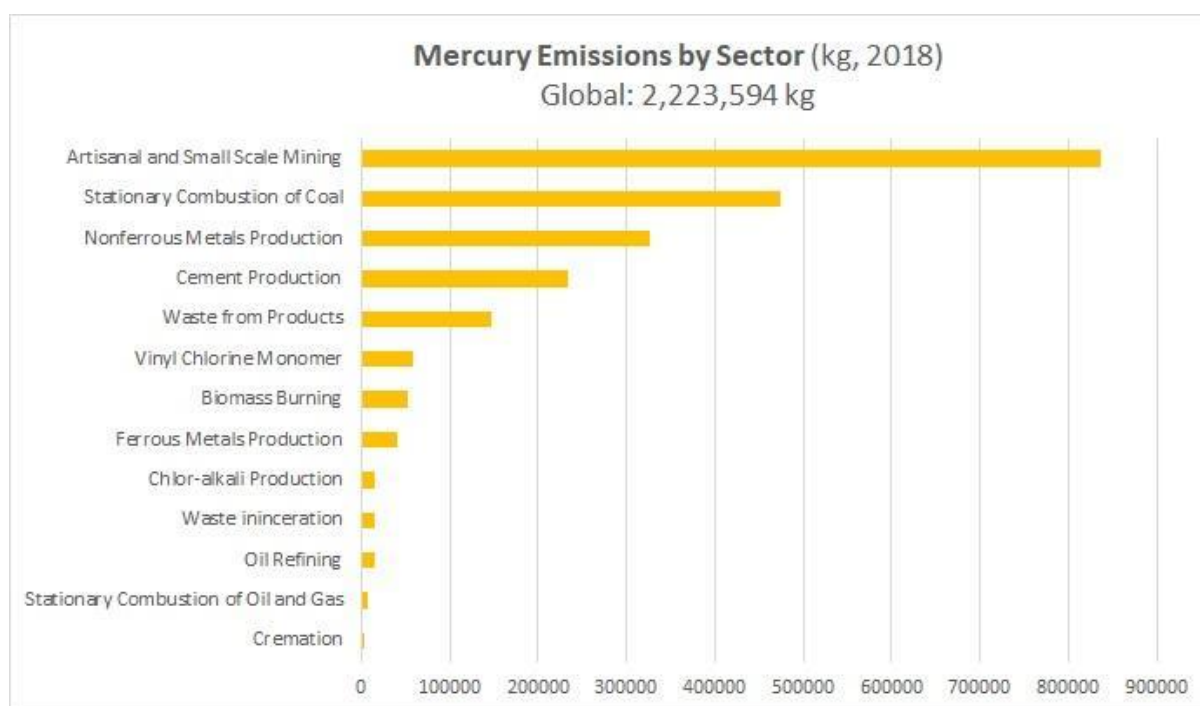
اگرچه آمالگام از نظر زیبایی نسبت به سایر ترمیم های رنگ دندان در سطح پایین تری قرار دارد، ولی همچنان به دلیل هزینه کم، طول عمر، دوام، مهر و موم کردن، آسان بودن مراحل کارکرد و پرداخت، برای کاربرد مستقیم به عنوان ماده ترمیمی در دندان های خلفی خصوصاً در مناطق تحت استرس، ترجیح داده می شود. در سال ۲۰۰۱ ترمیم های آمالگام برای ترمیم حفرات تحت نیرو در دندان های خلفی، توسط بیش از 75% از دندان پزشکان در انگلستان و 54% از دندان پزشکان در آمریکا مورد استفاده قرار گرفته است. دندان پزشکان و تکنسین های دندانپزشکی از گروه های در معرض خطر مواجهه شغلی با آمالگام بوده و چون جیوه در دمای اتاق تبخیر می شود، هنگام آماده سازی، خارج کردن و یا پرداخت دندان پر شده، در مواجهه با بخارات جیوه می باشند. اگر چه بعضی از مطالعات حاکی از بی خطر بودن مواجهه مزمن با جیوه در دندان پزشکان می باشد، ولی گروهی دیگر از مطالعات اثبات کرده اند که آمالگام عوارض قابل توجهی روی سلامت دندان پزشکان ایجاد می کند. مهم ترین فاکتورهای موثر در افزایش میزان مواجهه دندان پزشکان با جیوه عبارتند از: میزان قطرات جیوه فلزی و باقی مانده های ذرات آمالگام در محل کار، آماده سازی، جای گذاری و برداشتن ترمیم های آمالگامی، برش و تراش آمالگام، پرتاب تصادفی ذرات، آمالگام هایی که برای مصرف کنار گذاشته شده اند، روش مخلوط کردن آمالگام، پولیش کردن آمالگام، نشت از کپسول آمالگام حین آمالگام سازی، نوع آمالگام مصرفی، برداشتن اضافات جیوه تازه مخلوط شده با دست، آمالگاماتورهای مکانیکی، کندانسورهای اولتراسونیک، عدم استفاده از ساکشن با مکش بالا ۱ هنگام برداشتن آمالگام های 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 دندان پزشک، ساعات کار در هفته و تعداد ترمیم ها در هفته، از عوامل دیگری است که در میزان مواجهه دندان پزشکان با جیوه دخالت دارد. تماس پوست با آمالگام نیز می تواند باعث جذب جیوه گردد. اگر چه این مواجهه اندک است ولی به مرور زمان باعث تجمع جیوه در بدن می شود. در ضمن استفاده از ماسک و دستکش خطر مواجهه را به طور کامل از بین نمی برد.

فصل دوم :

فرآیندهای اتمسفریک جیوه

انتشارات جیوه: زمینه جهانی

انتشار جیوه هیچ مرز ملی و قاره ای نمی شناسد. جیوه ساطع شده در هوا می تواند هزاران مایل در اتمسفر را طی کند تا اینکه در نهایت در اثر بارندگی یا به صورت گاز خشک به زمین بنشیند. جیوه به طور طبیعی در پوسته زمین وجود دارد، اما فعالیت های انسانی، مانند استخراج و احتراق سوخت های فسیلی، منجر به انتشار گسترده جهانی جیوه شده است. جیوه ساطع شده در هوا سرانجام در آب یا خشکی رسوب می کند. پس از رسوب، میکروارگانیسم های خاصی می توانند آن را به متیل جیوه تبدیل کنند که این ترکیب یک شکل بسیار سمی از جیوه بوده و در ماهی، صدف و حیواناتی که ماهی می خورند تجمع می یابد. بیشترین تماس انسان با جیوه از طریق خوردن ماهی و صدف آلوده به متیل جیوه، در سراسر جهان است. بسیاری از افراد در جهان حداقل مقادیر کمی از متیل جیوه را در بافت های خود دارند که نشان دهنده حضور فراگیر آن در محیط است. بعضی از جوامع به میزان قابل توجهی بیش از جمعیت عمومی ماهی می خورند و بنابراین ممکن است در معرض آلودگی جیوه بسیار بیشتری نسبت به جمعیت عمومی باشند. تخمین زده می شود که بیش از ۷۵۰۰۰ نوزاد تازه متولد شده در ایالات متحده هر ساله در معرض خطر ابتلا به ناتوانی های یادگیری مرتبط با قرار گرفتن در معرض متیل جیوه را داشته باشند.



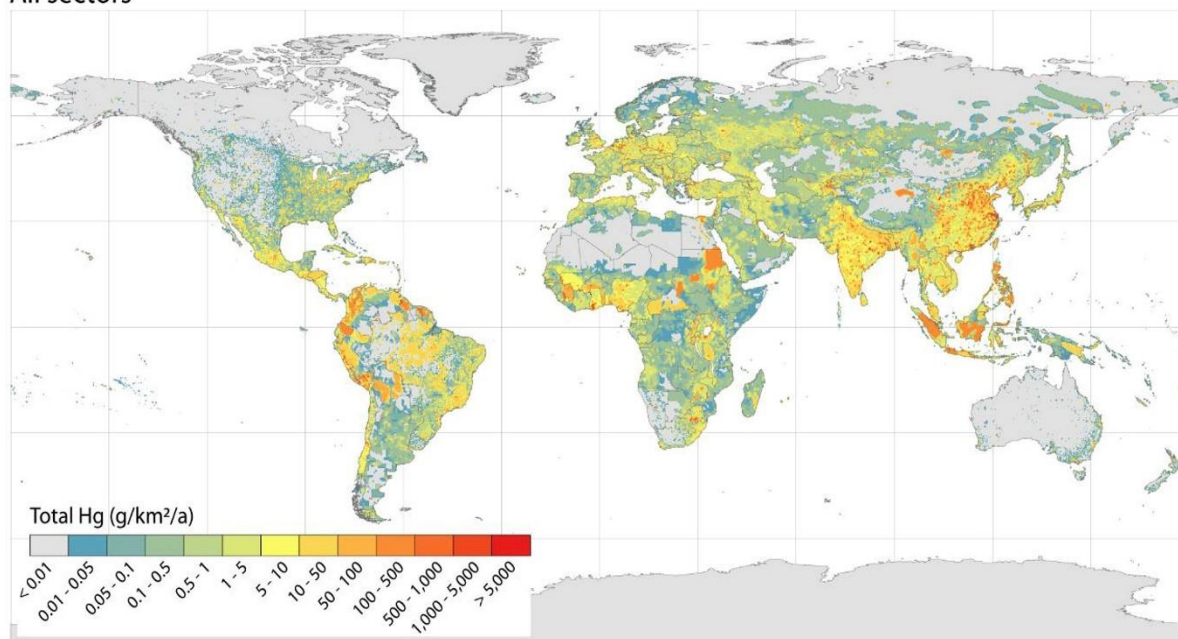
منابع جهانی انتشار جیوه، ۲۰۱۸	
منبع (کیلوگرم)	مقدار
استخراج صنعتی در مقیاس کوچک	۸۳۷۶۵۸
احتراق ثابت زغال سنگ	۴۷۳۷۷۷
تولید فلزات غیر آهنی	۳۲۶۶۵۷
تولید سیمان	۲۳۳۱۶۸
ضایعات حاصل از تولید محصولات جیوه ای	۱۴۶۹۳۸

مونومر کلر وینیل	۵۸۲۶۸
سوختن زیست توده	۵۱۸۶۰
تولید فلزات آهنی	۳۹۹۰۳
تولید کلر-قلیایی	۱۵۱۴۶
پاکسازی زباله	۱۴۹۴۴
پالایش نفت	۱۴۳۷۷
احتراق ثابت نفت و گاز	۷۱۳۰
سوزاندن	۳۷۶۸

انتشار در سراسر جهان

در سال ۲۰۱۵ برآورد انتشار جهانی سالیانه جیوه از منابع انسانی تقریباً ۲۲۲۰ تن در سال گزارش گردید. این برآوردها شامل انتشار مجدد جیوه در اتمسفر نیز می شود. نقشه جهانی زیر اطلاعاتی را در مورد توزیع جهانی انتشار جیوه از منابع انسانی ارائه می دهد.

All sectors



انتشار جیوه کل از منابع انسانی در سال ۲۰۱۵

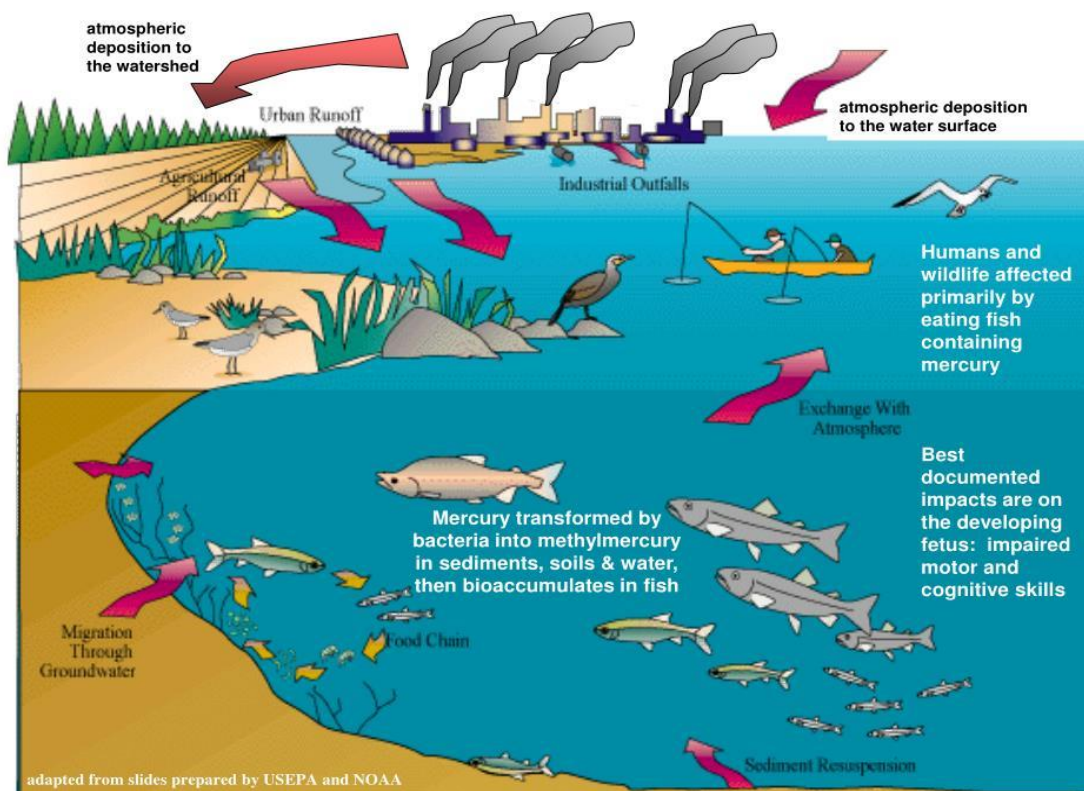
در آگوست ۲۰۱۶، EPA لیستی از پنج ترکیب جیوه را منتشر کرد که صادرات آنها از ۱ ژانویه ۲۰۲۰ ممنوع است.

در مارس ۲۰۱۷، EPA گزارش موجودی اولیه عرضه، استفاده و تجارت جیوه در ایالات متحده را منتشر کرد.

در ژوئن ۲۰۱۸، EPA قانون گزارش موجودی جیوه را منتشر کرد، که بر اساس آن الزامات گزارش دهی موجودی سه ساله در سال ۲۰۲۰ و بعدی را تأیید می کند.

در تاریخ ۲۷ ژوئن ۲۰۱۸، EPA قانون نهایی را در ثبت فدرال منتشر کرد طبق این قانون کلیه ی شرکت ها ، سازمان ها و افرادی که محصولات جیوه را تولید یا وارد می کنند ، یا از جیوه در یک فرآیند استفاده می کنند، ملزم می کند اطلاعات جیوه خود را با استفاده از برنامه آنلاین گزارش الکترونیکی جیوه^۴ (MER) به EPA ارسال کنند، این برنامه به صورت فرم ها و چک لیست هایی تنظیم شده است. از طریق آژانس تبادل داده ها^۵ (CDX) می توان به برنامه MER دسترسی پیدا کرد. بر اساس گزارشات و اطلاعات جمع آوری شده ، آژانس فرآیندهای تولید و انتشارا جیوه را شناسایی و اقدامات لازم برای کاهش استفاده از جیوه را توصیه می کند.

در تاریخ ۳۰ مارس ۲۰۲۰، EPA اولین گزارش از سری گزارشات سه ساله در مورد تأمین ، استفاده و تجارت جیوه در ایالات متحده را منتشر کرد که توسط قانون گزارش موجودی جیوه آژانس پشتیبانی می شود. براساس اطلاعات جمع آوری شده تحت قانون گزارش موجودی جیوه ۲۰۲۰، هر فرآیند تولید جیوه یا محصولی را که جیوه به آن اضافه می شود، شناسایی می کند و اقدامات لازم برای دستیابی به کاهش استفاده از جیوه را توصیه می کند.



تصویری از چرخه جیوه (تهیه شده توسط EPA و NOAA ایالات متحده)

تحقیقات جدید نشان می دهد که جیوه نیز در سطح بالقوه خطرناک در حیات وحش زمینی در حال تجمع است. اما انتشار جیوه در موجودات از بدن زنده شروع نمی شود ، بلکه از طریق فعالیت های انسانی نظیر سوخته های فسیلی و همچنین برخی

¹ Mercury Electronic Reporting (MER) Central Data Exchange (CDX) ¹

منابع طبیعی نظیر سنگ معدن به زیست کره منتقل می شود، در سراسر کره زمین گردش میکند و در بدن موجودات زنده تجمع می یابد.

نتایج حاصل از نمونه برداری از یخچال ها نشان می دهد که طی ۱۰۰ سال گذشته ۷۰٪ افزایش در سطح جیوه جوی نسبت به جیوه پس زمینه طبیعی قبل از صنعتی شدن وجود داشته است. با این حال ، مشاهده می شود که غلظت های اخیر جیوه در نمونه های یخچال Fremont طی دهه ۱۹۹۰ کاهش یافته است ، از مقادیر حداکثری ۲۰ برابر سطح پس زمینه به تقریباً یازده چند برابر سطح پیش صنعت رسیده است.

منابع انتشارات جوی جیوه

در فوریه ۲۰۰۵ ، شورای حکومتی برنامه محیط زیست سازمان ملل متحد حکمی را صادر کرد که:

"از مدیران اجرایی درخواست می کند تا هماهنگی بین برنامه جیوه محیط زیست سازمان ملل و دولت ها با سایر سازمان های بین المللی، سازمان های غیر دولتی، بخش خصوصی وجود داشته باشد و مشارکت ها را در خصوص موارد زیر انجام دهد:

(الف) بهبود درک جهانی از انتشار بین المللی ، منابع ، سرنوشت و حمل و نقل جیوه

(ب) ترویج و توسعه موجودی های استفاده و ترشحات جیوه

(ج) ارتقا و توسعه روش های دفع و اصلاح صحیح محیط زیست

(د) افزایش آگاهی از روش های بازیافت محیط زیست سالم

منابع انتشار جیوه را می توان به سه دسته عمده تقسیم کرد:

- منبع طبیعی یا انتشار ناشی از منابع زمینی جیوه
- منابع انسانی فعلی شامل آزاد سازی جیوه از مواد اولیه و همچنین آزادسازی جیوه ای که در محصولات و فرآیندها استفاده می شود.
- منابع انسانی تاریخی که ناشی از انتقال و انتشار مجدد جیوه است که قبلاً از جو به خاک ، آب و گیاهان رسوب داده شده است.

ارزیابی جهانی جیوه که توسط برنامه محیط زیست سازمان ملل در سال ۲۰۱۳ صادر شده تخمین می زند که ۵۵۰۰ تا ۸۹۰۰ Tone (۱ = ۱ میلی گرم) جیوه هر ساله مستقیماً به جو منتقل می شود و از این تعداد ، تقریباً ۱۰٪ از منابع طبیعی است ، ۳۰٪ از منابع انسانی فعلی و ۶۰٪ از انتشار مجدد از منابع انسانی است.

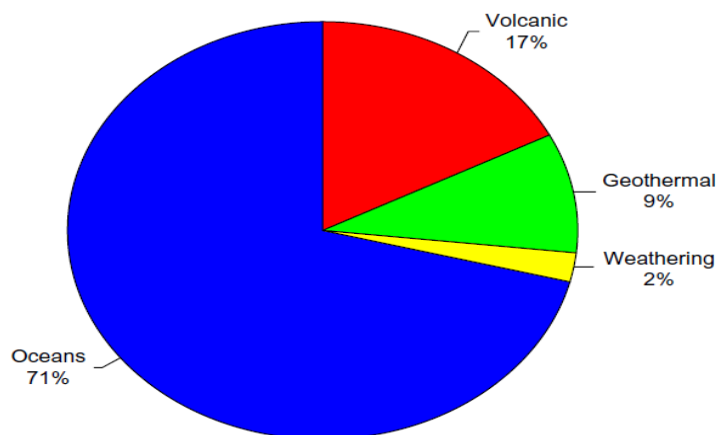


Figure 6 Relative contributions of estimated mercury emissions to the atmosphere from natural sources.

Note: Data from Varekamp and Buseck.⁴⁴

• منابع طبیعی

منابع طبیعی انتشار جیوه به جو ، منابعی هستند که از فرآیندهای کاملاً طبیعی و بدون هیچ گونه مداخله انسانی ناشی می شوند. این منابع مسئول سطح جیوه اتمسفری پس زمینه هستند. منابع طبیعی جیوه شامل فعالیت های زمین گرمایی ، فوران های آتشفشانی ، فرار طبیعی از سطح اقیانوس ها و هوازدگی مواد معدنی حاوی جیوه است. انتشار طبیعی جیوه به جو در مقایسه با کل انتشار جهانی جیوه با مقدار تقریبی ۶۴۳ تن در سال است.

یکی از منابع طبیعی بالقوه مهم جیوه ، فعالیت های زمین گرمایی و فوران های آتشفشانی است. مایعات زمین گرمایی با گذشت زمان و انحلال در دمای بالا از فلزات کمیاب بستر ، مانند طلا ، نقره ، آرسنیک ، آنتیموان و جیوه غنی می شود. مقدار انحلال و انتقال جیوه در مایعات زمین گرمایی تحت تاثیر درجه حرارت ، pH ، حالت اکسایش اکسیداسیون و غلظت مواد کمپلکس کننده در مایعات و همچنین انواع مواد معدنی زیرسطحی موجود در سیستم می باشد.

افزایش دما و pH همراه با کاهش قدرت یونی ، PO_2 و گوگرد کل ، همگی باعث ایجاد جیوه اولیه می شوند. از آنجا که این مایعات زمین گرمایی با آب اکسیدکننده یا اسیدی مخلوط می شوند ، تشکیل جیوه II محتمل است ، و در نتیجه دوباره سنگ سینبار ایجاد می شود. بنابراین، انتشار جیوه از این سیستم ها، ناشی از آزادسازی حرارتی جیوه از بستر گرم غنی شده با جیوه در تماس با سیال زمین گرمایی احیا کننده و متعاقب آن فرار شدن جیوه اولیه به جو ناشی از جریان گرما است. انتشار جیوه از سیستم های زمین گرمایی با گاززدایی آرام، مانند چشمه های آب گرم، دارای تنوع مکانی و زمانی است که به سن و نوع سیستم زمین گرمایی بستگی دارد. برآورد فعلی برای انتشار جهانی جیوه به جو از اثر زمین گرمایی سالانه ۶۰ تن است که ۹٪ از کل انتشارات جوی از منابع طبیعی است. اگرچه مقدار جیوه منتشر شده از سیستم های زمین گرمایی در مقیاس جهانی زیاد نیستند ، اما اگر از انرژی زمین گرمایی به عنوان منبع انرژی استفاده شود ، ممکن است در مقیاس محلی یا منطقه ای نگران کننده باشد.

جیوه تقریباً با مکانیزم مشابه سیستم های زمین گرمایی از آتشفشان های فعال آزاد می شود. جیوه اولیه از گدازه داغ تبخیر می شود و همراه با سایر گازهای گرم به جو منتقل می شود. سهم انتشار جیوه از آتشفشان ها نیز بسته به تعداد ، مکان و فاز

فوران آتشفشان های فعال در طول زمان و مکان متفاوت است. یک فوران عمده می تواند منجر به افزایش ۴-۶ برابری سطوح جیوه نسبت به قبل از فوران شود.

در حال حاضر حدود ۵۰-۷۰ آتشفشان زمینی وجود دارد که تا حدی فعال هستند. مقدار جیوه منتشر شده از جو در اثر این فوران ها ، با توجه به اندازه ، مدت زمان و فاز فوران و زمین شناسی زیر سطح آتشفشان متفاوت است. برآورد فعلی انتشار کل جیوه جهانی از فعالیت های آتشفشانی از حدود یک تا ۷۰۰ تن در سال متغیر است. این طیف گسترده ای از تخمین ها تا حدی به دلیل تغییر زیادی در انواع و مکان های فوران های مورد مطالعه است. انتشار جیوه از آتشفشان های انفجاری بزرگ و گاززدایی مداوم حدود ۷۵ تن در سال است ، در حالی که انتشار جیوه از فوران های پراکنده کوچکتر ، ۱۰ تا ۱۰۰ تن در هر فوران است. فوران های بزرگ انفجاری تنها ۱۵٪ از کل انتشار جیوه آتشفشانی را تشکیل می دهند. با این حال ، وقوع چندین فوران بزرگ در هر قرن می تواند منجر به انتشار ۱۰۰۰ تن جیوه به جو شود ، و بار کل جو را برای مدت زمان کوتاه طاقت فرسا می کند. کل جریان جهانی جیوه به جو ناشی از فعالیت های آتشفشانی حدود ۱۱۲ تن در سال تخمین زده شده است که ۱۷ درصد از کل انتشار جیوه در جو از منابع طبیعی را تشکیل می دهد (شکل ۶).

انتشار مستقیم دمای پایین از هوازدگی کانسارهای جیوه معدنی به محیط های آبی و زمینی می تواند از طریق حمل و نقل رسوبات و گرد و غبار باد ایجاد شود. با این حال ، فراوان ترین شکل جیوه معدنی که به طور طبیعی وجود دارد ، سینابار (HgS) است که در برابر اکسیداسیون دمای پایین و فرآیندهای هوازدگی بسیار مقاوم بوده و در آب نامحلول است.

اگرچه جیوه ابتدایی در ذخایر معدنی جیوه بسیار غنی ، مانند معدن جیوه New Idria در کالیفرنیا یافت شده است ، اما این مناطق نیز تحت فعالیت های استخراج قرار گرفته اند و انتشار جیوه در این مکان ها عمدتاً به عملیات های انسانی نسبت داده می شود. تخمین زده شده است که انتشار طبیعی جیوه به جو از مناطق معدنی به ترتیب ۱۰-۲۰ تن در سال است ، تقریباً ۲٪ از کل انتشار جیوه در جو از منابع طبیعی است.

شاید بزرگترین منبع انتشار جیوه طبیعی به جو ، انتشار گونه های فرار جیوه از سطح آب های اقیانوسی باشد. منابع طبیعی جیوه به اقیانوس ها شامل دریچه های هیدروترمال (گرمابی) زیردریایی و فعالیت آتشفشانی در کف اقیانوس و رسوب جیوه طبیعی است که مستقیماً به جو منتشر می شود. دریچه های گرمابی در مناطق فعال آتشفشانی ، اغلب در پشته های میانه اقیانوس ، در شکاف صفحات تکتونیکی ، تشکیل می شود. مایعات هیدروترمال در این دریچه ها می توانند تحت فشارهای زیاد کف اقیانوس به دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد برسند. همانند سیستم های زمین گرمایی ، در دمای بالا می تواند جیوه اولیه را از بسترهای غنی شده با جیوه خارج کنند. غلظت جیوه در مایعات هیدروترمال ۱۰۰۰ برابر بیشتر از آب دریا است. از آنجا که این مایعات زمین گرمایی با آب سرد دریا اکسید شده و مخلوط می شوند ، Hg^{2+} تشکیل می شود ، در مجاورت منافذ هیدروترمال غلظت جیوه را افزایش می دهد. این نشست ذرات معلق در کف دریا ممکن است منجر به دفن در رسوبات عمیق دریا و بازگشت جیوه به مخازن مواد معدنی شود. تخمین های اخیر دفن رسوبات حاوی جیوه در محدوده ۱۸۰-۲۶۰ تن در سال است. باکتری های گرمابای محاصره کننده منافذ هیدروترمالی قادر به کاهش Hg^{2+} به جیوه عنصری هستند، در نتیجه با آزاد کردن جیوه عنصری به درون اقیانوس می تواند آن را به آب های سطحی منتقل کند. جیوه طبیعی مشتق شده از سطح اقیانوس به جو ۴۵۶ تن در سال تخمین زده می شود، این ۷۱٪ از انتشار جیوه در جو را منابع طبیعی تشکیل می دهد.

• منابع انسانی فعلی

سهم نسبی منابع عمده انسانی فعلی در انتشار جیوه در جو، مطابق ارزیابی جهانی برنامه جیوه از برنامه محیط زیست سازمان ملل در سال ۲۰۱۳، در شکل ۷ نشان داده شده است. منابع انسانی فعلی انتشار جیوه به محیط به دو دسته عمده تقسیم می شوند. دسته اول فرآیندهایی هستند که جیوه موجود در سوخت ها یا مواد اولیه که به عنوان ناخالصی وجود دارد، آزاد می شود. انتشار جیوه ناشی از این ناخالصی ها گاهی اوقات به عنوان انتشار "غیرعمد" یا "محصول جانبی" یاد می شود. منابع اصلی جیوه اتمسفر در این گروه سوزاندن ذغال سنگ (۳۳٪) و فعالیت های معدنی و ذوب (۲۲٪)، سهمی ناچیز از احتراق نفت و گاز طبیعی (۱٪) و تصفیه روغن (۱٪) است. دسته دوم شامل ترشحات حاصل از فرآورده ها یا فرآیندهایی است که در آن به طور عمد از جیوه استفاده می شود. بزرگترین منبع جیوه جوی در این گروه استخراج طلا در مقیاس کوچک (۳۷٪) و پس از آن دفع یا پردازش زباله های محصولات مصرفی (۵٪) است. سایر منابع عمدی انتشارات جیوه ناشی از استفاده از آن در صنایع کلر-قلیایی (۱٪) و آزاد شدن از آمالگام دندان است (۱٪). احتراق ذغال سنگ مهمترین منبع انتشار جیوه انسانی "غیرعمدی" است که منجر به آزاد شدن سالانه ۶۴۷ تن در جو می شود و ۳۳٪ از کل انتشارات انسانی فعلی ناشی از گرمایش تجاری و مسکونی است. با این حال، بیش از ۸۵٪ از انتشار جیوه از زغال سنگ از طریق تولید برق حاصل میشود. غلظت جیوه در زغال سنگ نسبتاً کم از ۰/۰۱ تا ۱/۵ g/Mg، با میانگین جهانی در حدود ۰/۱ g/Mg است.

جیوه ای که از نیروگاه های الکتریکی ساطع می شود در هر ترکیبی از سه شکل، جیوه عنصری فاز بخار، ترکیبات جیوه فاز بخار II یا جیوه ای که بر روی ذرات جذب می شود مستقیماً در اتمسفر آزاد می شود. انتشار عمده گونه ها به نوع و میزان رطوبت زغال سنگ و دمای احتراق آن بستگی دارند. به طور کلی، اکثر انتشارات جیوه از احتراق ذغال سنگ قیر جیوه II است، در حالی که اکثر جیوه آزاد شده از احتراق ذغال سنگ لیگنیت، جیوه اولیه است.

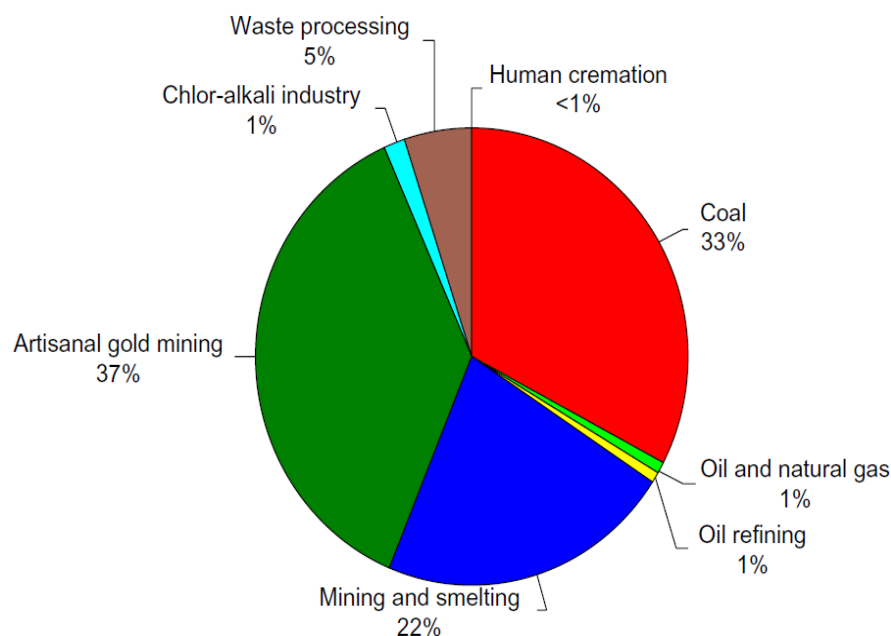


Figure 7 Relative contributions of estimated mercury emissions to the atmosphere from current anthropogenic sources.
 Note: Data from Varekamp and Buseck.⁴⁴

میزان جیوه آزاد شده همچنین با توجه به نوع و کارایی تجهیزات کنترل مورد استفاده، تعیین می شود. معمولاً در سرتاسر جهان رسوب دهنده های الکترواستاتیک و فیلترهای پارچه ای برای کنترل ذرات مورد استفاده قرار می گیرند اگر این فرآیندها به درستی راهبری شوند، در حذف ۰/۹۹ درصد ذرات تولید شده در احتراق کارآمد هستند، اما تقریباً ۹۰۰ تن ذرات همچنان سالانه به جو منتقل می شوند. عمده ترین گونه هایی که از احتراق ذغال سنگ در نیروگاه های برق به جو منتقل می شوند، گونه های فاز بخار هستند، به عنوان مثال جیوه اولیه از زغال سنگ قهوه ای و جیوه II از ذغال سنگ قیر.

انتشار جیوه به اتمسفر از احتراق نفت و گاز طبیعی، حدود ۱۰ تن در سال می باشد، سهم جزئی (۱٪) از کل انتشارات انسانی فعلی در مقایسه با انتشار از احتراق ذغال سنگ است. روغن های سوختی توسط برخی از تاسیسات برق و برای گرمایش تجاری، صنعتی و مسکونی استفاده می شود. محتوای جیوه روغن های سوختی از ۰/۰۱ تا ۳۰ g/Mg و به طور متوسط ۳/۵ g/Mg است. بخش سنگین تقطیر روغن های سوختی که معمولاً در گرمایش مسکونی استفاده می شود حاوی مقادیر بالاتر جیوه هستند در حالی که بخش های سبک تر تقطیر حاوی جیوه کمتری هستند. محتوای جیوه گاز طبیعی بسته به موقعیت زمین شناسی به طور گسترده ای از ۰/۰۱ تا ۵۰۰۰ میکروگرم در متر مکعب متغیر است. با این حال، از آنجا که جیوه می تواند با سایر فلزات معمولاً در کارخانه های فرآوری گاز ترکیب شود و باعث خوردگی تجهیزات شود، لذا معمولاً تلاش می شود جیوه از جریان گاز قبل از پردازش حذف شود. میزان انتشار جیوه حاصل از احتراق گاز طبیعی به میزان جیوه گاز قبل از پردازش و میزان حذف جیوه بستگی دارد. تخمین زده می شود که در فرآیند تصفیه روغن تقریباً ۱۶ تن در سال جیوه در اتمسفر آزاد شود، که ۱٪ از کل انتشارات انسانی فعلی را نشان می دهد. راهسازی جیوه در اتمسفر در طی فرآیند تصفیه کم است زیرا پالایشگاه های نفت نیز به دلیل مشکلات مرتبط با تجمع آلومینیوم در تجهیزات تصفیه، سعی در حذف جیوه از نفت خام قبل از فرآوری دارند.

با این حال، در روش های معمول حذف جیوه از جاذب های جامد یکبار مصرف استفاده می شود. این جاذب ها حاوی جیوه موجب آزاد سازی جیوه در محل های دفن زباله دفع از زباله های جامد صنعتی می شوند. جیوه موجود در این زباله های صنعتی ممکن است به آرامی در محیط های آبی و خشکی شسته شود. تخمین زده می شود که ۰/۶ تن در سال جیوه از تصفیه روغن در محیط های آبی منتشر شود.

استخراج و فرآوری صنعتی سنگ معدن از منابع مهم جهانی انتشار جیوه به هوا و آب است. استخراج و فرآوری سنگ معدن شامل استخراج فلزات مورد نظر از مواد معدنی اطراف است. سنگ معدن با خرد کردن و شستشو، و به دنبال آن فرآیندهای مختلف تفکیک فیزیکی یا شیمیایی فرآوری می شود. غالباً، سنگ معدن فرآیند تصفیه و به دنبال آن گرم کردن سنگ معدن تا دمای بالا را طی می کند. این فرآیند، جیوه اولیه را در هوا آزاد می کند. میزان جیوه آزاد شده در این فرآیند به غلظت جیوه در سنگ معدن بستگی دارد.

انتشارات جهانی از معدن و فرآوری سنگ معدن تقریباً ۴۳۰ تن در سال (۲۲٪ از کل انتشارات انسانی فعلی) به اتمسفر و ۱۱۴ تن در سال به سیستم های آبی است. انتشار مستقیم در جو شامل: عملیات استخراج طلا (۹۷ تن در سال)؛ تولید اولیه فلزات غیر آهنی، یعنی آلومینیوم، مس، سرب و روی (۱۹۳ تن در سال)؛ تولید اولیه فلزات آهنی یعنی آهن، چدن و فولاد (۴۶ تن در سال)؛ و عملیات استخراج جیوه (۱۲ تن در سال). انتشار جیوه به خاک و آب از سایت های آلودگی مرتبط با استخراج جیوه گذشته تقریباً ۱۶/۷ تن در سال تخمین زده شده است. انتشار جیوه به طور مستقیم به جو از تمام سایت های استخراج و معادن، از جمله معادن متروکه جیوه، تقریباً ۸۳ تن در سال تخمین زده می شود.

منبع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر استفاده عمدی از جیوه، استخراج طلا در مقیاس کوچک است. در این فرآیندهای مقیاس کوچک، معدن چیان جیوه اولیه را با گل و لای خرد شده سنگ معدن طلا مخلوط می‌کنند که باعث ایجاد آمالگام می‌شود و طلای آن را از مواد معدنی جدا می‌کند. سپس با حرارت دادن روی شعله باز، جیوه را از آمالگام خارج کرده و جیوه مستقیماً به جو متصاعد می‌شود. تخمین زده می‌شود تا ۹۵٪ از جیوه (بیش از ۱۰۰۰ تن در سال) مورد استفاده در این عملیات استخراج طلا به محیط زیست رهاسازی شود، که ۳۷٪ از کل انتشارات انسانی را شامل می‌شود. از این مقدار تقریباً ۷۳٪ (۷۲۷ تن در سال) ناشی از انتشار مستقیم در اثر سوختن آمالگام و نشر از استخراج به جو است. معدن استخراج طلا یکی از مهمترین منابع انتشار جیوه به محیط زیست در کشورهای در حال توسعه و یکی از مهمترین موضوعات زیست محیطی بین‌المللی مربوط به انتشار جیوه است.

یک کاربرد عمده صنعتی جیوه، صنعت کلر-قلیایی است. فرآیند کلر-قلیایی از فناوری سلول جیوه برای الکترولیز محلول کلرید سدیم برای تولید کلر و سود سوزآور (هیدروکسید سدیم) استفاده می‌کند. کاتد موجود در سلول الکترولیتی یک لایه نازک از جیوه است. محلول اشباع شده کلرید سدیم در اطراف کاتد شناور است. کلر در آند و سدیم در کاتد تولید می‌شود، جایی که جیوه آمالگامی تشکیل می‌دهد. آمالگام به طور مداوم از سلول بیرون کشیده می‌شود و با آب واکنش می‌دهد، در نتیجه آمالگام به هیدروکسید سدیم و جیوه تجزیه می‌شود. جیوه دوباره به سلول الکترولیتی بازیافت می‌شود. در حال حاضر، سلول های جیوه در صنعت کلر-قلیایی منجر به آزادسازی ۲۸/۴ تن جیوه در سال در اتمسفر (۱٪ از کل انتشارات انسانی فعلی) و ۲/۸ تن در سال در سیستم های آبی می‌شود.

انتشار جیوه از دفع، فرآوری و بازیافت زباله مستقیماً به مصرف کالاهای مصرفی مربوط می‌شود. اگرچه بسیاری از محصولات و فرآیندهای استفاده از جیوه به دلیل سمیت از رده خارج شده‌اند، اما هنوز هم در انواع مختلفی از محصولات از جیوه استفاده می‌شود. اینها شامل باتری، سوئیچ برقی، لامپهای فلورسنت، دستگاههای الکترونیکی، رنگ، سموم دفع آفات و مواد بخور، داروها، مواد آرایشی و طیف وسیعی از دستگاههای اندازه گیری و کنترل هستند. این محصولات پس از اتمام عمر مفید خود، یا در محل های دفن زباله انباشته شده، سوزانده می‌شوند یا بازیافت می‌شوند. جیوه موجود در محل های دفن زباله به آهستگی در خاک و آب منتشر می‌شود، در صورت عدم کنترل کافی میزان انتشار، ضایعات سوزانده شده می‌توانند منبع اصلی انتشار جیوه به جو باشند.

میزان انتشار جیوه در سراسر جهان از دفع و فرآوری مواد زائد به جو، ۹۵/۶ تن در سال (۵٪ کل انتشارات انسانی فعلی) و سیستم های آبی ۸۹/۴ تن در سال برآورد شده است. یک منبع انتشار عمدی و جزئی جیوه، استفاده از آن در آمالگام های دندان است. ۳/۶ تن در سال جیوه (کمتر از ۱٪ از کل انتشارات انسانی فعلی)، هنگام سوزاندن اجساد از آمالگام دندان به اتمسفر منتقل شود.

Table 3 Distribution of current anthropogenic mercury emissions to the atmosphere by region

Region	Emissions (tonnes per year)	Range (tonnes per year)	% of total
Australia, New Zealand, Oceania	22.3	5.4–52.7	1.1
Central America, Caribbean	47.2	19.7–97.4	2.4
East/Southeast Asia	777	395–1,960	39.7
European Union	87.5	44.5–226	4.5
Middle Eastern States	37.0	16.1–106	1.9
North Africa	13.6	4.8–41.2	0.7
North America	60.7	34.3–139	3.1
Russian Commonwealth	115	42.6–289	5.9
South America	245	128–465	12.5
South Asia	154	78.2–358	7.9
Sub-Saharan Africa	316	168–514	16.1
Undefined	82.5	70.0–95.0	4.2
Total	1,960	1,010–4,070	100

Notes: Undefined represents estimated emissions from contaminated sites. Data from Varekamp and Buseck.⁴⁴

همچنین ، جیوه حین تولید، آماده سازی و دفع مواد زائد آمالگام آزاد می شود. تقریباً ۳۴۰ تن جیوه در سال در دندانپزشکی ها استفاده می شود که حدود ۲۰٪ - ۳۰٪ آن به عنوان زباله جامد دفع می شود. استفاده از آمالگام های دندانانی در بعضی از کشورها هنوز قابل توجه است ، در حالی که در برخی کشورها ممنوع شده است. توزیع منطقه ای انتشارات جیوه انسانی در حال حاضر در جدول در جدول ۳،۴۴ ارائه شده است. در حال حاضر بیشترین میزان انتشار جیوه جوی انسانی با مجموع ۹۳۱ تن در سال (۴۷/۶ درصد از کل انتشار جیوه در جهان) از آسیا است. تقریباً ۷۵٪ از انتشارات آسیایی از جمهوری خلق چین حاصل می شود. منبع اصلی انتشار جیوه در سراسر آسیا احتراق ذغال است. چین بزرگترین تولید کننده و مصرف کننده ذغال سنگ در نیروگاه های ذغال سنگ ، دیگهای بخار صنعتی و گرمایش مسکونی جهان است. در اروپا ، احتراق ذغال سنگ و به دنبال آن دفع و سوزاندن زباله اقیانوس ۵۲٪ از کل انتشارات جیوه به اتمسفر را شامل می شود. احتراق ذغال سنگ و سوزاندن زباله ها نیز بیشترین میزان انتشار جیوه در ایالات متحده آمریکا و آمریکای شمالی را تشکیل می دهند. در آمریکای جنوبی و جنوب صحرای آفریقا مهم ترین عامل انتشار جیوه در اتمسفر معادن استخراج طلا هستند.

مقایسه برآورد های اخیر و برآوردهای گزارش شده از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ نشان می دهد که اروپا و آمریکای شمالی در حال کاهش انتشارات جوی جیوه هستند. ایالات متحده از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ تقریباً ۵۰٪ میزان انتشارات ناشی از نیروگاه های ذغال سنگ خود را کاهش داده است (۵۳). این کاهش نسبتاً بالا اساساً به دلیل مقررات جدیدی است که هم به کنترل جیوه و هم برای کنترل ذرات در نیروگاه های بزرگ کمک کرده است. با این حال ، به دلیل افزایش تقاضا برای تولید انرژی ، میزان انتشارات در آسیا در حال افزایش است. علاوه بر این ، انتشار از صنعت استخراج طلا از سال ۲۰۰۵ دو برابر شده است ، که تا حدی ناشی از افزایش قیمت طلا در آمریکای جنوبی و جنوب صحرای آفریقا است.

منابع انسانی قدیمی (انتشار مجدد جیوه در اتمسفر)

منظور از منابع انسانی قدیمی انتشار مجدد جیوه است که قبلاً در سطح خاک ، آب و گیاهان رسوب کرده است. برای این اتفاق ، ترکیبات معدنی و آلی جیوه پایدار در مخازن زمینی و آبی باید به گونه های جیوه فرار ، عمدتاً جیوه اولیه تبدیل شوند. انتشار مجدد به طور کلی به دما بستگی دارد ، با افزایش دما نرخ انتشار مجدد جیوه افزایش و با کاهش دما نرخ انتشار مجدد کاهش می یابد. پس از ورود به جو ، این جیوه فرار ساطع شده مجدداً می تواند به گونه های اکسید شده با ثبات تر تبدیل شده و مجدداً

روی سطوح رسوب داده شود، و چرخه ی دیگری از جیوه در بخشهای مختلف محیط ایجاد کند. از آنجایی که متغیرهای زیادی در این فرآیند دخیل هستند و تخمین میزان انتشار مجدد دشوار است، اغلب از روش های مدل سازی بر اساس داده ها برای تعیین سطح جیوه جوی قدیمی، میزان رسوب و مسیرهای تغییر شکل شیمیایی آن تلاش می شود.

اگرچه جیوه آزاد شده از سطح خاک و آب و همچنین از سوختن زیست توده ممکن است اجزای تشکیل دهنده طبیعی داشته باشد، اما انتشار مجدد جیوه که قبلاً رسوب داده شده نباید به عنوان منبع طبیعی انتشار جیوه به جو در نظر گرفته شود. مقدار جیوه رسوب شده به خاک، آب و سطوح پوشش گیاهی مخلوطی از جیوه ناشی از منابع انسانی فعلی و قدیمی یا رسوب یافته است. با این حال، تخمین زده می شود که فقط ۱۰٪ از جیوه رسوب شده از اتمسفر به سطوح طبیعی باشد و سطح جیوه اتمسفر از ابتدای دوره صنعتی ۷۰٪ افزایش یافته است (۴۸). بنابراین، ۹۰٪ از کل جیوه آزاد شده با انتشار مجدد در اصل از منابع انسانی حاصل می شود. یکی از مسیرهای اصلی انتشار مجدد جیوه از طریق سوختن زیست توده است. جیوه با رسوب خشک و مرطوب از جو به سطح گیاهان و با ورود از طریق روزنه در بافتهای گیاه جذب می شود. این ماده در برگ ها، سوزن ها، ساقه ها و پوسته گیاهان و درختان جمع می شود (۴۳). هنگام سوزاندن زیست توده، جیوه موجود در ستون های دود شامل ۹۵٪ جیوه اولیه و ۵٪ مرتبط با ذرات است. انتشار مجدد متوسط جهانی جیوه به دلیل سوختن زیست توده از ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ حدود ۶۷۵ تن در سال تخمین زده شده است که ۱۴٪ کل انتشارات قدیمی انسانی را شامل می شود.

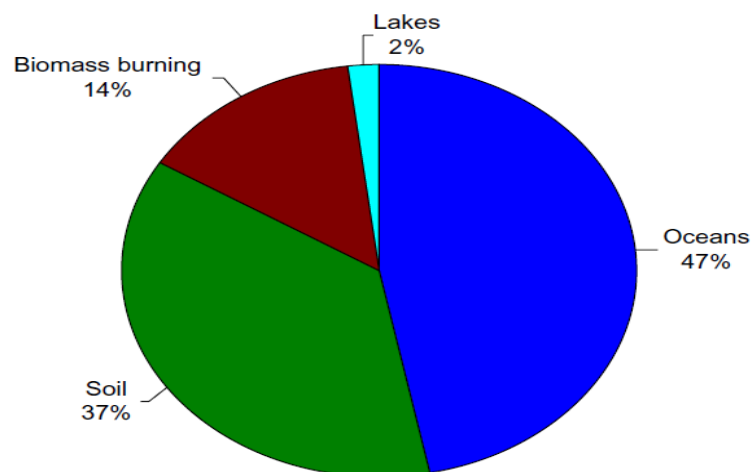


Figure 8 Relative contributions of estimated mercury emissions to the atmosphere from historical anthropogenic sources.
Note: Data from Friedli et al.⁵⁵

انتشار دمای پایین جیوه از خاک و بسترهای گیاهی به طور قابل توجهی تحت تأثیر گونه های جیوه، شرایط هواشناسی و نوع خاک و بستر است. جیوه که اخیراً از جو به خاک و بسترهای زمین رسوب کرده است در ابتدا به صورت جیوه عنصری یا به عنوان ترکیبات جیوه II به صورت آزاد جذب می شود. تا زمانی که به جیوه اکسید نشود، جیوه عنصری به سرعت از سطح خاک ساطع می شود. جیوه II رسوب یافته می تواند به جیوه عنصری تبدیل شود و به دنبال آن انتشار مجدد داشته باشد. همچنین جیوه II محلول می تواند از طریق انحلال در آب و نفوذ در منافذ به لایه های پایین تر خاک منتقل شود. جیوه II می تواند به ذرات باردار منفی در خاک رس و مواد معدنی خاک متصل شود، این پیوند نسبتاً ضعیف است و جیوه به راحتی به فاز آبی منتقل می شود و این امر منجر به کاهش و انتشار مجدد آن به عنوان جیوه اولیه می شود. با این حال، جیوه II به شدت و با ثابت های اتصال $\log K$ 22-23.56 به گوگرد و کربوکسیلیک در مواد آلی خاک متصل می شود، این اتصال قوی

جیوه II انتشار مجدد را محدود و امکان تجزیه مواد آلی را محیا می کند. بنابراین، اکثریت جیوه که مجدداً به جو منتشر می شود از کسر سطحی است که اخیراً رسوب کرده است. این امر منجر به طول عمر ۸۰ ساله جیوه انسانی در خاک و میزان انتشار مجدد کمتر از حد انتظار شده و ۳۷٪ از کل انتشارات انسانی تاریخی می شود.

اقیانوس ها منبع اصلی انتشارات قدیمی جیوه به اتمسفر است. به طور کلی فرض بر این است که جیوه بنیادی مهمترین گونه جیوه ای است که از آبهای سطحی به جو منتقل می شود. با این حال ، دی متیل جیوه دارای یک قانون هنری مشابه با جیوه عنصری است (جدول را ببینید)

انتشار مجدد جیوه از آبهای سطحی بستگی به شیب غلظت جیوه در سطح آب نسبت به سطح هوا ، تابش خورشید و درجه حرارت آب و هوا بستگی دارد. در آب های سطحی ، جیوه در درجه اول به عنوان مجتمع های جیوه II با هیدروکسید ، کلراید (معادلات ۶ و ۷) و مواد هیومیک وجود دارد. تخمین زده شده است که ۹۵٪ جیوه II در دریاچه ، رودخانه و آبهای ساحلی به اسیدهای هیومیک و فولویک متصل است ، در حالی که اکثر جیوه II در اقیانوس آزاد با کلرید پیچیده شده است (۵۹،۶۰). کاهش جیوه II در محیط های آبی را می توان با فرایندهای فتوشیمیایی ، شیمیایی یا میکروبی بدست آورد. مطالعات اخیر نشان داده است که کاهش فتوشیمیایی سازوکار اصلی در آبهای سطحی بدون آلودگی است. مقدار کاهش جیوه به کارایی انتقال نور، شدت و طول موج تابش بستگی دارد. اگرچه مکانیسم کاهش فتوشیمیایی به خوبی درک نشده است ، اما واکنش با حضور مواد هیومیک و آهن یا منیزیم اکسید شده افزایش می یابد. میزان انتشار مجدد جیوه به جو از اقیانوس ها ۲۲۲۶ تن در سال است ، که ۴۷٪ از کل انتشارات انسانی را شامل می شود.

انتقال و تحولات جوی (دگرگونی و جابجایی جیوه)

جیوه اتمسفر از نظر عملیاتی به سه دسته طبقه بندی می شود:

- جیوه اولیه یا عنصری (Hg^0)
- ترکیبات گازی جیوه II به نام جیوه گازی
- ترکیبات جیوه II مرتبط با ذرات معلق در جو معروف به جیوه ذرات

بیشتر جیوه ساطع شده در اتمسفر جیوه عنصری و مقادیر جزئی از جیوه II گازی و جیوه II ذره ای ناشی از رسوب خشک و مرطوب به دلیل سرعت رسوب نسبتاً کم و حلالیت در آب است. این ترکیبات به اندازه کافی در جو باقی می ماند و از منبع دور می شوند. با این حال ، ترکیبات اکسید شده جیوه II به دلیل حلالیت بیشتر در آب و واکنش پذیری بالای آنها، با آسودگی بیشتری حذف می شوند. بنابراین تخمین زده می شود، بیش از ۹۵٪ جیوه در جو به عنوان جیوه عنصری وجود داشته باشد. این جیوه عنصری موجود در جو قبل از اینکه به طور موثر از اتمسفر خارج شود ابتدا به جیوه II اکسید می شود تا بر روی به خاک ، آب یا سطوح گیاهی رسوب کند. در چرخه جیوه، اکسیداسیون جیوه اولیه به جیوه II و ورود جیوه از اتمسفر به سایر محفظه های محیطی ، برآورد طول عمر جوی همچون فواصل حمل و نقل جیوه بسیار حیاتی است. اکسیداسیون جیوه اولیه به جیوه II میزان رسوب جیوه را افزایش می دهد ، در حالی که تبدیل جیوه II به جیوه عنصری موجب افزایش عمر جوی آن می شود.

Table 4 Speciation of mercury emissions from different sources given as percent of total emissions

Source	Hg ⁰	Gas phase Hg ²⁺	Particulate Hg ²⁺
Coal combustion	50	40	10
Coal-cement kilns	80	15	5
Mining and smelting	80	15	5
Chlor-alkali	70	30	0
Waste incineration	20	60	20
Cremation	80	15	5
Artisan gold mining	100	0	0
Oceans	100	0	0
Soil	100	0	0
Biomass burning	95	0	5
Geothermal	100	0	0
Volcanic	94	1	5

Note: Data from: the Arctic Monitoring and Assessment Programme, United Nations Environmental Programme;⁵³ and Friedli et al.⁵⁴

Table 5 Important reactions of mercury relevant to the atmosphere with overall rate constants and atmospheric mercury lifetimes estimated from reaction kinetics

Gas phase reactions	Rate constants (cm ³ molec ⁻¹ sec ⁻¹)	Lifetimes
1. Hg ⁰ + O ₃ → HgO + O ₂	3×10 ⁻²⁰	1.4 years
2. Hg ⁰ + OH → HgOH	6×10 ⁻¹⁹	25 days
HgOH + O ₂ → HgO + OH	9×10 ⁻¹⁴	8 months
3. Hg ⁰ + H ₂ O ₂ → Hg ²⁺	<8×10 ⁻¹⁹	>1.5 years
4. Hg ⁰ + Cl ₂ → HgCl ₂	2×10 ⁻¹⁸	50 years
5. Hg ⁰ + Br ₂ → HgBr ₂	<9×10 ⁻¹⁷	>5 days
6. Hg ⁰ + Cl → HgCl	1×10 ⁻¹¹	3–4 months
7. Hg ⁰ + Br → HgBr	3×10 ⁻¹²	9 hours
HgBr → Hg + Br	8×10 ⁻³	
HgBr + Br → HgBr ₂	2×10 ⁻¹⁰	
HgBr + OH → HgBr(OH)	2×10 ⁻¹	
8. Hg ⁰ + BrO → HgBrO	1×10 ⁻¹⁴	12 hours
Aqueous phase reactions	Rate constants (M ⁻¹ sec ⁻¹)	
9. Hg ⁰ + O ₃ → Hg ²⁺ + OH ⁻ + O ₂	5×10 ⁷	
10. Hg ⁰ + OH → Hg ²⁺	2×10 ⁹	
11. Hg ⁰ + HOCl → Hg ²⁺ + Cl + OH ⁻	2×10 ⁶	
12. Hg ⁰ + OCl ⁻ → Hg ²⁺ + Cl + OH ⁻	2×10 ⁶	
13. Hg ⁰ + Br ₂ → Hg ²⁺ + 2Br ⁻	2×10 ⁻¹	
14. Hg ⁰ + HOBr → Hg ²⁺ + Br + OH ⁻	3×10 ⁻¹	
15. Hg ⁰ + OBr ⁻ → Hg ²⁺ + Br + OH ⁻	3×10 ⁻¹	
16. Hg ⁺² + HO ₂ → Hg ⁰	2×10 ⁴	
17. Hg(OH) ₂ + hν → Hg ⁰	3×10 ⁻⁷	
18. HgSO ₃ → Hg ⁰ + S(IV) –	<1×10 ⁻⁴	
19. Hg(SO ₃) ₂ ²⁻ → Hg ⁰ + S(IV)	5×10 ³	
20. Hg(COO) ₂ R → Hg ⁰ + RCOO ⁻²	1×10 ⁴	

Note: Data from: the Arctic Monitoring and Assessment Programme, United Nations Environmental Programme;⁵³ and Liu et al.⁶¹

واکنش های گازی و فازهای آبی جیوه که در حال حاضر مهمترین فرایندهای حذف جوی است ، در جدول ۵ ذکر شده است (۵۳،۶۱). توجه به این نکته مهم است که طول عمر محاسبه شده در جدول ۵ ، طول عمر شیمیایی و بر اساس پتانسیل اکسیداسیون نسبی مسیره های مختلف واکنش است که در آزمایشگاه تعیین شده است و بیانگر طول عمر واقعی جیوه در جو نیست. از آنجا که جیوه اتمسفر اکسید نمی شود اما تحت یک چرخه کاهش اکسیداسیون قرار می گیرد، طول عمر واقعی جیوه در جو از طریق میزان واکنش های مختلف اکسیداسیون همراه با فرآیندهای حذف فیزیکی تعیین می شود. واکنش های فاز گازی تحت تأثیر اکسیداسیون جیوه عنصری به جیوه II قرار می گیرد. در ابتدا تصور می شد که مسیره های اصلی اکسیداسیون جیوه عنصری ، فاز گاز و واکنش های فاز آبی با ازن است (جدول ۵ ، واکنش های ۱ و ۹).

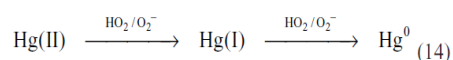
واکنش فاز گازی جیوه عنصری با ازن زیر سوال رفته است زیرا اکنون شواهدی وجود دارد که نشان می دهد محصول اصلی واکنش HgO_3 است که می تواند به HgO و O_2 تجزیه شود. در اتمسفر ، انتظار می رود تجزیه HgO در سطوح آئروسول مرطوب رخ داده و $Hg(OH)_2$ را تشکیل دهد. این تجزیه ناهمگن محصول میانی HgO_3 در جو ، سینتیک واکنش را پیچیده می کند و ممکن است محدود کننده سرعت واکنش جو باشد که بسیار متفاوت از آن چیزی است که در آزمایشگاه مشاهده می شود. واکنش جیوه عنصری با ازن در فاز آبی بسیار سریعتر از فاز گازی است. این مکانیسم احتمالاً شامل یک کمپلکس $Hg-H_2O_2$ با محصول اکسیداسیون اولیه $Hg(OH)_2$ است.

اکسیداسیون فاز گازی جیوه عنصری توسط رادیکال OH برای تولید $HgOH$ در جدول ۵ ، (واکنش ۲) با ثابت سرعت واکنش $9 \times 10^{-14} \text{ cm}^3 \text{ molec}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ با طول عمر تقریبی جو تقریباً ۸ ماه را نشان داده شده است. با این حال ، مطالعات مکانیکی اخیر مشخص کرده است که واکنش جیوه عنصری با رادیکال OH با تجزیه سریع محصول اولیه ، $HgOH$ ، به HgO و OH تا حد زیادی کاهش می یابد. علاوه بر این ، بسیاری از گازهای کمیاب و گونه های آئروسول موجود در جو با OH رقابت می کنند. اکسیداسیون جیوه عنصری توسط OH احتمالاً یک فرآیند حذف موثر نیست.

اکسیداسیون جیوه توسط هالوژن ها به عنوان یک واکنش احتمالی تبدیل جیوه عنصری به جیوه II در قطب شمال و قطب جنوب در فصل بهار بیان شده است. اگرچه واکنش جیوه عنصری با کلر بسیار آهسته تشخیص داده شد ، اما واکنش با اتم های برم و رادیکال های BrO سریع بودند و طول عمر کمتر از یک روز برای جیوه جوی در نظر گرفته شده است . اتم های برم اتمسفر را می توان از اسپری قطرات آب دریا در هنگام انجماد مجدد در مناطق چشمه قطبی و در تروپوسفر فوقانی از فوتولیز ارگانوبرومیدها تولید کرد. واکنش های جیوه عنصری با برم در این مناطق می تواند به طور قابل توجهی طول عمر جیوه را کاهش دهد. با این حال ، محاسبات نظری، واکنش های اکسیداسیون برم را وابسته به دما و با سرعت واکنش سریع تر و طول عمر کمتر جیوه در دمای سردتر موجود در قطب ها و تروپوسفر فوقانی تعیین کرده است. این بدان دلیل است که محصول اولیه $HgBr$ ، در دمای سردتر تثبیت می شود. بنابراین طول عمر جوی جیوه در دمای ۲۴۵ درجه سانتیگراد، ۱۰ ساعت و در دمای بالاتر از ۲۸۰ درجه سانتیگراد در لایه مرزی دریایی عرض جغرافیایی ، بیش از ۴۰۰۰ ساعت (یعنی تقریباً نیم سال) تخمین زده می شود.

مطالعات توزیع جیوه بین نیمکره شمالی و جنوبی ، همچنین تنوع زمانی و مکانی، بیانگر یک عمر تقریباً یک ساله است (۵۸،۶۷). به منظور ایجاد ارتباط بین طول عمر جیوه با توزیع مکانی مشاهده شده از جیوه اتمسفر ، بر اساس سینتیک واکنش جو سینتیک فاز گاز در اتمسفر باید کندتر از آن باشد که در آزمایشگاه تعیین می شود و یا واکنش های اکسیداسیون فاز گاز باید با واکنش

های کاهش دهنده که جیوه اولیه را اصلاح می کنند ، متعادل شود(۶۶) . با این حال ، جیوه II را می توان در فاز آبی کاهش داد (جدول ۵ ، واکنش های ۱۶-۲۰). یک واکنش مهم پیشنهادی کاهش از طریق کاهش دو مرحله ای $\text{HO}_2^- / \text{O}_2^-$ است.



با این حال ، مقایسه پتانسیل های کاهش یک الکترون در شرایط محیط نشان می دهد که کاهش دو مرحله ای نباید به دلیل اکسیداسیون سریع جیوه I توسط اکسیژن محلول قبل از انجام انتقال الکترون دوم رخ دهد. مکانیسم مهم باقی مانده برای جیوه II در فاز آبی ، رسانش نوری در حضور اسیدهای دیکاربوکسیلیک است (جدول ۵ ، واکنش ۲۰) (۶۸). سرعت واکنش برای انتقال نور جیوه توسط اسیدهای اگزالیک ، مالونیک و سوکسینیک در pH برابر ۳ مقادیر 1×10^4 ، 3×10^5 و 1×10^3 گزارش شده است. پیشنهاد شد که جیوه II یا توسط رادیکال های آلی تشکیل شده توسط فوتولیز کمپلکس های اسید-کاربوکسیلیک جیوه II (جیوه $2\text{R}(\text{COO})$) و یا با انتقال الکترون بین دو مولکولی در طول فوتولیز جیوه COO کاهش می یابد. مجموعه R_2 وجود یون کلرید به طور قابل توجهی میزان را کاهش می دهد. تصور می شد که این امر به دلیل پیچیدگی رقابت یون کلرید با کمپلکس آلی جیوه باشد و نشان داد که تشکیل یک کمپلکس جیوه $2\text{R}(\text{COO})$ احتمالاً برای کاهش مهم است.

پس جیوه II را می توان با رسوب خشک و مرطوب از جو خارج کرد و کاهش داد. رسوب مرطوب جیوه با جذب گونه های محلول در قطرات ابر و به دنبال آن باران یا اشکال دیگر بارش رخ می دهد. رسوب خشک می تواند از طریق جذب ذرات یا جذب مستقیم گونه های فاز گاز به سطوح رخ دهد. تمام گونه های جیوه موجود در فاز گاز را می توان بر روی ذرات جوی جذب کرد و یا به صورت قطرات ابر درآورد. با این حال ، از آنجا که براساس قانون هنری انحلال ترکیبات گازی جیوه II بیشتر از جیوه عنصری است ، بنابراین جیوه II اصلی ترین گونه جیوه در مرحله آبی است و بنابراین عمده ترین گونه حذف شده در مرطوب است.

از آنجا که جیوه رسوب شده می تواند مجدداً در جو انتشار یابد ، می توان آن را با طی دوره های مکرر انتشار مجدد ، حمل و رسوب ، که گاهی اوقات "اثر ملخ" نامیده می شود، به فواصل طولانی منتقل کرد. یک نتیجه از این چرخه این است که می توان جیوه را به مناطق قطبی سردتر منتقل کرد، در نتیجه در غلظت های جیوه در مناطق قطبی افزایش می یابد.

فصل سوم :

جیوه در محیط های آبی و خاکی

جیوه در خاک

جیوه در اشکال مختلفی در سیستم های خاک وجود دارد :

- ۱) محلول در فاز آبی یا به عنوان یون آزاد (Hg^{2+}) یا با لیگندهای آلی و غیر آلی
- ۲) Hg^0 فلزی (یا عنصری) به عنوان یک NAPL (non-aqueous liquid phase liquid)
- ۳) جذب شده در مواد معدنی خاک و مواد آلی محلول ، در فاز گاز و در فاز جامد(رسوبات)

انتقال فازهای مختلف جیوه در سیستم های خاک با اشکال مختلف نظیر: انحلال ، بارش ، جذب ، واجذب رخ می دهد.

با در نظر گرفتن چرخه جیوه از منظر سیستم های خاک ، منابع جیوه شامل رسوبات خشک و مرطوب جوی و ریزش زباله ، منابع ژئوژنیک (طبیعی) و فعالیت های انسانی است. ترشحات اصلی جیوه شامل واجذب به جو ، و انتقال آن به آبهای زیرزمینی یا آبهای سطحی است و جذب ریشه گیاهان از خاک در مقیاس منطقه ای و جهانی ناچیز است.

خاک نقش مهمی در چرخه جهانی جیوه دارد زیرا می تواند به عنوان منبع جیوه اتمسفر عمل کند. با توجه به نتایج ارزیابی های انجام شده مشخص شد که، میزان انتشار و رهاسازی جیوه از منابع زمینی و آبی بسیار بالاتر از اتمسفر است. آلودگی جیوه انسانی ممکن است منجر به افزایش غلظت جیوه در سیستم های خاکی نسبت به منابع دیگر شود. شیوه های مدیریت زمین و تغییرات آب و هوایی می تواند بر انتقال جیوه در خاک یا در سایت های زمینی و به ویژه در سایت های آلوده تأثیر بگذارد. به عنوان مثال ، در مناطق یخ زده غلظت جیوه تا دو برابر بیشتر از سایر مناطق خاکی، اتمسفر و اقیانوس ها اندازه گیری شده است. که این امر به دلیل افزایش دما در اثر ذوب شدن یخ ها در طی قرن های اخیر و با عواقب ناشناخته آن بر محیط زیست و جیوه در معرض انتشار است.

اگرچه اطمینان روش های اندازه گیری غلظت جیوه در مناطق دارای پوشش گیاهی به ویژه در جنگل ها، کم است اما به نظر می رسد مناطق گیاهی یک منبع مهم Hg^0 باشد. غلظت های Hg^0 در منابع زمینی اندازه گیری می شود و مقادیر رسوب و روند انتشارات جیوه را منعکس می کند. نوسانات Hg^0 مشاهده شده تغییرات در میزان انتشارات طبیعی و انسانی جیوه ، مقادیر جذب توسط پوشش گیاهی و انتشار مجدد به خاک را نشان می دهد. حداقل نیمی از انتشار اولیه انسانی سالانه توسط پوشش گیاهی جذب می شود ، این عمل به طور موثر از انتشار مجدد جیوه به اتمسفر جلوگیری می کند اما از سوی دیگر انتقال جیوه را از طریق خاک به اکوسیستم های آبی و ساحلی میسر می سازد. یافته های اخیر نقش مهم پوشش گیاهی در جذب Hg^0 را نشان می دهد، بنابراین مسیرهای رسوب جیوه در خاک و اکوسیستم های زمینی در استراتژی های نظارتی توسط آژانس های زیست محیطی ، به ویژه کنوانسیون میناماتا نیازمند بازنگری می باشند.

در خصوص نظارت بر کیفیت خاک در سطح ملی و بین المللی ، شبکه های مختلفی وجود دارد و داده هایی در مورد نوع خاک ، پارامترهای کیفیت شناسی و کیفیت خاک در دسترس است. جیوه، به ندرت در چنین برنامه هایی گنجانده می شود. با این حال، بر اساس نتایج اندازه گیری ها و همچنین مدل سازی های انجام گرفته ، چندین نقشه در مناطق جغرافیایی گسترده تر وجود دارد. مسئله اصلی در برنامه های نظارت بر جیوه خاک در مقیاس ملی یا بین المللی ، اختلاف در داده ها به دلیل تفاوت در طرح های نظارتی ، وضوح شبکه نمونه برداری ، عمق و مشخصات خاک و کسر خاک مورد تجزیه و تحلیل است. همچنین، عدم هماهنگی در ارزیابی و تفسیر داده ها، به ویژه داده های جانبی مورد نیاز برای تعیین تحرکات جیوه در خاک ، علت دیگر این تفاوت هاست.

نظارت بر غلظت جیوه در محیط ، داده های محدودی را شامل می شود، اما تجزیه و تحلیل ها این داده ها اطلاعات مفیدی را در رابطه با منابع انسانی تولید جیوه ، توزیع فرم های جیوه ، سمیت بالقوه و خطرات جیوه بر سلامتی، فراهم می کند. از نظر مسایل منطقه ای و جهانی، جیوه موجود در محیط ، به ویژه در خاک ، مورد بسیار قابل توجهی است. بنابراین ، اندازه گیری شار جیوه در محیط و تعیین Hg^0 در خاک از اهمیت ویژه ای برخوردار است. اندازه گیری شار Hg^0 در محیط بر اساس دو روش اندازه گیری است: اتاق های شار پویا^۱ (DFC) و روش های ریز هواشناسی^۲ (MM).

به طور خلاصه ، عناصر زیادی به عنوان یک ماتریس درخصوص ارزیابی خاک در نظر گرفته می شود تا دارای اثربخشی بوده و از لحاظ کنوانسیون میناماتا مورد تایید قرار گیرد. ارزیابی دقیق از ارتباط ماتریسها ، ترکیبات جیوه و تعداد دفعات نظارت نشان می دهد که نظارت بر خاک به پیشرفت های بیشتر مبتنی بر علم نیاز دارد. بدیهی است که در مورد سایت های آلوده به جیوه ، تعیین جیوه در خاک به عنوان بخشی از روش های توصیف ، شناسایی و به ویژه ارزیابی اثربخشی اقدامات بهداشتی، مورد نیاز است.

در پاسخ به سوال ، اهمیت مقدار جیوه تولیدی ناشی از منابع انسانی نسبت به سطح جیوه در محیط های بکر، استفاده از خاک به عنوان یک شاخص و متغیر مناسب و یک ماتریس ارزیابی اثربخشی کنوانسیون میناماتا ، بسیار حائز اهمیت است. (Davies et al. ۱۹۹۷ ، Grigal ، Diederik (2013) ، Schlüter ، ۲۰۰۲ ، Schuster ، ۲۰۰۰ ، Aiken et al. ، ۲۰۱۱ ؛ Gabriel و ویلیامسون ، ۲۰۰۴ ، ژانگ و دیگران ، ۲۰۰۹ ، سوپیر و همکاران ، ۲۰۱۱ ، لین و پهنکن ، ۱۹۹۹) و مقالات اخیر (Streets et al. ، ۲۰۱۷ ، Agnan et al. ، ۲۰۱۶ ، Wang et al. ، ۲۰۱۶ ، Jiskra و همکاران ، ۲۰۱۸)



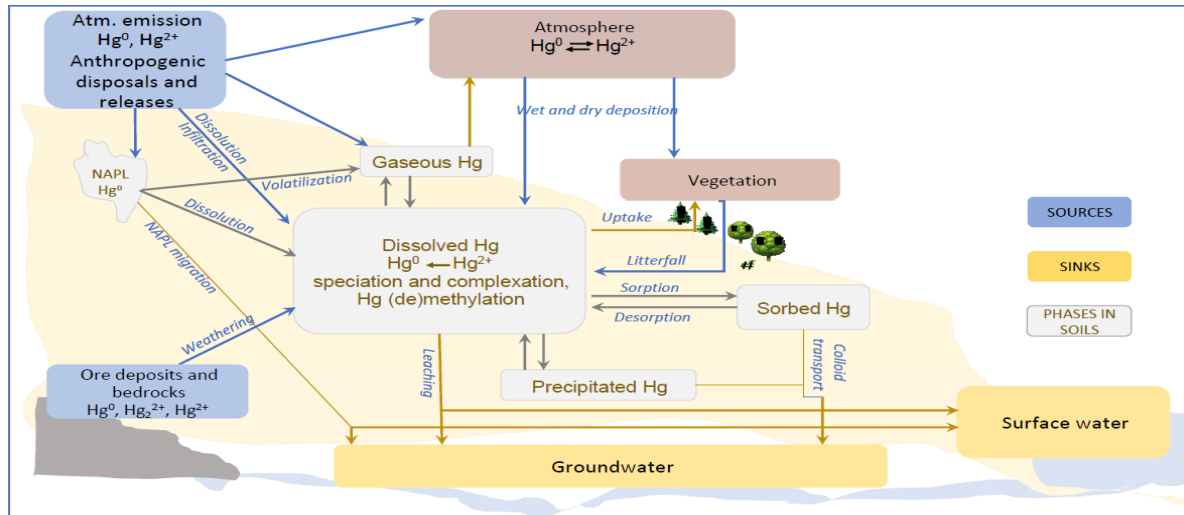
شکل ۱. حدود ۳۸٪ از انتشارات انسانی جیوه به محیط زیست به Artisanal and Small-scale Gold (ASGM) مربوط می شود.

¹ Dynamic Flux Chambers ⁶

¹ Micro Meteorological ⁷

جیوه در سیستم های خاک

در بررسی چرخه جهانی حمل و نقل جیوه ، خاک محیطی است که اغلب به عنوان یک مبدا یا منبع جیوه دیده می شود. (GMA, 2008, 2018). چرخه جیوه از منظر سیستم های خاک در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲. منابع ، رسوخ ها و فازهای جیوه در خاک (اقتباس از Diederik, 2013).

Sources: منابع جیوه در خاک شامل رسوب خشک و مرطوب جوی ، منابع زمین زا و آلودگی های انسانی است.

Sink: رسوخ های اصلی جیوه از خاک شامل انتشار جیوه از خاک به جو و انتقال به آب های زیرزمینی یا آبهای سطحی است.

اشکال جیوه و تقسیم بندی آن در فاز های مختلف خاک:

جیوه ممکن است در اشکال مختلفی در سیستم های خاک وجود داشته باشد:

- جیوه ای که از نظر بیولوژیکی در اکوسیستم موجود است یا به طور بالقوه در دسترس است (به عنوان مثال آغشته در خاک یا رسوبات)
- جیوه ای که از منابع ژئوژنیک آزاد می شود (به عنوان مثال کانسارهای سنگ معدن و منابع زمین گرمایی)
- جیوه ای که در اثر فعالیت های انسانی آزاد می شود.

جیوه می تواند در سه حالت ظرفیتی در خاک وجود داشته باشد:

- جیوه اولیه یا عنصری (Hg^0)
- جیوه تک ظرفیتی (Hg_2^{2+})
- جیوه دو ظرفیتی (Hg^{2+})

در مقایسه با Hg^0 و Hg^{2+} که فراوان ترین نوع جیوه در خاک است و مقدار جیوه یک ظرفیتی در خاک ، ناچیز است. اصلی ترین گونه های جیوه محلول در سیستم های خاکی ، کمپلکس های Hg^{2+} با لیگاندهای مختلف غیر آلی و آلی هستند. عوامل

اصلی کنترل کننده گونه های آبی جیوه pH، قدرت یونی و پتانسیل ردوکس هستند (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴؛ اسکیلبرگ، ۲۰۱۲). همچنین غلظت مواد آلی محلول (DOM)، اکسیژن محلول، سولفید و جامدات معلق نیز می توانند موثر باشند (Ravichandran، ۲۰۰۴). تحت شرایط خاک اکسید شده، غالب جیوه به صورت غیر آلی: $Hg(OH)_2$ ، $HgCl_2$ ، $HgOH^+$ ، HgS و Hg^0 است. گونه های آلی جیوه در خاک به صورت متیله شامل مونو متیل جیوه (MMeHg) و دی متیل جیوه (DMeHg) هستند که بیشتر در اثر فعالیت میکروبی در خاک یا سیستم های آبی و متیلاسیون غیرزیستی سنتز می شوند. (اولریش و همکاران، ۲۰۰۱)؛ Skyllberg، ۲۰۱. در سیستم های خاکی، غلظت MMeHg به طور معمول $> 2\%$ از غلظت کل جیوه است و DMeHg تقریباً وجود ندارد. در مطالعات محدودی وجود ترکیبات اتیل جیوه (EtHg) در نمونه های محیطی گزارش شده است (هولمز و لیان، ۲۰۰۶؛ مائو و همکاران، ۲۰۱۰). (Holmes and Lean (2006). در یافتند که سطح EtHg در رسوبات تالاب ها گاهی از غلظت MeHg فراتر می رود که احتمالاً نتیجه یک اتیلاسیون رخ داده در تالاب است. علاوه بر این، مطالعه ای در سال ۲۰۱۷ مقدار قابل توجهی EtHg در خاک های آلوده در اطراف معدن جیوه در Idrija را گزارش کرد (تومیاسو و دیگران، ۲۰۱۷). این مطالعات نشان می دهد که اتیلاسیون جیوه می تواند عامل تولید قسمت قابل توجهی از چرخه جیوه در محیط ها، به ویژه در مکان های آلوده باشد. جیوه به شدت با مواد آلی خاک پیوند برقرار می کند (هابتزر و همکاران، ۲۰۰۲؛ ۲۰۰۳؛ خواجه و دیگران، ۲۰۱۰؛ راویچندران، ۲۰۰۴، دیدریک، ۲۰۱۳). به طور عمده گروه های عملکردی حاوی گوگرد (به ویژه گروه های تیول) برای اتصال جیوه و MMeHg به DOM مهم تلقی می شوند (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴؛ راویچندران، ۲۰۰۴؛ اسکیلبرگ، ۲۰۱۲). در خاک های غیر آلوده، کسری از جیوه که به مواد آلی متصل است بسیار بیشتر از میزان جیوه موجود است (Ravichandran، ۲۰۰۴؛ Haitzer et al.، ۲۰۰۲). کمپلکس شدن جیوه به مواد آلی طبیعی (NOM)، به جز در شرایط آلودگی شدید، با $Hg(OH)_2(aq)$ و $HgCl_2(aq)$ رقابت می کند (Skyllberg، ۲۰۱۲). علاوه بر این، اغلب چنین است که گونه های غیر آلی جیوه، اگرچه محلول هستند، با لیگاند های آلی (عمدتاً اسیدهای فولویک و هیومیک) و کلونید های معدنی ترکیب می شوند (GMA، ۲۰۰۸، ۲۰۱۸؛ گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴). اگرچه جیوه میل به ترکیب بیشتری با گوگرد دارد، اما با DOM نیز ارتباط متقابل دارد و احتمالاً منعکس کننده تشکیل یک کمپلکس DOM- Hg - سولفید یا تقسیم آگریز مجتمع های سولفید، جیوه سولفید خنثی به DOM با وزن مولکولی بالاتر است (میلر و همکاران، ۲۰۰۷).

انتقال فاز جیوه در خاک

جیوه دارای انتقال فازهای مختلف در سیستم های خاکی است: انحلال، بارش، جذب، فرار شدن

انحلال:

HgS (سینابار جامد) ماده معدنی رایج جیوه است. در حضور Cl^- یا DOM، انحلال HgS اتفاق می افتد و بارش مهار می شود (Gabriel and Williamson، ۲۰۰۴؛ Gerbig et al.، ۲۰۱۲؛ Miller et al.، ۲۰۰۷؛ Skyllberg، ۲۰۱۲؛ Waples et al.، ۲۰۰۵). همچنین وجود پلی سولفیدها باعث افزایش حلالیت HgS جامد می شود (Skyllberg، ۲۰۱۲). در مورد آلودگی انسانی، جیوه می تواند به صورت $(D)NAPL$ وجود داشته باشد، که می تواند در سیستم های خاک بیشتر حل شود یا فرار شود (مرسر و کوهن، ۱۹۹۰؛ Devasena و Nambi، ۲۰۱۰).

¹ (dense) non aqueous phase liquid

جذب:

Hg^{2+} معدنی واکنش پذیری و حلالیت بالایی دارد، اما در خاک، به عنوان مجتمع های بدون بار وجود دارد. در نتیجه، مکانیسم غالب جذب به جای تبادل یونی از طریق تشکیل کمپلکس غیر آلی و آلی پایدار خواهد بود. (شوستر، ۱۹۹۱). جاذب ها می توانند معدنی یا آلی باشند و به عنوان جاذب های ذره ای (< 0.45 میکرومتر) یا کلوئیدی (> 0.45 میکرومتر و < 1 نانومتر) دسته بندی می شوند. ذرات کلوئیدی به دلیل سطح وسیع، بالاترین ظرفیت جذب را دارند (Aiken et al., ۲۰۱۱؛ Gabriel and Williamson, ۲۰۱۴).

قابلیت جذب Hg^{2+} برای مواد آلی در فازهای ذره ای و محلول (به ویژه مواد هیومیک و فولویک) بیشترین مقدار است. در شرایط مقادیر کم جیوه (یعنی آلودگی کم جیوه)، جذب جیوه به DOM با کسر کوچکی از مولکولهای DOM حاوی گروه های عملکردی تیول واکنش دهنده کنترل می شود (هایتزر و همکاران، ۲۰۰۲؛ راویچندران، ۲۰۰۴).

جاذب های احتمالی دیگر اکسیدها، هیدروکسیدها، اکسی هیدروکسیدهای آهن، منگنز و آلومینوم ($MnOOH$ و $FeOOH$) بهترین جاذب ها، FeS بی شکل و مواد معدنی رسی هستند (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴). با این حال، به جز در شرایط بسیار آلوده و محیط های دارای غلظت کم مواد آلی، جیوه و $MMeHg$ مستقیماً به گروه های عملکردی اکسیژن متصل نخواهند شد (Skylberg, ۲۰۱۲).

اگرچه جیوه عنصری (Hg^0) بسیار فرار است، اما می تواند نسبت به مواد معدنی (اکسیدهای فلز) با جذب میل شدید تری به خاک جذب شود (Schlüter, ۲۰۰۰). جذب کلوئیدها در درک سرنوشت جیوه در خاک مهم است زیرا حمل و نقل با تسهیل کلوئید فرآیند اصلی انتقال جیوه است (گائو و همکاران، ۲۰۱۱؛ اسلووی و همکاران، ۲۰۰۵).

میزان جذب عمدتاً به غلظت اولیه Hg^{2+} ، محتوای ماده آلی و یون های محلول بستگی دارد. به عنوان مثال، یون های کلرید در جذب جیوه تداخل ایجاد می کنند. به طور کلی، افزایش غلظت Cl_2 باعث کاهش جذب Hg^{2+} توسط جاذب های غیر آلی و آلی می شود (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴). جیوه همچنین با OH^- پیوند کووالانسی ایجاد می کند، که پیوند بین سطح مواد معدنی (اکسید) و OH^- را به حداقل می رساند. در نتیجه، مقدار جیوه جذب شده روی سطوح معدنی کاهش می یابد (شوستر، ۱۹۹۱).

تشکیل کمپلکس های جیوه DOC- بر جذب جیوه تأثیر دارد، اما اثرات متضاد از آن گزارش شده است (شوستر، ۱۹۹۱). از یک طرف، کاهش جذب جیوه به سطوح معدنی می تواند به دلیل پایداری کمپلکس DOC-Hg باشد که از جذب جیوه به سطوح معدنی جلوگیری می کند. از طرف دیگر، می تواند موجب افزایش جذب جیوه ناشی از میل زیاد لیگاند آلی محلول برای سطح مواد معدنی شود (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴؛ شوستر، ۱۹۹۱).

جذب جیوه نیز تحت تأثیر pH خاک است (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴). وقتی pH کمتر از ۴/۵-۵ باشد، مواد آلی کارآمدترین جاذب جیوه هستند. در خاک خنثی تا قلیایی، اجزای معدنی مانند فلزات، جاذب های کارآمدتری هستند. با کاهش pH به طور کلی جذب کاهش می یابد. با این حال، ثابت شده است که جذب جیوه به ماده هیومیک در سطح pH پایین تر افزایش می یابد (Sarkar et al., ۲۰۰۷؛ Jing et al., ۲۰۰۷).

فرار سازی

بیشترین واکنش جیوه در خاک، تبدیل Hg^{2+} به Hg^0 است (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴). که اولین گام در فرایند انتقال جیوه از خاک به اتمسفر است. اگرچه نوسانات Hg^0 از خاک به طور گسترده مورد بررسی قرار گرفته است، اما هنوز هم اطمینان کافی از مقادیر بودجه سالانه جهانی و منطقه ای جیوه با منبع غیر نقطه ای وجود ندارد (گریگال، ۲۰۰۲؛ شلوتر، ۲۰۰۰؛ گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴).

کاهش جیوه می تواند توسط احیا کننده ها، مانند مواد آلی محلول (اسیدهای هیومیک و فولویک) یا Fe^{2+} ایجاد شود. کاهش جیوه توسط اسیدهای هیومیک و فولویک تحت تأثیر pH، غلظت اکسیژن محلول و سطح کلرید قرار می گیرد (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴؛ شلوتر، ۲۰۰۰؛ راویچندران، ۲۰۰۴).

کاهش غیرزیستی تحت تأثیر جذب قرار می گیرد زیرا Hg^{2+} آزاد در محلول پتانسیل کاهش بیشتری نسبت به یک ترکیب جیوه جذب شده دارد (Mishra et al., ۲۰۱۱؛ Schlüter, ۲۰۰۰؛ Schuster, ۱۹۹۱). در واقع، کاهش Hg^{2+} توسط واکنش با مواد آلی محلول (DOM) در لایه های بالایی خاک، از وجود Hg^{2+} اتمسفری که اخیراً رسوب کرده و هنوز در ماتریس خاک قرار نگرفته و نسبتاً در دسترس است بهره می برد و (Schlüter, ۲۰۰۰). کاهش غیر زیستی جیوه هم می تواند در نتیجه واکنش های فتوشیمیایی در چند میلی متر اول خاک حاصل شود (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴؛ راویچندران، ۲۰۰۴).

کاهش بیولوژیکی Hg^{2+} به Hg^0 می تواند توسط میکروارگانیسم های مختلف ایجاد شود. کاهش بیولوژیکی جیوه در خاکهایی با قابلیت دسترسی Hg^{2+} و فعالیت میکروبیولوژیکی بالا مطلوب است. در مقابل، از نظر زیست شناختی ترکیبات جیوه در خاکهایی با محتوای ماده آلی بالا و پتانسیل اکسیداسیون احیا کم (Eh) مطلوب است. واکنش های میکروبیولوژیکی می توانند باعث افزایش قابل توجهی میزان تبخیر جیوه در مقایسه با تبخیر ناشی از آنالیز بیولوژیکی شوند (Gabriel and Williamson, ۲۰۰۴؛ Schlüter, ۲۰۰۰).

انتظار می رود غیر از نور خورشید و گرما، سایر عوامل موثر در کاهش غلظت جیوه بر فرار سازی تأثیر بگذارند. به عنوان مثال، فرار سازی جیوه با افزایش محتوای DOM/Cl^- و کاهش محتوای رطوبت، کاهش می یابد (Schlüter, ۲۰۰۰). محتوای رطوبت خاک برای تعیین میزان فرار سازی مهم است (Schlüter, ۲۰۰۰). به طور کلی، با افزایش محتوای آب تا حد معینی، نوسانات افزایش می یابد (Rinklebe et al., ۲۰۱۰؛ Song and Van Heyst, ۲۰۰۵). سایر عوامل موثر در فرار سازی ویژگی های فیزیکی خاک هستند، به عنوان مثال، ظرفیت جذب، گونه و مقدار جیوه و pH (Schlüter 2000). شرایط هواشناسی (به عنوان مثال؛ سرعت باد، رطوبت نسبی و مخلوط آشفته لایه های هوا) می تواند با محدود کردن یا تحریک حمل و نقل و آزاد سازی جیوه، بر فرایند Hg تأثیر بگذارد (گابریل و ویلیامسون، ۲۰۰۴؛ شلوتر، ۲۰۰۰). عوامل هواشناسی به ویژه در مناطق غنی از جیوه یا با آلودگی بالا بسیار مهم است. حمل و نقل جیوه گازی نیز می تواند به صورت عرضی قابل توجه باشد (انتقال افقی).

متیلاسیون / دی متیلاسیون (Methylation/demethylation)

مونو متیل جیوه (MMeHg) و دی متیل جیوه (DMeHg) رایج ترین اشکال متیله شده جیوه هستند که توسط فعالیت های میکروبی سنتز می شوند (دیویس و همکاران ، ۱۹۹۷). DMeHg عملاً در آب حل نمی شود و بسیار فرار است ، در حالی که MMeHg حلالیت آب بسیار بیشتری در آب دارد (گابریل و ویلیامسون ، ۲۰۰۴). به طور کلی ، غلظت MMeHg کمتر از ۲٪ از غلظت کل جیوه در خاک است (Schlüter, ۲۰۰۰) ، اما این درصد می تواند در مناطق تالابی یا ساحلی بیشتر باشد (EPA, ۱۹۹۷ ؛ Skyllberg و همکاران ، ۲۰۰۳). درصد MMeHg نیز با افزایش فاصله از منابع رسوب جیوه افزایش می یابد (Skyllberg و همکاران ، ۲۰۰۳ ؛ اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱). به طور کلی درصد MMeHg نسبت با کل جیوه در فاز آبی در مقایسه با فاز جامد بیشتر است (Skyllberg, ۲۰۱۲). عوامل کنترل متیلاسیون و دی متیلاسیون جیوه اغلب در محیط های آبی مانند تالاب ها ، رودخانه ها و دریاچه ها مورد مطالعه قرار گرفته اند زیرا این محیط های آبی محل ذخیره سازی متیل جیوه قبل از تجمع زیستی در زنجیره غذایی هستند. متیلاسیون جیوه می تواند در هر دو محیط هوایی و بی هوایی رخ دهد، اما به نظر می رسد تحت شرایط بی هوایی در رسوبات ، متیلاسیون زیستی و پایداری MMeHg افزایش می یابد (اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱). غلظت Hg^{2+} زیستی یک عامل اصلی کنترل متیلاسیون است. به عنوان مثال ، در مطالعه Oiffer و Siciliano, ۲۰۰۹ بر روی خاک قطب شمال طی یک دوره تابستان ، نشان داد که بیشتر جیوه با DOM تشکیل یک کمپلکس داده و دیگر برای متیلاسیون در دسترس نیست.

Hg^{2+} محلول در محلول خاک برای فرآیندهای متیلاسیون بیشتر از Hg^{2+} جذب شده است (گابریل و ویلیامسون ، ۲۰۰۴ ؛ اسکیلبرگ و همکاران ، ۲۰۰۳). Jonsson و همکاران با استفاده از ردیاب های ایزوتوپ (۲۰۱۲) تایید کردند که میزان متیلاسیون می تواند بسته به گونه های Hg^{2+} موجود در خاک متفاوت باشد.

کارایی متیلاسیون میکروبی جیوه نیز به فعالیت میکروبی بستگی دارد که به نوبه خود تحت تأثیر دما ، pH و پتانسیل اکسیداسیون و احیا قرار دارد. دمای متوسط رو به بالا احتمالاً فعالیت میکروبی را تحریک می کند ، بنابراین به این وسیله میزان تولید بالاتر MMeHg در تابستان قابل توجیه است. علاوه بر این ، افزایش نرخ تولید MMeHg (در سیستم های آبی) با pH پایین و وجود مواد آلی قابل تجزیه در محیط همراه است (اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱). به عنوان مثال ، Munthe و همکاران (۲۰۰۱) در خاکهای تالاب متیلاسیون سریع تری نسبت به خاکهای خشک جنگل صورت می گیرد.

تأثیر مواد آلی بر متیلاسیون جیوه نامشخص است. از یک طرف ، کربن آلی می تواند با تحریک میکروارگانیسم ها یا از طریق متیلاسیون پیشرفته جیوه توسط مواد هیومیک یا فولویک ، مقدار متیلاسیون را افزایش دهد (اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱). از طرف دیگر ، غلظت زیاد DOM می تواند دسترسی زیستی جیوه را برای باکتریها ، به ویژه در محدوده pH خنثی کاهش دهد (اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱).

MMeHg از نظر سینتیک پایدار است اما با عملکرد میکروبی و تجزیه بیولوژیکی تخریب می شود. تخریب MMeHg توسط باکتری ها عمدتاً موجب کاهش Hg^{2+} به Hg^0 شده و به نظر می رسد بیشتر تحت شرایط هوایی اتفاق می افتد (اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱). متیل زدایی طبیعی معمولاً یا به دلیل فعالیت میکروبی و یا انتقال نوری ایجاد می شود. به طور کلی دو نوع واکنش دیمتیلاسیون میکروبی وجود دارد: احیا کننده و اکسیداتیو. دیمتیلاسیون احیا کننده ، MeHg را به Hg^0 و CH_4 تخریب می کند و توسط سیستم های اپرونی مقاومت جیوه واسطه قرار می گیرد و در تنظیمات هوایی بیشتر صورت می پذیرد و می تواند توسط غلظت بالای جیوه ایجاد شود (Oremland et al., ۱۹۹۱ ؛ Marvin-Pasquale و همکاران ، ۲۰۰۰).

؛ شفر و همکاران ، ۲۰۰۴). دیمتیلایون اکسیداتیو با تولید Hg^0 و CO_2 همراه است و در محیط های بی هوازی با سطح پایین جیوه ، به عنوان مثال ، در رسوبات یا خاک غالب است (Hines et al. ، ۲۰۰۰؛ Marvin-DiPasquale و همکاران ، ۲۰۰۰؛ شفر و همکاران ، ۲۰۰۴ ، اولریش و همکاران ، ۲۰۰۱).



شکل ۳. اکوسیستم های گرمسیری که متیلایون جیوه در آنها بیشتر است.

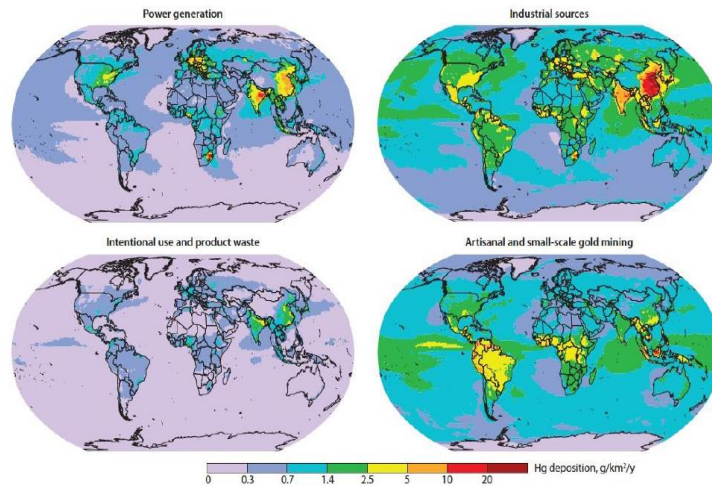
منابع و رسوخ جیوه در خاک

Source منابع جیوه در خاک:

رسوبات و فروریزه های مرطوب و خشک جوی

در اتمسفر ، جیوه به صورت Hg^0 گازی غالب است (< ۹۵٪ ؛ ژانگ و همکاران ، ۲۰۰۹). رسوب خشک و مرطوب Hg بیشتر به صورت Hg^{2+} غیرآلی، احتمالاً به شکل یونهای Hg -halide و همراه با ذرات است (Zhang و همکاران ، ۲۰۰۹ ، Schlüter ، ۲۰۰۰). رسوب جیوه به شکل $MMeHg$ معمولاً کمتر از ۵٪ از کل رسوب است (Schlüter ، ۲۰۰۰).

آخرین پیش بینی های مدل برای رسوب جیوه از اتمسفر از چهار گروه اصلی انتشار (GMA ، ۲۰۱۸) اهمیت رسوبات اتمسفری را به عنوان منبع جیوه در محیط های زمینی مشخص می کند (شکل ۴). رسوب جیوه ناشی از صنایع تولیدی برق در درجه اول محدود به مناطق صنعتی در شرق و جنوب آسیا ، اروپا ، آمریکای شمالی و آفریقای جنوبی است ، جایی که اکثر منابع احتراق ثابت در آن واقع شده است. میزان انتشار از سایر گروه های صنعتی به طور گسترده ای در جهان پخش شده است. بنابراین ، رسوب قابل توجه از منابع صنعتی مناطق وسیعی در آسیا ، اروپا ، آمریکای شمالی و جنوبی و آفریقا را پوشش می دهد. تأثیر صنایع مصرف کننده جیوه و یا تولید کننده های ضایعات حاوی جیوه نیز بیشتر مربوط به مناطق عمده صنعتی است ، اما سهم آن بطور قابل توجهی کمتر است. اکثر منابع انتشار معادن طلا در مقیاس کوچک در عرض های جغرافیایی پایین هر دو نیمکره واقع شده است. انتشارات جیوه در سطح جهان جابجا و از جایی به جای دیگر منتقل می شوند ، اما اکثر رسوبات در نزدیکی منابع انتشار رخ می دهد و بنابراین عمدتاً بر اکوسیستم آمریکای جنوبی ، آفریقای استوایی و آسیای شرقی و جنوب شرقی تأثیر می گذارد (GMA ، ۲۰۱۸).

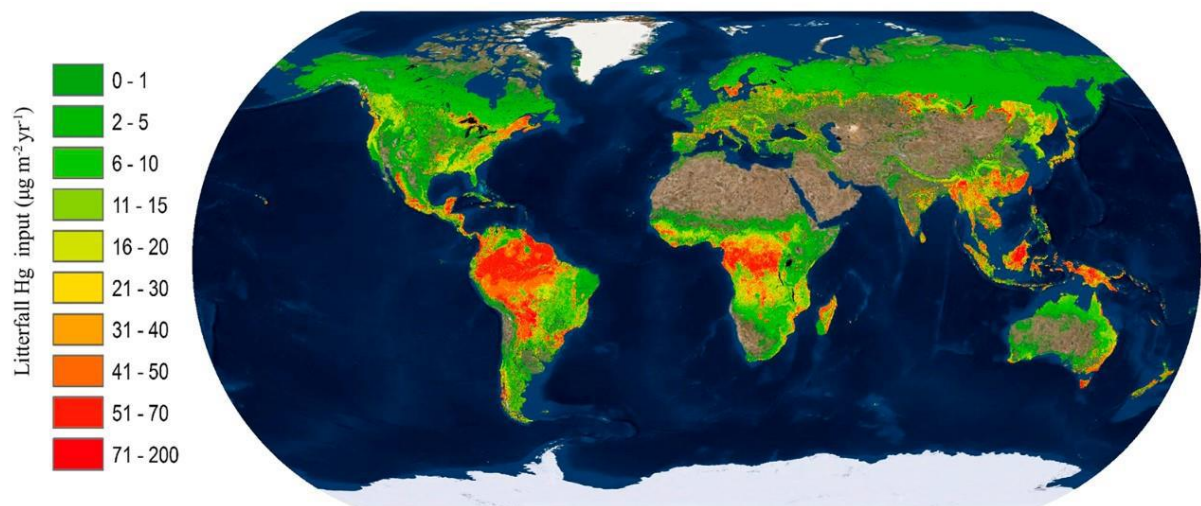


شکل ۴. پیش بینی های مدل توزیع جهانی رسوب جیوه از چهار گروه از منابع انتشار در سال ۲۰۱۵: تولید برق ، صنایع مصرف کننده جیوه و یا تولید کننده ضایعات جیوه ، استخراج طلا در صنایع با مقیاس کوچک (GMA، ۲۰۱۸).

نشست Litterfall

از منظر سیستم های خاکی ، فروریزه را می توان به عنوان منبع جیوه در نظر گرفت. جیوه اتمسفر منبع اصلی جیوه در بافت های رویی سطح زمین است و وقتی رسوبات روی زمین می افتند ، می توان جیوه را در خاک آزاد کند (Obrist و همکاران ، ۲۰۱۱). اندازه گیری های مستقیم و مطالعات ایزوتوپ پایدار نشان داده اند که رسوب جیوه از طریق فروریزه ها به طور قابل توجهی بیشتر از رسوبات مرطوب است و بر مقدار ذخیره جیوه در خاک جنگل و ذغال سنگ نارس تأثیر می گذارد (Jiskra et al.، ۲۰۱۵، ۲۰۱۸، Grigal et al.، ۲۰۰۲، ۲۰۰۳، Demers و همکاران ، ۲۰۱۳).

مطالعه اخیر توسط وانگ و همکاران (۲۰۱۶) تأیید کرد که رسوب جیوه ناشی از طریق فروریزه ها ورودی مهمی به اکوسیستم های جنگل های خشکی از طریق جذب جمعی جیوه اتمسفری (بیشتر Hg^0) به شاخ و برگ است. توزیع فضایی رسوب جیوه نشان می دهد که شار رسوبات از مناطق گرمسیری به مناطق معتدل کاهش می یابد. تقریباً ۷۰٪ رسوبات خشک جهانی Hg^0 در مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری اتفاق می افتد. با توجه به اینکه مقدار رسوب جیوه جهانی از طریق ریزش زباله به طور معمول ۲-۶ برابر بیشتر از Hg^0 از کف جنگل است، بنابراین اکوسیستم های جنگل یک محل ذخیره قابل توجه Hg^0 است (شکل ۵).



شکل ۵. رسوبات جهانی سالانه جیوه از طریق دفع زباله 710 ± 1180 میلی گرم برآورد شده است (وانگ و همکاران ، ۲۰۱۶)

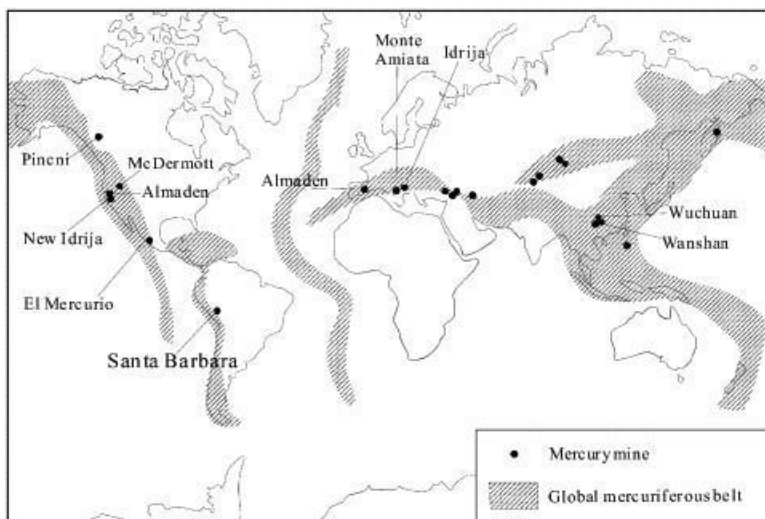
در سایت های زمینی در نیمکره شمالی^۱ GEM با CO₂ متفاوت است. دامنه نوسانات فصلی در غلظت جوی با عرض جغرافیایی افزایش می یابد و در سایت های خشکی داخلی از سایت های ساحلی قابل توجه است. دامنه نوسانات فصلی در غلظت GEM جوی با عرض جغرافیایی افزایش می یابد و در بین سایت های زمینی، سایت های ساحلی قابل توجه است. داده های ماهواره ای نشان داد که فعالیت فتوسنتزی گیاهان با سطح GEM در سایت های جداگانه و در سراسر قاره ها ارتباط دارد. این روند پیامدهای جهانی دارد و باید در طراحی پایش جهانی جیوه در اتمسفر در نظر گرفته شود. از آنجا که غلظت های GEM در لایه مرزی سیاره ای در سایت های زمینی اندازه گیری می شود ، هم رسوب و هم روند انتشار را منعکس می کند. نوسانات GEM مشاهده شده باید به عنوان تغییرات در تبادل خالص ، یعنی انتشار طبیعی و انسانی ، جذب پوشش گیاهی و انتشار مجدد خاک در نظر گرفته شود.

جیوه ژئوژنیک (یا لیتوژنیک)

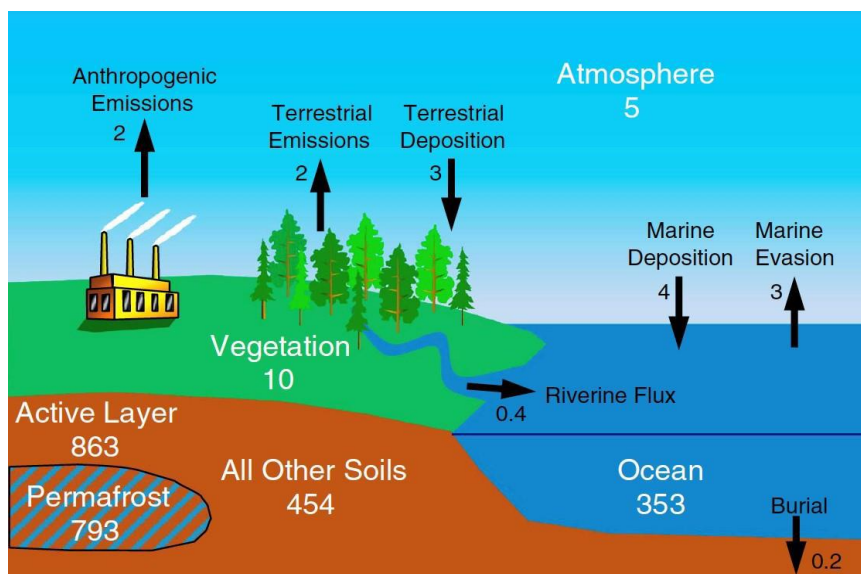
جیوه به طور مساوی در سراسر لیتوسفر توزیع نشده است اما در سه منطقه معروف به "کمربندهای جهانی جیوه" متمرکز شده است که در مرزهای صفحات تکتونیکی قرار دارند. تقریباً تمام معادن جیوه در جهان در کمربندهای جهانی جیوه ، متمرکز شده است. منابع ژئوژنیک (یا لیتوژنیک) از طریق اکسیداسیون و هوازگی کانسارها و سنگ بسترها ، جیوه را منتشر می کنند. سپس جیوه از طریق گاززدایی Hg یا در اثر بالا آمدن آبهای زیرزمینی به خاک منتقل می شود. همچنین در این مناطق است که بیشتر معادن جیوه عمدتاً به صورت سنگ معدن (HgS) یافت می شود. مناطق زمینی ای مناطقی هستند که شار ژئوژنیک جیوه در خاک و جو ناچیز باشد و در این زمینه روش هایی برای تمایز بین منابع جوی و ژئوژنیک خاک Hg وجود دارد (گوستین و دیگران ، ۲۰۰۶ ؛ گودرون و همکاران ۲۰۰۶). به تازگی مقدار جیوه طبیعی ذخیره شده در خاک های منجمد شده در نیمکره شمالی شناسایی شده است. لایه های منجمد دائمی اعماق زمین دو برابر بیشتر از سایر خاکها ، اتمسفر و اقیانوس ها دارای جیوه هستند. مناطق دائمی یخ زدگی نیمکره شمالی حاوی 962 ± 1656 گرم جیوه است که 461 ± 793 گرم جیوه در مایع

¹ Gaseous Elemental Mercury 9

یخ زده به دام افتاده است. این جیوه در اثر ذوب شدن یخ ها در طی قرن های آینده موجب عواقب ناشناخته ای برای محیط زیست خواهد شد.



شکل ۶. کمربندهای جهانی جیوه (وانگ و همکاران ، ۲۰۰۵)



شکل ۷. شماتیک به روز شده از چرخه جیوه با مخازن اصلی سفید (جیوه) و شارهای سیاه (جیوه/سال). برگرفته از مطالعه آموس و همکاران. (۲۰۱۳) با مخزن خاک به عنوان میانگین تخمین های منتشر شده قبلی (شوستر و همکاران ، ۲۰۱۸)

آلودگی انسانی

آلودگی انسانی خاک می تواند از منابع مستقیم (جدول ۱) و یا غیرمستقیم (رسوب انتشارات اتمسفری قبلی) اتفاق بیفتد (GMA ، ۲۰۱۸ ؛ Streets et al. ، ۲۰۱۷). در مطالعه Streets و همکاران در سال ۲۰۱۷ ، کل انتشار جیوه به زمین و آب

تا سال ۲۰۱۰ مقدار ۱۰۷۰ گرم (جدول ۱) برآورد شده است، که به طور قابل توجهی بیش از کل انتشار اتمسفری جیوه است (۴۷۰ گرم).

Streets و همکاران (۲۰۱۷) مقدار کل جیوه آزاد شده در محیط زیست توسط منابع انسانی ۱۵۴۰ گرم گزارش کردند. بر اساس برآوردهای انجام گرفته، انتشار اولیه از منابع ژئوژنیک ۹۰ میلی گرم در سال (به استثنای انتشار مجدد جیوه قبلاً رسوب داده شده) آموس و همکاران، (۲۰۱۳)، کل ورودی های ناشی از منابع انسانی از سال ۱۸۵۰ برابر با ۷۸ و ورودی کل ژئوژنیک ۱۴/۴ گرم می باشد. وجود چنین مقادیر زیادی جیوه انسانی در محیط منجر به آلودگی گسترده زمین و آب در مکان های خاص استخراج فلزات شده است. آلودگی جیوه انسانی ممکن است منجر به غلظت جیوه بسیار بالاتر در سیستم های خاکی نسبت به منابع دیگر شود و پیامدهای مهمی در سرنوشت و انتقال جیوه در خاک داشته باشد. (جدول ۲).

جدول ۱. منابع تجمعی انسانی و آزادسازی جیوه در هوا، زمین و آب تا سال ۲۰۱۰ (Streets et al., ۲۰۱۷)

Process	Emissions to air (Gg)	Fraction of Hg ⁰ in air emissions	Releases to land and water (Gg)	Ratio of air emissions and releases to land/water	Total emissions and releases
Copper smelting	4.91	0.64	12.6	0.39	17.5
Zinc smelting	10.5	0.73	25.3	0.42	35.8
Lead smelting	6.04	0.74	8.57	0.71	14.6
Ironmaking	1.2	0.40	1.45	0.83	2.65
Steelmaking	0.41	0.45	2.41	0.17	2.85
Mercury production	91.7	0.80	321	0.29	42.3
Gold, large-scale	21.0	0.80	114	0.18	135
Gold, artisanal	34.4	1.00	51.6	0.67	86.0
Silver production	146	0.80	219	0.67	365
Cement production	3.29	0.51	3.47	0.95	6.76
Caustic soda	8.80	1.00	63.6	0.14	72.4
Coal combustion	26.4	0.53	11.4	2.32	37.8
Oil combustion	0.77	0.50	0	-	0.77
Municipal waste incineration	34.6	0.22	0	-	34.6
Other waste burning	27.8	0.20	0	-	27.8
Electrical and measuring equipment	5.52	0.71	97.7	0.06	103
Chemical manufacturing	47.5	1.00	131	0.36	179
Dental	1.06	0.71	5.69	0.19	6.75
total	472	0.74	1070	0.44	1540

1 Gg=10⁹ grams = 1000 tonnes

جدول ۲. نوع منبع انسانی جیوه و وجود آن در خاک

منبع	نظرات	نوع آلودگی
دیویس و دیگران، ۱۹۹۷	حتی پس از دهه ها، ممکن است مثل "گلوله" های Hg ⁰ یا NAPL در خاک باقی بماند.	Hg ⁰ تخلیه شده از مانومتر ها
بولن و همکاران، ۲۰۰۸	بیشتر جیوه در خاک به ترکیبات معدنی خاک متصل بود (به عنوان مثال اکسیدهای آهن / آلومینیوم و هیدروکسیدها یا مواد معدنی رس)، در آبخوان ها می توان کاهش Hg ⁰ را مشاهده کرد.	HgCl ₂ مورد استفاده برای نگهداری چوب
Boszke و همکاران، ۲۰۰۸؛ بیستر و همکاران، ۲۰۰۲	تحولات اصلی جیوه، انتشار در اتمسفر و اکسیداسیون جیوه به Hg ²⁺ و به دنبال آن اتصال به ماده هیومیک و sulphide بود. در واقع، حتی پس از حوادث با آلودگی زیاد، تعداد بسیار کمی از	نشت صنعتی Hg ⁰

	<p>Hg^0 در شکل مایع باقی می ماند: Hg^0 یا به سرعت فرار می شود یا با سرعت کمتری به Hg^{2+} اکسید می شود.</p>	
<p>اسلووی و همکاران ، ۲۰۰۵ ، لوری و همکاران ، ۲۰۰۴ شا و همکاران ، ۲۰۰۶ بیستر و همکاران ، ۱۹۹۹ ؛ کوچمن و همکاران ، ۲۰۰۶ ، ۲۰۱۰ ناوارو و دیگران ، ۲۰۰۶ پالمیری و همکاران ، ۲۰۰۶</p>	<p>Hg^0 اکسید شده و به مجتمع های جذب معدنی و آلی ، سینابار بسیار نامحلول (HgS)، اکسیدهای جیوه و کلرید جیوه تبدیل شده است. علاوه بر این ، حمل و نقل کلوئیدی به عنوان مکانیسم شستشوی غالب در باطله های معدن مشخص شد. بیشتر جیوه با مواد آلی و گوگرد در ارتباط بود. < ۹۹٫۸٪ از جیوه به صورت مجتمع های Hg-CN بود. تفاوت در گونه بستگی به زمان آلودگی بستگی دارد: پخت سنگ معدن ناقص قدیمی تر از باطله جوان تر که در آن ماده معدنی سورگ Hg^0 و Hg^0 غیر محدود غالب بود ، سینار بیشتری داشت. گونه های غالب جیوه در خاک و مواد زائد معدنی سیناربار (HgS) بودند که عمدتاً از هوازگی پیریت غنی از جیوه و عنصر Hg^0 در ماتریس تشکیل شد ، در حالی که در کلسن ها و باطله ها گونه غالب Hg^0 بود</p>	<p>معادن استخراج طلا</p>
<p>میلان و همکاران ، ۲۰۱۱</p>	<p>در صنعت معدن جیوه در آلمدن (اسپانیا) ، تجزیه و تحلیل شکل گیری از نمونه های خاک ، غلظت $21ulphide21$ جیوه غالب را نشان داد ، سپس با اکسی هیدروکسیدهای Fe-Mn و با مواد آلی همراه بود و تأثیر Hg^0 کاربری زمین در گونه های جیوه نیز با نتایج مختلف زراعی در مناطق کشاورزی و دامداری نشان داده شد</p>	<p>مناطق استخراج جیوه</p>
<p>برناوس و همکاران ، ۲۰۰۶ ؛ Terzano و همکاران ، ۲۰۱۰ ؛ سانتورو و دیگران ، ۲۰۱۰ اسکیلبرگ ، ۲۰۱۰</p>	<p>سینابار و متاسینابار (HgS)، کوردرویوت ($Hg_3S_2Cl_2$) و مقادیر کمی $HgSO_4$ و Hg^0. HgO ها و $HgCl_2$ ها به طور معمول گونه هایی هستند که گاهی اوقات در خاک های بسیار آلوده یافت می شوند اما تحت شرایط پس زمینه نیستند.</p>	<p>خاکهای آلوده به مواد زائد Hg^0 از گیاه کلر-قلیایی.</p>
<p>رنبرگ و دوداس ، ۲۰۰۱</p>	<p>با گذشت زمان جیوه به Hg_2 تبدیل شده و بیشتر با مواد آلی و معدنی خاک جذب می شود. ارتباط جیوه با هیدروکربن نیز ممکن است.</p>	<p>آلودگی (Surface Sco contaminated Objects) توسط هیدروکربن ها</p>
<p>بسینگر و مارکس ، ۲۰۱۰</p>	<p>جیوه $21ulphide21$ در خاک و خاکشیر شناسایی شد در حالی که سایر اشکال جیوه (به عنوان مثال جیوه جذب شده) احتمالاً وجود داشت اما تجزیه و تحلیل نشده است.</p>	<p>آلودگی گندم در محلی از فولمینات جیوه ($Hg(CNO)_2$)</p>
<p>Sakamoto et 2019 همکاران</p>	<p>$ulphide \beta 21$ جیوه پایدار (HgS) بر اساس میکروسکوپ الکترونی عبوری مرکب از طیف سنجی اشعه ایکس پراکندگی انرژی (TEM-EDX) و ساختار ریز جذب اشعه X (XAFS). $MmeHg$ کمتر از ۱٪ از کل جیوه بود.</p>	<p>خاک / رسوبات حاصل از تولید استالندید در میناماتا</p>

رسوخ جیوه

Sink یا رسوخ جیوه از منظر سیستم های خاکی عبارتند از:

- i. اتمسفر
- ii. گیاهان (از طریق جذب ریشه)
- iii. آبهای زیرزمینی
- iv. آبهای سطحی

مکان های جذب برگشت ناپذیر گاهی اوقات به عنوان یک sink در بودجه بندی جیوه خاک در نظر گرفته می شوند ، اما این روند بر بودجه کل Hg در خاک تأثیر نمی گذارد.

گیاهان

ریشه ها به عنوان مکان های جذب انتقال جیوه به شاخ و برگ ها هستند (گریگال ، ۲۰۰۳). بنابراین ، جیوه در گیاهان از طریق ریشه به قسمتهای خارج زمین منتقل می شود، همچنین گیاهان با استفاده از فرآیندهای "گیاه پالایی" می توانند از طریق مهندسی ژنتیک (روئیز و دانیل ، ۲۰۰۹) یا ارتباط با ریزوباکتری ها، جیوه را از خاک جدا نمایند (سرخوه ، ۲۰۱۰). گیاهان غیرخاکی مانند حرا می توانند جذب قابل توجهی از ریشه انجام دهند (دینگ و همکاران ، ۲۰۱۱).

آب های زیرزمینی و آب های سطحی

در منطقه غیر اشباع ، انتقال جیوه به آبهای سطحی (یعنی از طریق جریان زیر سطحی) و آبهای زیرزمینی از طریق همرفت ، پراکندگی ، انتشار و حمل و نقل با تسهیل کلوئید اتفاق می افتد. در مکان های آلوده شدید ، انتقال و به دام انداختن NAPL باید مد نظر قرار داده شود. در منطق غیر اشباع ، انتشار گاز جیوه همچنین سرنوشت جیوه را در خاک را تعیین می کند.

شارهای سطح زمین - اتمسفری جیوه

تبادل Hg^0 بین سطح خاک و اتمسفر در سایت های آلوده و غنی از جیوه، طی ۳۰ سال گذشته مطالعه قرار گرفته است (Engle et al.، ۲۰۰۱؛ Ferrara et al.، ۱۹۹۸؛ Nacht and Gustin، ۲۰۰۴؛ Wang et al.، ۲۰۰۵، ۲۰۰۶) (Kim et al.، ۱۹۹۵؛ Poissant and Casimir، ۱۹۹۸). این محاسبات نشان می دهد که حتی در مناطق دارای غلظت کم جیوه در خاک و در نتیجه ، پتانسیل انتشار اتمسفری کمتر، باز هم به میزان قابل توجهی جیوه در جو وجود داشته است (گوستین و همکاران ، ۱۹۹۷؛ فرسولتز و گوستین ، ۲۰۰۴). در یک مطالعه ، بیش از ۵ درصد از کل انتشارات انسانی جیوه ره به عنوان تبخیر جیوه از سایت های آلوده گزارش نمود. (Kocman و همکاران ، ۲۰۱۳؛ GMA، ۲۰۱۸).

جذب جیوه توسط حیوان و گیاه

مسمومیت با جیوه در نتیجه آلودگی محیط زیست در مقیاس جهانی به یک مسئله مورد توجه تبدیل شده است. انتشار طبیعی جیوه دو سوم کل انتشارات و انتشارات ناشی از فعالیت های انسانی یک سوم دیگر را تشکیل می دهد. مقادیر قابل توجهی جیوه از طریق استفاده از لجن ، کود و آهک به زمین های کشاورزی افزوده می شود. مهمترین منابع آلوده کننده خاک کشاورزی

استفاده از جیوه های ارگانیک به عنوان روکش و پوشش دانه برای جلوگیری از بیماری های قارچی در بذرها است. به طور کلی ، وقتی از دوزهای توصیه شده استفاده می شود ، تأثیر درمان بر روی جوانه زنی مطلوب است اما با افزایش نرخ استفاده خطرات ناشی از آن افزایش می یابد.

دسترسی گیاهان به جیوه خاک کم است ولی وجود دارد. تمایل به تجمع جیوه در ریشه ها ، نشان می دهد که ریشه ها مانعی برای جذب جیوه هستند. در بین انواع گونه های گیاهان بریوفیت ها ، گلشنک ها ، گیاهان تالاب ، گیاهان چوبی و گیاهان زراعی بشتین توانایی را در جذب جیوه دارند. عوامل موثر در جذب گیاه شامل محتوای آلی خاک یا رسوب ، ظرفیت تبادل کربن ، میزان اکسید و کربنات ، پتانسیل اکسایش مجدد ، فرمولاسیون استفاده شده و محتوای کل فلز است. به طور کلی ، جذب جیوه در گیاهان می تواند به سطح آلودگی مربوط باشد. وقتی فلز به شکل آلی وارد گیاه می شود غلظت جیوه در (ساقه ها و برگ ها) بیشتر است. در گیاهان عروقی آب شیرین ، تفاوت در میزان جذب بستگی به گونه های گیاهی ، تغییرات رشد فصلی و جذب یون فلز دارد. مقداری از جیوه توسط برگهای گیاه جذب شده و از طریق برگهای افتاده به هوموس خاک منتقل می شود.

جذب بخار جیوه توسط برگهای جو و گندم پنج برابر بیشتر از برگهای ذرت ، سورگوم و خرچنگ است. بنابراین به نظر می رسد جیوه موجود در هوا به میزان قابل توجهی در محتوای جیوه محصولات و در نتیجه در صورت مصرف انسانی برای سلامتی مشکل ساز خواهد بود. تجمع ، پاسخ سمیت و توزیع جیوه بین گیاهان در شاخه یا ریشه متفاوت است. ریزش فروریزه ها نقش مهمی در چرخه و رسوب جیوه دارد. مکانیسم های احتمالی سمیت جیوه تغییر در نفوذپذیری غشای سلولی ، واکنش گروه های سولفیدریل SI^{-I} با کاتیون ها ، میل برای واکنش با گروه های فسفات و گروه های فعال ADP یا ATP و جایگزینی یون های اساسی ، عمدتاً کاتیون های اصلی است. به طور کلی ، تصور می شود که انواع غیرآلی بیشتر از انواع ارگانیک در دسترس گیاهان باشد.

جیوه هم بر واکنش های نوری و هم بر واکنش های تاریکی فتوسنتز تأثیر می گذارد. جایگزینی اتم مرکزی منیزیم در کلروفیل ، توسط جیوه در داخل بدن از برداشت نور فتوسنتز جلوگیری می کند در نتیجه در فتوسنتز ایجاد اختلال می نماید. سلول های گیاهی در غشای واکوئلار (تونوپلاست) و غشای پلازما حاوی آکوپورین ها هستند ، که انتقال آب را تسهیل می کنند. بسیاری از آکوپورین ها به جیوه حساس هستند و جیوه می تواند فعالیت آن ها را مختل نماید.

در غلظت های پایین جیوه اثر سمی بر توانایی تخریب میکروارگانیسم ها دارد. حساسیت به فلز را می توان با کاهش pH افزایش داد و مشخص شده است که تحمل جیوه توسط میکروارگانیسم ها به ترتیب زیر است:

total population > nitrogen fixers > nitrifies

کل جمعیت < تثبیت کننده های نیتروژن < نیتروژن سازها.

آزمایشات زیادی برای بررسی اثرات ژنتیکی ترکیبات جیوه در سیستم های آزمایشی با استفاده از انواع نقاط انتهایی ژنتیکی انجام شده است. مشهودترین و سازگارترین اثر القای C-mitosis از طریق اختلال در فعالیت ها که منجر به تشکیل سلولهای پلی پلوئید و آنئوپلوئید و تومورهای C می شود.

پلاسمیدهای باکتریایی سیستم های مقاومت را برای یونهای فلزی سمی کد می کنند ، از جمله Hg^{2+} ، که توسط جریان وابسته به انرژی یون های سمی از طریق ATPases و ضدپمپ های کاتیون پروتیون شیمیوسموتیک کار می کنند. اپرون مقاومت جیوه القایی met هم آنزیم های جذب یون جیوه و هم آنزیم های سم زدایی را کد می کند. در باکتریهای گرم منفی ، یک

پروتئین پلاسمایی، MerP، یک پروتئین انتقال دهنده غشا inner داخلی، Mer7 و یک آنزیم سیتوپلاسمی، جیوه ردوکتاز، پروتئین MerA، عامل انتقال یونهای جیوه به سلولها و کاهش آنها به جیوه اولیه، جیوه است. (دوم) در Thiobacillus ferrooxidans، یک باکتری شیمی اتوتروفیک اسید دوست، حساس به یون های جیوه، گروهی از سویه های مقاوم به جیوه، جدا شده است. کل توالی کدگذاری ژن مقاومت به یون جیوه در قطعه ۲,۳ کیلو بایت DNA کروموزومی (کد کننده ۵۶۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ پروتئین با وزن مولکولی) از سویه E-15 اشرشیاکلی واقع شده است. گیاهان بالاتر و Sehihosaceharomyces pombe با سنتز فیتوشلاتین ها PC که به عنوان کلاتورها عمل می کنند، به استرس فلزات سنگین جیوه پاسخ می دهند. قدرت اتصال جیوه II به گلوتامین و فیتوشلاتین از ترتیب زیر پیروی می کند: (yGlu-Cys) 2Gly < (yGlu-Cys) 3Gly < (yGlu-Cys) 4Gly. Nicotiana tabacum، تنباکو هاپلوئید، سلول ها برای پرورش گیاهچه های متحمل به جیوه در معرض سولفونات اتیل متان قرار گرفتند. انواع متحمل HgCl₂ از نیتروزوگوانیدین (NTG) کشت سلولهای سوسپانسیون تحت درمان نخود گاو، Vigna unguiculata، که از کالوس هیپوکوتیل آغاز شده و با ۱۸ ~ g/ml HgCl₂ انکوباسیون شدند، انتخاب شدند. آزمایشاتی برای تولید گیاهان مقاوم به جیوه Hordeum vulgare از طریق قرار گرفتن در معرض قبلی با دوزهای پایین جیوه و کاشت بعدی نسل بعدی در آلوده به جیوه انجام شده است.

خاک تصفیه گیاهی شامل استفاده از گیاهان برای استخراج، سم زدایی و یا جدا سازی آلاینده های محیطی از خاک و آب است. گیاهان تراریخته یون های جیوه را از مجتمع های متیل جیوه جدا می کنند، یون های جیوه را به شکل فلزی کاهش می دهند، از طریق ریشه های خود جیوه فلزی را می گیرند و جیوه عنصری سمی کمتری را تکامل می دهند. گیاهان مهندسی ژنتیک حاوی اشکال اصلاح شده ژن باکتریایی هستند که متیل جیوه را تجزیه می کنند و یون های جیوه را کاهش می دهند. اولین ژنی که با موفقیت در گیاهان وارد شد، فلز بود که برای آنزیم یون ردوکتاز جیوه کدگذاری می کند، که جیوه یونی را به شکل عنصری با سمیت کمتر تبدیل می کند. کدهای MerB برای یک پروتئین ارگانیک لیوراز که یونهای جیوه را از ترکیبات متیل جیوه بسیار سمی جدا می کند، کد می کند. در مطالعات اخیر گزارش شده است که گیاهان دارای ژن merB سم زدایی از متیل جیوه را در خاک و آب انجام می دهند. هر دو ژن با موفقیت در خردل، تنباکو و صنوبر لاله بیان شده اند. گیاهانی که در حال حاضر در حال تغییر و تحول هستند عبارتند از: برنج وحشی، اسپارتینا و سایر گیاهان تالابی. با ترکیب روش های استاندارد گیاه پالایی حذف جیوه از مناطق آلوده از طریق پرورش گیاهان چه با جهش زایی معمول و چه با مهندسی ژنتیک می توان مسئله آلودگی جیوه را به میزان قابل توجهی کاهش داد. گیاهان تراریخته مختلف مطرح شده با استفاده از دو ژن merA و merB از جمله امیدهای علم نوین در این زمینه هستند.

مهمترین اشکال جیوه که موجودات زنده در معرض آن هستند را می توان در سه دسته قرار داد که دارای خواص فارماکوکینتیک مختلف هستند. از این موارد، جیوه اولیه (جیوه عنصری) معمولاً به عنوان بخار جیوه در اتمسفر یا به عنوان جیوه فلزی در جسم مایع شناخته می شود. از نظر مسمومیت نسبتاً زیاد و حلالیت در چربی از اهمیت زیادی برخوردار است (برلین، ۱۹۸۶). جیوه به صورت یونی به صورت Hg²⁺ و Hg⁺ وجود دارد. اولی به راحتی مجتمع هایی با لیگاندهای آلی، به ویژه گروه های سولفیدریل، تشکیل می دهد. HgCl₂ در آب بسیار محلول و بسیار سمی است. Hg₂Cl₂ انحلال کمتری در آب دارد و به همین ترتیب دارای سمیت کمتری نیز می باشد.

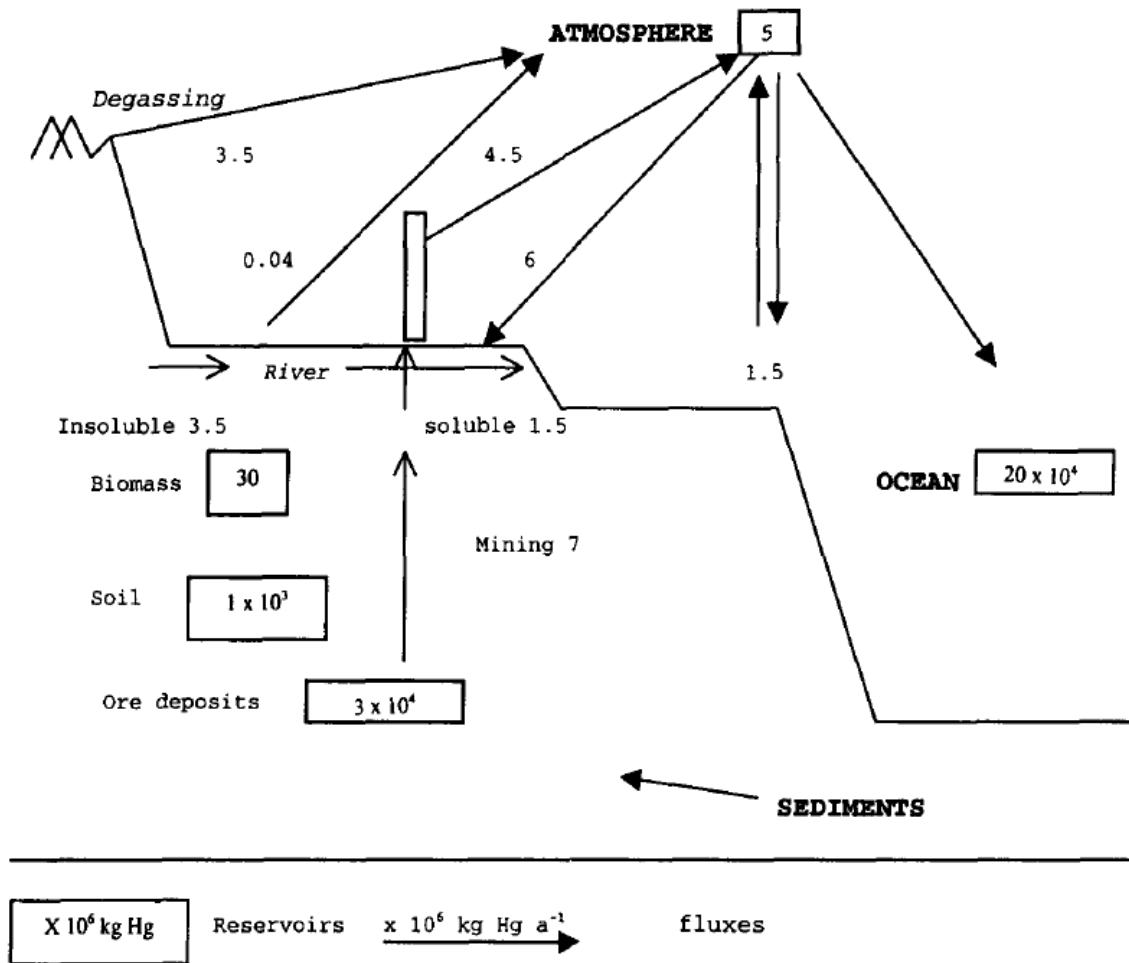


Fig. 1. The mercury cycle.

جذب و توزیع جیوه:

مطالعات گذشته نشان می دهد که جیوه آزاد شده از رسوبات توسط گیاهانی مانند *Ceratophyllum demersum* و *Anodonta grandis* جذب می شوند (Hammer et al., ۱۹۸۸). گیاهان آبی، گل‌سنگ‌های آبی، و درختان کوتاه و درختچه ای که در رودخانه‌هایی قرار دارند که پساب‌های حاصل از معادن طلا را دریافت می کنند جیوه را از سنگ‌های معدن طلا دریافت می کنند (Taisaev, ۱۹۹۱). رودخانه مادیرا، در حوضه آمازون، نمونه ای از این محل هاست.

منبع اصلی پسماندهای جیوه، سلول‌های جیوه در صنعت کلرآلکالی و لجن رسوب شده در محل‌های دفن زباله یا تخلیه شده در آبراهه‌های کشورهای صنعتی است.

گیاهان آبی جمع کننده های بیولوژیکی جیوه هستند. در ماکروفیت های آبی در حال رشد در اطراف وروسلاو ، لهستان ، که تا حدی تحت تأثیر آلودگی جوی ، پساب کارخانه های شیمیایی و آب های زیرزمینی آلوده به زباله ها قرار دارند ، میزان غلظت جیوه از مقادیر ایجاد شده پس زمینه فراتر رفته است. در مطالعه ای بر روی گیاه *Scapania undulata* که از یک رودخانه کوهستانی تمیز و جنگلی نشات گرفته و در محلول های حاوی ۷۰-۱۰۰٪ فاضلاب از یک کارخانه شیمیایی کشت شده است ، افزایش محتوای جیوه را نشان داد (۴۰ بار در ۱۰۰٪ فاضلاب و ۲۰ بار در ۷۰٪ فاضلاب ؛ Samecka & Kempers, ۱۹۹۶). غلظت جیوه در ۱۸ جنس جلبک دریایی در تایلند از ۰-۸۳۹/۱۰ نانوگرم در گرم وزن خشک گیاه است. گیاه قهوه ای *Fadina tetrastrornatica* و *Dictyota dichotoma* و جلبک دریایی قرمز *Acanthophora spicifera* قابل اطمینان ترین شاخص ها بودند (Khanianapai و همکاران ، ۱۹۸۴). در گیاهان آب شیرین ، تفاوت در میزان جذب بستگی به گونه های گیاه ، تغییرات فصلی در سرعت رشد و یون فلزی دارد که جذب می شود. غلظت بالاتر جیوه در گیاهان افزایش متناسب سطح جیوه در آب را نشان می دهد (Mortimer, ۱۹۸۵). مشاهده شد که تجمع جیوه توسط آزولا بر رشد تأثیر می گذارد (Mishra و همکاران ، ۱۹۸۷). تجمع جیوه در *Hydrilla verticillata* حداکثر بود ، و پس از آن *Oedogonium areolatum* و *Eichhornia crassipes* بود. تجمع در ریشه های *Eichhornia* تقریباً دو برابر بیشتر از شاخه ها بود (ژانا ، ۱۹۸۸). سطح جیوه در *Eichhornia crassipes* پس از یک هفته قرار گرفتن در معرض ۲۵ ، ۵۰ و ۷۵ ppm حدود ۷۰-۷۵٪ بود. غلظت کل اسیدهای آمینه آزاد و آنزیم های آلانین آمینوترانسفراز و آسپاراتات آمینوترانسفراز با افزایش غلظت جیوه افزایش می یابد (Hussain & Jamil, ۱۹۹۰).

ریشه ماکروفیت آبی ایزوئیدی غوطه ور *Eriocaulon septangulare* ، که به مدت ۳۱ روز در رسوبات آلوده به غلظت غیر سمی جیوه غیر آلی کشت داده شد ، غلظت قابل توجهی بالاتر و محتوای جیوه به طور قابل توجهی بیشتر از گیاهان بدون جیوه اضافه شده بود. هیچ شواهدی از انتقال جیوه از ریشه به شاخه در گیاه وجود ندارد ، اگرچه ممکن است حمل و نقل در جهت مخالف وجود داشته باشد (Coquery & Welbourn, ۱۹۹۴).

سنبل آبی *Eichhornia crassipes*، نی دم گربه ای *Typha latifolia*، گل گاو زبان (حداقل *Sparganium*) و ریشه های *Menyanthes trifoliata* به راحتی یون های جیوه را از محلول های آبی جذب می کنند. (Robichaud و همکاران ، ۱۹۹۵).

اثرات سمی جیوه بر روی گیاهان

مطالعات در خصوص ریز مغذی ها و اثرات سمی فلزات کمیاب موجود در خاک و اثرات آن ها بر موجودات زنده و گیاهان بومی در مزارع محدود است. معمولاً اثرات فلزات در شرایط آزمایشگاهی استریل و بسیار ساده بررسی می شود، که ممکن است در شرایط مختلف با شرایط مزارع واقعی متفاوت باشد (راس ، ۱۹۹۴). تحقیقات زیادی در مورد تأثیرات فلزات بر تولید گیاهان با ارزش غذایی انجام شده است ، اما تا همین اواخر ، مطالعات کمی بر روی چرخه فلزات کمیاب در اکوسیستم های طبیعی انجام شده است.

دو دسته از اثرات سمی تعریف شده ، سمیت حاد - دوز زیادی از ماده شیمیایی برای مدت زمان کوتاه ، که معمولاً کشنده است - و سمیت مزمن - دوز کم در مدت زمان طولانی ، که می تواند کشنده یا موثر باشد (Alderdice, ۱۹۶۷).

سه جنبه اصلی مطالعات بر روی فلزات خاک، بررسی بزرگنمایی زیستی، انتقال و تجمع فلزات در زنجیره غذایی است. معیارهای مفید، مرتبط و از نظر آماری قابل قبول برای انتخاب آستانه سمیت فلزات در خاک و همچنین مطالعه تجربی بر روی سمیت فلزات دیگر که ممکن است آستانه فلزات منفرد را تغییر دهد، مورد نیاز است. نکته اصلی در این مطالعات این است که آستانه سمیت گیاهی با گونه های گیاهی متفاوت است، که خواص خاک بر میزان انتقال فلزات به گیاهان تأثیر می گذارد، ریشه ها ممکن است فلزات را جدا کنند و از انتقال به برگها جلوگیری یا کاهش دهند، و هیچگونه فعل و انفعالات شیمیایی یا سمی در نظر گرفته نمی شود، و اینکه تغییرات در مواد شیمیایی محلول پاشی ممکن است تحت تأثیر سایر عوامل محیطی مانند در دسترس بودن، pH، اکسیداسیون و یا شوری آب قرار گیرد.

در سطح سلولی، مکانیسم های احتمالی که از طریق آنها فلزات سمی ممکن است آسیب ببینند، شامل مسدود کردن گروه های عملکردی مولکول های مهم از نظر بیولوژیکی، مانند آنزیم ها، پلی نوکلئوتیدها یا سیستم های حمل و نقل برای یون های مغذی، جابجایی و / یا جایگزینی مواد ضروری است.

یون های فلزی از مولکول های زیستی و واحدهای سلولی عملکردی، آنزیم های دناتوره و غیرفعال کننده و یکپارچگی غشای سلول و اندامک ها را مختل می کنند (Ochiai, 1987). مکانیسم های احتمالی سمی سمیت جیوه، تغییر در نفوذپذیری غشای سلولی، واکنش گروه های سولفیدریل (SH^-) با کاتیون ها، میل برای واکنش با گروه های فسفات و گروه های فعال ADP یا ATP و جایگزینی یون های اساسی به جای کاتیون ها است. (Kabata-Pendias & Pendias, 1984). به طور کلی، تصور می شود که اشکال غیر آلی بیشتر از آلی در دسترس گیاهان باشد (لینستر، 1991).

گیاهان به طور مستقیم یا به صورت غیر مستقیم و تصادفی عمدتاً در گیاهان زراعی از طریق تیمار بذر یا محلول پاشی از طریق ضد قارچ ها، در معرض جیوه قرار می گیرند.

تماس تصادفی گیاه با جیوه از طریق خاک، آب یا هوای آلوده حاصل می شود. سطح سمیت معمولاً در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از طیف وسیعی از غلظت ها و دوره های مختلف تماس آزمایش می شود. گیاهان آزمایش شده عمدتاً گیاهان آبی برای آلودگی های آب و محلی هستند که تحت شرایط مختلف خاک مورد بررسی قرار می گیرند. پارامترهای مورد مطالعه شامل سنجش های بیوشیمیایی و ژنتیکی است. بیشترین اطلاعات موجود در مورد تأثیر جیوه در جوانه زنی بذر و رشد گونه های مختلف گیاهی در مزارعی که در از جیوه به عنوان قارچ کش استفاده شده است می باشد.

جذب جیوه آلی و معدنی از خاک توسط گیاهان کم است و جابجایی جیوه از ریشه گیاه به اندام های بالایی گیاه صورت نمی پذیرد. بنابراین افزایش غلظت جیوه در خاک، افزایش کمی در سطح جیوه در گیاه ایجاد می کند. نمکهای موجود در خاک ممکن است توسط واکنشهای بیولوژیکی و شیمیایی به فلز جیوه یا ترکیبات متیله شده تبدیل شده و از منافذ برگها نفوذ کرده و جذب شوند، این فرآیند در افزایش غلظت جیوه در گیاه بسیار موثرتر از جذب جیوه توسط ریشه است. این امر برای گیاهانی که در فضاهای بسته مانند گلخانه ها رشد می کنند از اهمیت زیادی برخوردار است. بقایای سموم دفع آفات جیوه یا قارچ کش ها، در بعضی موارد توسط گیاهان گرفته می شود به عنوان مثال در گیاه *Oryza sativa* جیوه جذب شده به قسمت های خوراکی گیاه منتقل می شود. همچنین گزارش شده است که نمک های فنیل-جیوه باعث تسریع در پیری گیاه و مهار فتوسنتز می شوند.

جوانه زنی بذر ، رشد و نمو

به طور کلی ، درجه تأثیر بستگی گیوه در جوانه زنی و رشد و نمو گیاه به غلظت ، فرمول بندی ، نحوه کاربرد گیوه بستگی دارد. تاثیرات ناشی از گیوه های آلی در غلات با جوانه زدن غیرطبیعی شناخته شده است. این اثر یک هیپرتروفی مشخص ریشه ها و کلئوپتیل گیاهچه های غلات است ، که در مناطقی که از دوزهای بالاتر قارچ کش استفاده می شود دیده می شود (Crosier & Keitt ، ۱۹۳۴؛ Noll ، ۱۹۳۸؛ Purdy ، ۱۹۵۶؛ Weston & Boorer ، ۱۹۳۵). در این گیاهان پرموردیا ضخیم شده و دچار میخک و لوب نامنظم می شود و در مریستم آپیکال شاخک ، افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول های موجود اتفاق می افتد (Sass ، ۱۹۳۷).

اثر اولیه گیوه احتمالاً روی خود بذر است و تأثیرات آن بر روی اندوسپرم از اهمیت ثانویه برخوردار است. گیوه با ایجاد پل-S-Hg-S-به شدت با سیستم SH- در سلولهای زنده ایجاد تداخل می کند. چنین شکست طبیعی است. سیستم SH- ممکن است روی جوانه زنی و رشد بعدی آن تأثیر بگذارد.

در گیاه *Oryza sativa* ، افزایش طول نهال با غلظت 5×10^{-4} $HgCl_2$ و جوانه زنی در غلظت 6×10^{-3} M متوقف می شود. گیوه همچنین به طور قابل توجهی باعث مهار تحرکات کل نیتروژن و فسفات موجود در غلات در طول رشد گیاه می شود. (Varshney ، ۱۹۹۱).

Oryza sativa A1-Ahssa و *Medicago sativa* cv. Al-Ahssa در معرض $HgCl_2$ ، درصد جوانه زنی و رشد گیاهچه با افزایش غلظت گیوه کاهش می یابد ، و بیشترین تأثیر منفی آن بر رشد ریشه است (A1-Helal ، ۱۹۹۵).

در گونه گیاهی *Triticum aestivum* CV. Pak-81 ، گیوه جوانه زنی را مهار می کند و توسعه محتویات کلروفیل ، طول ساقه و ریشه ، وزن خشک شاخه و ریشه نهال و مقدار پروتئین محلول شاخه را کاهش می دهد (Iqbal & Majeed ، ۱۹۹۱). در گیاهان کاهش طول گره بین تاجگذاری ممکن است تحمل دمای انجماد خاک را بهبود بخشد ، و مهار پنجه زنی بیش از حد ممکن است منجر به تجزیه مجدد مواد جذب کننده در دانه شود (Anderson ، ۱۹۸۹). کلرید مرکوریک ، که به صورت قطره ای در ریشه *Zea mays* جذب می شود ، و از افزایش طول ریشه جلوگیری می کند و واکنش گراوی آنها را مهار می کند (Pilet & Versel ، ۱۹۸۱).

در مطالعه ای تلقیح بذرهای *V. mungo* ، *Vigna radiata* و *Arachis hypogaea* با سویه های *Rhizobium* و تیمار با *emisan* (یا *bavistin* کاربندازیم) در زمین های کشاورزی به طور قابل توجهی باعث کاهش جمعیت ریزوبیوم و گره زنی ریشه شد (Ghosh ، ۱۹۹۵). تیمار بذر دو رقم *Phaseolus aureus* [*Figna radiata*] با غلظت بالاتر استات گیوه مانع جوانه زنی و منجر به انتقال کل نیتروژن از لپه به نهال و فعالیت پروتئاز در بذر در هنگام جوانه زدن شد (Varshney ، ۱۹۹۰). با افزایش غلظت $HgCl_2$ ، میزان تنفس نهال کاهش یافت ، همچنین سطح نیتروژن کل ، قند کل ، DNA و RNA در جنین ها با تجمع همزمان در لپه کاهش یافت. همچنین مطالعات الکتروفورتیک ژل ، اختلال عمده و افزایش تعداد باندهای پروتئینی را نشان داد (ناگ و همکاران ، ۱۹۸۹).

غلظت زیاد $HgCl_2$ باعث کاهش جوانه زنی بذر در *Phaseolus vulgaris* و *Brassica campestris* می شود ، اما در غلظت های بسیار کم تا حدی سرعت را افزایش خواهد یافت (Gupta ، ۱۹۹۱). اثر یون های گیوه در گونه گیاهی *Phaseolus vulgaris* cv.T با به برر سی اثرات آن بر طول شاخه و ریشه ، ماده خشک ، محتوای کلروفیل (Chl) و شاخص پایداری (CSI) ، محتوای قندهای محلول (SS) و قابل هیدرولیز شدن (HS) و پروتئین های محلول (SP) مورد مطالعه قرار گرفت. تجزیه و تحلیل آماری داده ها نشان داد که گیوه تأثیر غالب بر پارامترهای رشد و محتوای Chl دارد (Gadallah ، ۱۹۹۴).

گیاه پالایی (PHYTOREMEDIATION):

تصفیه گیاهی شامل استفاده از گیاهان برای استخراج، سم زدایی و یا جدا سازی آلاینده های محیطی از آبی و خاکی است. بار سنگین فلزی که ریشه های درخت باید با آن کنار بیایند از خاک های طبیعی یا از منابع انتشار انسانی به اکوسیستم نشات می گیرد. سمیت فلزات سنگین همچنین موجب اختلال در تغذیه مواد معدنی توسط ریشه گیاهان می شود (Kahle, 1993). گیاهانی که می توانند فلزات سنگین را پردازش کنند، ممکن است رویکردهای کارآمد و سازگار با محیط زیست را برای جذب و حذف فراهم کنند. گیاهان مهندسی ژنتیک حاوی اشکال اصلاح شده ژن باکتریایی هستند که متیل جیوه را تجزیه می کنند و یونهای جیوه را کاهش می دهند. اولین ژنی که با موفقیت در گیاهان وارد شد، MerA بود که آنزیم یون ردوکتاز جیوه را کد می کند، جیوه یونی را به میزان کمتری کاهش می دهد. MerA یون جیوه به صورت Hg^{2+} سمی را به Hg کمتر سمی و نسبتاً بی اثر تبدیل می کند. توالی باکتری های raerA غنی از دینوکلوئوتیدهای CpG است و دارای یک کدون بسیار کج است. یک توالی MerA جهش یافته، MerApeg، ۹٪ منطقه کدگذاری را اصلاح می کند، و تحت کنترل عناصر تنظیم کننده گیاه قرار می گیرد. رشد و گلدهی این نهال ها در محیط های حاوی غلظت 5-20 ppm از $HgCl_2$ تحت تاثیر قرار می گیرد.

مشکلی که جدی تر از جیوه یونی است، متیل جیوه تولید شده توسط باکتری های بومی در مکان های آلوده است که در زنجیره غذایی وارد شده و خطر اساسی برای حیات وحش و جمعیت های انسانی ایجاد می کنند (Meagher & Rugh, 1997). به منظور کشف پتانسیل گیاهان برای استخراج و سم زدایی متیل جیوه، از *Arabidopsis thaliana* برای بیان ژن اصلاح شده باکتریایی، merBpe و رمزگذار MerB استفاده گردید. MerB یک کاتالیز پروتئولیز است که پیوند بین کربن و جیوه را در لیگاند آلی از بین می برد و موجب آزاد سازی جیوه (II)، که یک جیوه کم تحرک است، می شود. گیاهان تراریخته که بیان کننده merBpe هستند، در طیف وسیعی از غلظت جیوه های آلی، جایی که گیاهان فاقد ژن به شدت مهار می شوند یا از بین می روند، رشد می کنند.

این کار نشان می دهد که ماکروفیت های بومی، مانند درختان، بوته ها و علف هایی که برای بیان merBpe مهندسی شده اند، می توانند برای تخریب متیل جیوه در سایت های آلوده و آزادسازی جیوه (II) برای مفید باشند. گیاهان Transgenic *Arabidopsis* که ژن MerB باکتریایی را بیان می کنند در برابر متیل جیوه مقاوم هستند، در حالی که سایر گیاهان غیر تراریخته در مواجهه با متیل جیوه از بین می روند. دانه های تراریخته وقتی روی سطوح سمی ترکیبات آلی جیوه رشد می کنند، جوانه می زنند و گل می دهند.

توانایی کشت های صنوبر و گیاهچه های صنوبر زرد (*Liriodendron tulipifera*) برای بیان سازه های ژنی اصلاح شده ردوئتاز جیوه (MerA) مورد بررسی قرار گرفت. باکتری های مقاوم در برابر جیوه، MerA را برای تبدیل جیوه یونی بسیار سمی به جیوه (II) با سمیت کمتر بیان می کنند.

گیاهچه های دارای MerA 18 جیوه اولیه را تقریباً ده برابر سرعت گیاهچه های فاقد آن آزاد می کنند. این نتایج نشان می دهد که گیاهانی که MerA اصلاح شده را بیان می کنند ممکن است ابزاری برای گیاهان پالایی آلودگی جیوه فراهم کنند (Rugh et al., 1998).

گیاهان تراریخته یونهای جیوه را از مجتمع های متیل جیوه جدا می کنند، یونهای جیوه را به شکل فلزی کاهش می دهند، از طریق ریشه های خود جیوه فلزی می گیرند و به غلظتهای کاملاً کمتر از استانداردهای OSHA، می رسانند. بنابراین گیاه پالایی یک راه حل موثر، دائمی و زیباشناختی است، که می تواند مطابق با استانداردهای نظارتی باشد یا از آن فراتر سمیت جیوه را کاهش دهد.

کد MerB برای یک پروتئین لیازاز ارگانیکومور است که یونهای جیوه را از ترکیبات متیل جیوه بسیار سمی جدا می کند. مطالعات نشان می دهد که گیاهان دارای ژن MerB سم زدایی از متیل جیوه را در خاک و آب انجام می دهند. تاکنون هر دو ژن MerA و MerB در گیاهان *Arabidopsis thaliana*، *Brassica* (خردل)، *Nicotiana tabacum* (توتون) و *Liriodendron tulipifera* (صنوبر لاله)، گربه، برنج وحشی و اسپارتینا اعمال شده اند (Phytoworks، ۱۹۹۷). از دیگر روش های تصفیه گیاهان می توان به حذف جیوه توسط گیاهان انباشت کننده مانند *Typha sp* اشاره کرد (Krishnan و همکاران، ۱۹۸۸) این گونه های گیاهی برای تصفیه آب آلوده به کلرید جیوه یا PMA با مقدار ۱-۰/۰۰۱ میلی گرم در لیتر استفاده شدند (لنکا و همکاران، ۱۹۹۰). جیوه (II) نیز توسط *Ixora coccinea* از بسترهای آبی حذف شد. جذب قابل توجه یون فلز در ۲۰۰۰ ppm در pH برابر با ۴/۵-۶ برای (II) Hg اتفاق افتاد (Tikku و همکاران، ۱۹۹۰). با ترکیب روشهای استاندارد گیاه پالایی و حذف جیوه از مناطق آلوده از طریق گیاهان پاک کننده - با پرورش چنین گیاهانی چه با جهش زایی معمول و چه با مهندسی ژنتیک می توان مسئله آلودگی جیوه را به میزان قابل توجهی کاهش داد. گیاهان تراریخته های مختلف استفاده از بیان دو ژن MerA و MerB چشم اندازهای بسیار امیدوارکننده ای در حیطة گیاه پالایی جیوه هستند.

جیوه در اکوسیستم آب های تازه

جیوه به طور طبیعی در محیط و چرخه های جو، آب و رسوبات وجود دارد. فعالیت های انسانی مانند نیروگاه های سوخت زغال سنگ و سوزاندن زباله باعث افزایش میزان جیوه در محیط می شود. از زمان انقلاب صنعتی، میزان انتشار جیوه انسانی افزایش یافته و در نتیجه منجر به افزایش سطح جیوه در اکوسیستم های زمینی و آبی شده است. جیوه ای که در اتمسفر آزاد می شود، می تواند در فواصل طولانی منتقل شده، در اکوسیستم های آب رسوب کند و به متیل جیوه تبدیل شود. متیل جیوه، سمی ترین شکل جیوه، در موجودات زنده تجمع یافته و از طریق زنجیره غذایی و مصرف ماهی به سایر حیوانات و انسان ها منتقل می شود.

جیوه در محیط آبی به طور عمده به عنوان مجتمع های جیوه II و به عنوان ارگانیکال (Hart 1982) وجود دارد. از اهمیت ویژه ای برای محیط آبی این واقعیت است که اشکال غیر آلی جیوه (سمیت نسبتاً کم و در دسترس بودن بیوکسانتره) ممکن است توسط باکتریهای موجود در مجتمع به غیر جیوه (به ویژه متیل جیوه) تبدیل شود، که سمی ترند و به تجمع زیستی می پردازند. متیل جیوه می تواند ناشی از جبران خسارات جدید، تخلیه های ضد رطوبت و رسوبات جوی باشد (Wiener & Spry 1996). در نتیجه فاکتورهای غلظت بیولوژیکی برای متیل جیوه بسیار زیاد است، از ۱۰ تا ۱۰ متغیر است. کسری از کل جیوه که در جانداران آبی استیل متیل وجود دارد به تدریج از ماهی های طبقه اول زنجیره غذایی افزایش می یابد، که می تواند تا ۹۹٪ متیل جیوه را در خود داشته باشد (Wiener & Spry 1996) بالاترین غلظت جیوه گزارش شده از پستانداران آبی و دریایی مانند سمور، مهر و وال، به ویژه در کبد این حیوانات است، اگرچه نسبت متیل جیوه به طور کلی بسیار کم است.

خلاصه عوامل موثر در سمیت جیوه:

- جیوه در محیط به صورت جیوه II و ترکیبات ارگانیک وجود دارد. اشکال آلی جیوه دارای سمیت بیشتری هستند. جیوه غیر آلی می تواند توسط باکتری های موجود به مواد معدنی تبدیل شود.

- سمیت جیوه به سختی آب وابسته است اما در حال حاضر هیچ الگوریتم در خصوص نحوه ارتباط سختی با جیوه در دسترس نیست. میزان جذب جیوه توسط میکروارگانسیم ها با کاهش سختی و pH آب افزایش می یابد.
- جیوه به شدت توسط ذرات جذب می شود و اغلب با رسوبات همراه است.
- جیوه قدرت بالایی برای برقراری پیوند با لیگاندهای حاوی کلر و گوگرد ، به ویژه سولفات دارد.
- HGCl در آب دریا به سرعت در غشاهای بیولوژیکی نفوذ می کند. سمیت جیوه غیر آلی در محیط های دریایی معمولاً با کاهش شوری افزایش می یابد.

غلظت فوق العاده کمیاب گونه های جیوه در آبهای طبیعی مانع عمده ای در تعیین گونه های جیوه است. فقط چند روش تحلیلی با حساسیت کافی برای اندازه گیری گونه های غیر معدنی جیوه و متیل جیوه وجود دارد. این روش ها شامل کروماتوگرافی با طیف سنجی فلورسانس اتمی یا طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد است [Clevenger و همکاران (۱۹۹۷)]. مدل پیش بینی ژئوشیمیایی ممکن است برای پیش بینی غلظت های مختلف گونه های غیر معدنی جیوه در محلول مورد استفاده قرار گیرد (Florence & Batley 1980). روش سنجش به طور معمول برای تعیین فعل و انفعالات فلز و ارگانسیم ها استفاده می شود.. حد کمی تجزیه و تحلیل (PQL) برای جیوه ۰/۰۲ میکروگرم / لیتر در آب های شیرین و دریایی است (NSW EPA2000).

جذب روی مواد معلق یا رسوبات مهمترین فرایند کنترل غلظت جیوه در آبهای طبیعی است (CCREM 1987). غلظت جیوه محلول در آبهای شیرین به ندرت از ۱۲ نانوگرم در لیتر فراتر می رود (Gill & Bruland 1990). و در آبهای رودخانه ای معمولاً از ۱ تا ۱۸ نانوگرم در لیتر است (Nelson 1981). (Cossa & Noel 1987). غلظت جیوه در آب دریا از ۰/۰۸ تا ۲ ng/L متغیر است (Gill & Fitzgerald 1988). (Cossa et al. 1992).

جیوه II میل شدید به لیگاندهای حاوی کلر و گوگرد ، به ویژه سولفید را نشان می دهد. با این حال ، در آبهای حاوی مواد آلی طبیعی (DOM) به ویژه در آب های شیرین ، بیشتر جیوه در کمپلکس های آلی محدود است (Fergusson 1990). نسبت جیوه محلول موجود به شکل متیل جیوه از اهمیت حیاتی برخوردار است ، زیرا این بیشترین ، در دسترس ترین و سمی ترین نوع جیوه است (Fitzgerald & Clarkson 1991). در بیشتر موارد ، غلظت متیل جیوه ۱ تا ۲۰٪ از کل جیوه را تشکیل می دهد. علت جذب و سمیت جیوه در موجودات آبی اغلب به محلول بودن جیوه آلی در چربی نسبت داده می شود. به طور کلی تجمع جیوه غیر آلی از اهمیت ثانویه برخوردار است. جذب متیل جیوه توسط تغذیه ژئوپلانکتون از دیاتوم دریایی (*Thalassiosira weissflogii*) چهار برابر کارآمدتر از جیوه غیر آلی است (میسون و همکاران ۱۹۹۶). غلظت های بالاتر متیل جیوه در موجودات طبقات بالاتر زنجیره غذایی ، منعکس کننده بازده بالاتر انتقال تروفیک متیل جیوه در مقایسه با جیوه غیر آلی است.

میزان جذب جیوه در دریاچه های آب شیرین با کاهش سختی و pH آب افزایش می یابد (جنسن ۱۹۸۸). در آبهای معتدل ، تجمع زیستی جیوه در تابستان ، زمانی که متیلاسیون میکروبی و میزان متابولیسم ماهی در حداکثر میزان خود است ، بیشترین تجمع زیستی را دارد. افزایش غلظت سلینیوم در آب همچنین تجمع زیستی متیل جیوه در ماهی را کاهش می دهد (Paulsson & Lundbergh 1991). همچنین جیوه در دماهای بالاتر سمیت بیشتری دارد (CCREM 1987).

غلظت بالای فسفات سمیت جیوه را برای *Selena strumcapricornutum* جلبک آب (Chen 1994) و منابع کربن آلی ، به ویژه گلوکز، گلوتامات و ۲-اکسولوتارات، سمیت جیوه را برای جلبک آب شیرین کلرلا شیرین کاهش می دهد (Mohanty و همکاران ۱۹۹۳). اثرات این ترکیبات در جمعیت فیتوپلانکتون های طبیعی هنوز ناشناخته است.

در آب دریا ، گونه های غیر آلی جیوه (II) محلول شامل $HgCl_2$ و $HgCl$ ، که به دلیل حلالیت در چربی ، ۱۰ برابر سریعتر از یون فلز آزاد می شوند، به غشای سلولی نفوذ می کنند. معادن جیوه غیر معدنی (به عنوان مثال $HgCl_2$) برای جلبک دریایی جدا شده محلی ، *Nitzschia closterium* سمی است. (Florence & Stauber 1991).

همچنین نشان داده شده است که شوری بر سمیت جیوه تأثیر می گذارد. داده های سمیت برای چندین گونه از کرم های آنلید و سخت پوستان نشان دهنده افزایش سمیت جیوه غیر آلی با کاهش شوری است. با این حال ، یک مطالعه بر روی ماهی و خرچنگ گلی نشان داده است که بالاترین میزان بقا در شوری های متوسط وجود دارد (Hall & Anderson 1995). غلظت جیوه بین ۶ تا ۲۰ میلی گرم در کیلوگرم بافت عضلانی ماهیان آب شیرین ایجاد مسمومیت می نماید (Wiener & Spry 1996). و در غلظت بین ۵ تا ۱۰ میلی گرم در کیلوگرم کشته خواهد بود. جنین ماهی بیشتر از مادر در خطر قرار گرفتن در جیوه قرار دارد (Jarvinen و Ankley 1999).

سم شناسی آبزیان

سمیت حاد جیوه (II) در آب های تازه از ۲/۲ میکروگرم در لیتر برای گونه های بی مهرگان (*Daphnia pulex*) (Canton & Adema ۱۹۷۸) تا ۲۰۰۰ میکروگرم در لیتر برای mayfly است (Warnick & Bell 1969) مقادیر حاد سمیت برای ماهی از ۳۰ میکروگرم در لیتر برای ماهی گوپی و تا ۱۰۰۰ میکروگرم در لیتر برای تیلاپیا بود. (Deshmukh & Marathe 1980. Quereshi & Saksena 1980). جیوه غیر آلی به ویژه برای ریز جلبک های دریایی با مقادیر EC_{50} ۰/۱ تا ۱۰ میکروگرم در لیتر سمی است. EC_{50} ۷۲ ساعته جیوه غیر آلی (به عنوان $HgCl_2$) برای جلبک دریایی محلی (*Nitzschia closterium*) ، ۹ میکروگرم در لیتر سمی است (Florence & Stauber 1991).

اطلاعات کمی در مورد سمیت حاد ترکیبات آلی جیوه در دسترس است ، اما به نظر می رسد همه ی آنها ۴ تا ۳۱ برابر سمی تر از جیوه غیر آلی (II) باشند (USEPA 1986). متیل جیوه ، با سمیت کمتر از ۰/۰۴ میکروگرم / لیتر برای دافنیا مگنا و ۰/۵۲ میکروگرم در لیتر برای ماهی قزل آلا بروک دارای بالاترین سمیت مزمن از ترکیبات جیوه آزمایش شده باشد (مک کیم و همکاران ۱۹۷۶ ، بیزینگر و همکاران ۱۹۸۲). به طور کلی حساس ترین گونه های گیاهی حساسیت کمتری نسبت به گونه های حیوانی نسبت به جیوه (II) و متیل جیوه دارند (CCREM 1987). جلبک آب شیرین *dimorphus Scenedesmus* در غلظت ۱۰ میکروگرم در لیتر جیوه آلی (به عنوان مثال متیل جیوه) و در شرایط مشابه با ۵۰ میکروگرم در لیتر جیوه غیر آلی (به عنوان مثال $HgCl_2$) از بین می رود. در جمعیت های فیتوپلانکتون ها ، غلظت متیل جیوه تا ۰/۱ میکروگرم در لیتر تا ۳۰ درصد از تولید اولیه آن جلوگیری می کند. در گرو جانوران، ماهی ها مقاومت بیشتری نسبت به نرم تنان و سخت پوستان دارند. غلظت جیوه II از ۱۰ تا ۱۶۰ میکروگرم در لیتر رشد و فعالیت فتوسنتزی گیاهان آب شور را مهار می کند. استات جیوه با غلظت ۱ میکروگرم در لیتر برای دینوفلاژلات های دریایی سمی بود و باعث ترکیدن سلولهای متحرک ، که اسپورهای رویشی را تشکیل میدهند ، می شود. کمپرس آلفیفود دریایی استرالیایی (*Allorchestes*) با LC_{50} ۹۶ ساعته، ۸۰ میکروگرم/لیتر نسبت به جیوه حساس گزارش شده است. به طور کلی ، نرم تنان آب شیرین و دریایی نسبت به جیوه غیر آلی حساسیت کمتری دارند و مقادیر حاد LC_{50} از ۳ تا ۱۰۰۰۰ میکروگرم در لیتر است. (Florence & Stauber 1991).

جیوه به اندازه سایر فلزات مانند Cu، Pb، Cd یا Zn برای ماهی ها سمی نیست. غلظت جیوه در اکثر آب های سطحی بسیار کم است و باعث ایجاد اثرات سمی مستقیم در ماهیان بالغ و یا سایر مراحل اولیه و حساس زندگی آبزیان می شود. خطر اصلی متیل جیوه ناشی از تجمع آن در اندام های داخلی جانوران است و اثرات آن را با اختلال در سیستم عصبی مرکزی اعمال می شود. فاکتورهای غلظت بیولوژیکی ۵۰۰۰ برای جیوه گزارش شده و بین ۴۰۰۰ تا ۸۵۰۰۰ بوده است (USEPA 1986). همچنین این فاکتور برای کلرید جیوه و متیل جیوه در صدف ۱۰،۰۰۰ تا ۴۰،۰۰۰ یافت شد (USEPA 1986). جیوه در ماهی ها میزان موفقیت در تولید مثل را از مراحل جنینی و لارو کاهش می دهد. غلظت ۰/۰۷ تا ۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم جیوه در تخم ها می تواند برای جنین ماهی قزل آلابی رنگین کمان و غلظت ۱۰ تا ۳۰ میلی گرم/کیلوگرم برای ماهی بالغ کشنده باشد (Wiener & Spry 199).

راهنمای استانداردهای جیوه در آب های تازه :

داده های موجود درخصوص جیوه در آبهای تازه به شرح زیر به ۴ گروه طبقه بندی شده است (محدوده pH ۷ تا ۸/۷):

- ماهی: هفت گونه ، LC / EC₅₀ ۷ تا ۹۱ روزه ، ۰/۷ به ۶۳۵۵ میکروگرم در لیتر (Carassius auratus) ، NOEC^۲ (غلظتی که در آن اثری مشاهده نشد) ۰/۱۴ تا ۱۲۷۱ میکروگرم / لیتر.
- سخت پوستان: گونه (Hyaella azteca)، ۴۲ تا ۷۰ روز NOEC ، ۱/۱۲ میکروگرم در لیتر.
- نرم تنان: LC₅₀ ۷ روزه ، ۶۰ تا ۹۵ میکروگرم در لیتر و NOEC ۱۲ تا ۱۹ میکروگرم در لیتر.
- جلبک: سه گونه ، NOEC ۱۴ روزه ، ۳۳ تا ۸۵ میکروگرم در لیتر. جلبک های سبز و آبی: NOEC ، ۲۵۳ میکروگرم در لیتر. ماکروفیت: یک گونه ، Myriophyllum spicatum ، EC₅₀ ۳۲ روزه ، ۱۲۰۰ تا ۳۲۰۰ و NOEC از ۲۴۰ به ۶۴۰ میکروگرم در لیتر.

^۲No Observed Effect Concentration

فصل چهارم :

جیوه در محیط های دریایی

راهنمای استانداردهای جیوه در دریا

داده های موجود در خصوص جیوه در محیط های دریایی به شرح زیر به ۶ گروه طبقه بندی شده است (محدوده pH ۷ تا ۸/۵، ۱۹، نقطه از ۴۵ نقطه داده):

- **ماهی:** یک گونه، (*Fundulus heteroclitus*)، EC₅₀ ۵ تا ۳۲ روزه، ۳۷ تا ۴۹ میکروگرم در لیتر، و برای مرگ و میر ۸۰۰ میکروگرم در لیتر، به طور کلی به NOEC معادل ۷/۴ تا ۱۶۰ میکروگرم در لیتر تبدیل می شود.
- **سخت پوستان:** سه گونه (*Mysidiopsis bahia*)، LC₅₀ ۷ تا ۳۵ روزه، ۱/۸ تا ۵۰ میکروگرم در لیتر؛ LOEC^۲ (کمترین اثر مشاهده شده) ۷ تا ۱۱ روزه برابر با ۱۰ میکروگرم در لیتر و NOEC ۰/۸ تا ۱۰ میکروگرم در لیتر.
- **اکینودرم:** یک گونه، *Asterias forbesi*، LC₅₀ ۷ روزه، ۲۰ میکروگرم در لیتر، معادل NOEC برابر ۴ میکروگرم در لیتر.
- **نرم تنان:** هفت گونه (*Mya arenaria*)، LC₅₀ ۵ تا ۱۲ روزه، ۴ تا ۵۰۷۱ میکروگرم در لیتر؛ LOEC ۵ روزه، *Mytilusedulis*، ۰/۳ میکروگرم در لیتر، به طور کلی معادل NOEC های ۰/۱۲ تا ۱۰۱۴ میکروگرم / لیتر.
- **آنلیئدها:** دو گونه، LC₅₀ ۷ تا ۲۸ روزه، ۱۷ تا ۹۰ میکروگرم در لیتر، معادل NOEC از ۳/۴ تا ۱۸ میکروگرم در لیتر.
- **جلبک:** هفت گونه، NOEC ۰/۹ تا ۸۸ میکروگرم در لیتر.

² Lowest Observed Effect Concentration

فصل پنجم :
نمونه برداری
و
متدهای آنالیز جیوه

نمونه برداری جیوه

نمونه های محیطی

با اندازه گیری تجمع زیستی جیوه در ماهی می توان به راحتی آلودگی آب ناشی از متیل جیوه را اندازه گیری کرد. علاوه بر این ، نظارت بر جیوه موجود در ماهی و صدف خوراکی که توسط مردم یک منطقه خاص مصرف می شود ، وسیله مناسبی برای ارزیابی سطح قرار گرفتن انسان در معرض جیوه است، زیرا مواجهه انساب با متیل جیوه بیشتر از طریق مصرف ماهی و صدف است. علاوه بر این ، از آنجا که بیشتر جیوه موجود در ماهی به شکل متیل جیوه است ، می توان از اندازه گیری جیوه کل در ماهی برای ارزیابی میزان مصرف متیل جیوه توسط انسان استفاده کرد.

هنگام جمع آوری نمونه های ماهی ، تاریخ نمونه برداری ، مکان ، گونه و سن را ثبت کنید. وزن و طول ماهی و موارد مشابه را نیز اندازه بگیرید. برای ماهی ها ، ۱۰-۲۰ گرم از قسمت خوراکی را جمع کرده ، در کیسه های پلی اتیلن قرار داده و در یخچال نگهداری کنید. برای صدف ماهیچه ، عضله ، محتویات دستگاه گوارش و عضله و (برای حلزون ها که فاقد عضله هستند ، قسمت خوراکی آن را جمع آوری کنید و در کیسه های پلی اتیلن قرار داده و در فریزر نگه دارید. از آنجا که ذرات رسوبات دریا اغلب در دستگاه های هضم صدف وجود دارد ، این ذرات را قبل از ذخیره خارج کنید.

طبق قانون بهداشت غذایی ژاپن ، استاندارد نظارتی موقت برای جیوه در ماهی و صدف ۰/۴ میلی گرم بر کیلوگرم (وزن مرطوب) است. سطح پس زمینه جیوه کل در ماهی و صدف ماهی ۰/۱-۰/۱ میلی گرم بر کیلوگرم (وزن مرطوب) در نظر گرفته می شود.

روش نمونه برداری جیوه در گیاهان

گیاهان به طور معمول بزرگ نمایی زیستی فلزات سنگین را در خود نشان می دهند و بنابراین برای ارزیابی آلودگی مناسب نیستند. با این حال ، گلسنگ ها خواص مختلفی دارند که آنها را به عنوان شاخص بیولوژیکی آلاینده های هوا مناسب می کند. مانند سایر گیاهان بی ریشه ، آنها مواد مغذی را مستقیماً از هوا جذب می کنند ، فلزات را به طور کارآمد جذب می کنند و در برابر غلظت بالای فلزات در بافت های خود مقاومت نشان می دهند.

گلسنگ ها از نظر جغرافیایی به طور گسترده توزیع می شوند و آنها را برای ارزیابی آلودگی هوا مناسب می کند. در حقیقت ، از گلسنگ از جمله گونه های *Parmelia* و *Usunera* اغلب در تحقیقات برای ارزیابی آلودگی هوا ناشی از جیوه و سایر آلاینده های فلزات سنگین استفاده شده است . گلسنگ ها را که معمولاً روی درختان یا شاخه ها می رویند ، جمع می کنند ، به خوبی با آب شستشو می دهند ، از تکه های چوب و گرد و غبار پاک می کنند و در هوا خشک می کنند تا نمونه را تهیه کنند. برای تجزیه و تحلیل جیوه ، چند گرم از نمونه را در یک ویال قرار داده و با قیچی تشریح آن را به قطعات تقسیم می کنند.

روش نمونه برداری جیوه در آب

وقتی منبع آلودگی مستقیماً به رودخانه ، دریاچه ، تالاب یا اقیانوس را دارد یا انتظار می رود آلودگی از رودخانه ای به دریاچه ، باتلاق یا اقیانوس گسترش یابد ، از مناطق مختلف نمونه های آب بگیرید. برای جمع آوری نمونه های آب ، از یک Bandon water sampler در عمق ۲۰-۳۰ سانتی متر زیر سطح ، استفاده کنید. نمونه های آب دریا را در جزر و مد بالا جمع آوری کنید و از نمونه برداری در روزهای بادی یا بارانی اجتناب کنید. برای دریاچه ها ، باتلاق ها و مناطق اقیانوس ها ، تاریخ جمع آوری ، مکان ، کیفیت عمومی آب ، موقعیت نسبت به منبع آلودگی و سایر اطلاعات را به روشنی یادداشت کنید.

نمونه های آب را قبل از حمل و نقل در ظرف شیشه ای مهر و موم شده یا تفلون که با اسید کلریدریک یا عوامل دیگر خوب شسته شده است ، نگه دارید. مطابق اعلامیه شماره ۶۴ آژانس حفاظت از محیط زیست (سپتامبر ۱۹۷۴) بر اساس قانون کنترل آلودگی آب در مورد جیوه کل ، استاندارد پساب ژاپن و استاندارد کیفیت محیط زیست به ترتیب ۰/۰۰۵ میلی گرم در لیتر و ۰/۰۰۰۵ میلی گرم در لیتر هستند. ژاپن برای آلکیل جیوه ، هر دو استاندارد پساب و استاندارد کیفیت محیط زیست بیان می کنند که وقتی با روش های رسمی ارائه شده در قانون کنترل آلودگی آب تجزیه و تحلیل می شود ، در حد تشخیص ۰/۰۰۰۵ میلی گرم در لیتر قابل تشخیص نیست. هنگامی که یک حادثه آلودگی باعث آزاد شدن ناگهانی فاضلاب حاوی مقادیر بالای جیوه شود ، سطح کل جیوه و آلکیل جیوه باید طبق این استانداردهای رسمی ارزیابی شود. سطح پس زمینه جیوه کل به طور کلی ۰/۵-۳ ng/L (ppt) برای آب اقیانوس ، ۲-۱۵ ng/L (ppt) برای آب ساحل و ۱-۳ ng/L (ppt) برای رودخانه ها و دریاچه ها است.

روش نمونه برداری جیوه در رسوبات و خاک

هنگام جمع آوری نمونه های خاک ، بسته به موقعیت منبع آلودگی جیوه و میزان خاک مشکوک به آلودگی ، فراوانی جمع آوری نمونه را تغییر دهید. در حالی که روش های مختلفی برای جمع آوری نمونه های خاک از سایت پیشنهاد شده است ، قانون مقابله با آلودگی خاک در کشور ژاپن (وزارت محیط زیست ، ۲۰۰۳) که در سال ۲۰۰۳ اجرا شد ، شرح مفصلی از روش های جمع آوری نمونه های خاک را ارائه می دهد. این روش ها به عنوان پایه ای برای روش های نمونه گیری ارائه شده است. به طور خلاصه ، در اکثر شرایط آلودگی ، از هر ۱۰۰ متر مربع یک نمونه جمع آوری کنید (بر اساس شبکه بندی ۱۰ متر در ۱۰ متر). در سایت هایی که سابقه آلودگی نشان می دهد خطر آلودگی زیاد نیست ، یک نمونه را با مخلوط کردن نمونه های به دست آمده در پنج نقطه در هر ۹۰۰ متر مربع (بر اساس شبکه ۳۰ متر × ۳۰ متر) بدست آورید. با استفاده از این روش اختلاط پنج نقطه ای ، نمونه های منفرد را از پنج نقطه : نقطه مرکزی هر شبکه و چهار نقطه فرعی در اطراف آن جمع کنید. این پنج نمونه را با هم ترکیب کنید تا یک نمونه کامپوزیت نهایی بدست آورید. اگرچه مکان های چهار نقطه فرعی به طور دقیق مشخص نشده است ، اما جمع آوری چهار نمونه در نقاط شمال ، جنوب ، شرق و غرب نقطه مرکزی مطلوب است.

در هر نقطه نمونه برداری ، نمونه های خاک را بین سطح خاک و ۵۰ سانتی متر زیر خاک جمع کنید. به طور خاص ، نمونه های منفرد را از دو منطقه جداگانه ، یکی بین سطح خاک و یک نقطه ۵ سانتی متر زیر سطح ، و دیگری در منطقه از ۵ سانتی متر تا ۵۰ سانتی متر زیر سطح خاک ، جمع آوری کنید. پس از جمع آوری نمونه های خاک ، اکثر اجسام خارجی (سنگریزه ، ریشه و ...) را از هر نمونه خارج کرده و با مخلوط کردن نمونه ها هر نمونه را یکدست کنید. پس از همگن سازی ، از هر نمونه وزن مساوی را مخلوط کنید تا یک نمونه کامپوزیت نهایی بدست آورید. به همین ترتیب ، برای روش اختلاط پنج نقطه ای ، وزن مساوی از هر یک از پنج نمونه را باهم مخلوط کنید (همانند روشی که در بالا ذکر شد).

برای رسوب رودخانه ها ، نقاط نمونه برداری که امکان جمع آوری آسان رسوبات کف را فراهم می کنند ، در فواصل ۵۰-۲۰۰ متر پایین دست از محل تخلیه فاضلاب صنعتی یا زهکشی های شهر انتخاب می شوند. علاوه بر این ، مطلوب است که حدود دو نقطه بالادست برای جمع آوری رسوبات به عنوان کنترل انتخاب شود. نقاط جمع آوری نمونه های رسوبی معمولاً به صورت نمونه برداری از ساحل رودخانه و نمونه برداری از مرکز رودخانه انجام می شود. در جاهایی که رودخانه عریض است ، تعداد نقاط نمونه برداری را افزایش دهید.

برای نمونه برداری از رسوبات دریاچه ها ، باتلاق ها و مناطق اقیانوس ، نقاط نمونه برداری را به صورت شعاعی در نقطه آزاد یا دهانه رودخانه قرار دهید و در صورت لزوم یک نمونه برداری شبکه ای انجام دهید.

در مورد روش های نمونه گیری ، از نمونه گیر لایروبی Ekman برای جمع آوری رسوبات لایه سطحی رودخانه ها ، دریاچه ها ، باتلاق ها و سواحل دریا استفاده می شود ، در نمونه برداری رسوبات از نمونه های ستونی استفاده می شود که امکان تخمین حالت رسوبی و تاریخچه آلودگی و تجمع جیوه در آن وجود دارد.

رسوبات جمع شده را از تکه های چوب ، سنگریزه ، پوسته و گرد و غبار تمیز کرده و آن را از الک مشبک ۲ میلی متری عبور دهید. اگر نمونه دارای محتوای آب است ، آن را سانتریفیوژ کنید تا مایع رویی خارج شده و خوب مخلوط شود تا قبل از ارسال نمونه ، یکدست شود. تاریخ ، مکان و شرایط عمومی (شکل ظاهری ، رنگ ، بو ، ناخالصی ها و غیره) را ثبت کنید.

اگرچه ظروف شیشه ای برای نگهداری نمونه های بهتر است ، از ظروف مهر و موم شده دیگری نیز ممکن است استفاده شود. ظروف را از قبل با اسید کلریدریک یا عامل دیگر به خوبی بشویید. نمونه ها را در یک مکان تاریک و خنک نگهداری کنید. نمونه های حاوی جیوه فلزی یا جیوه دو ظرفیتی باید در فریزر نگهداری شوند.

به طور کلی ، غلظت جیوه در خاک کمتر از ۰/۲ میلی گرم/کیلوگرم وزن خشک است. اگر غلظت جیوه در خاک از چند میلی گرم در کیلوگرم بیشتر بود، خطر مهاجرت جیوه از خاک به سایر بخشهای محیطی وجود خواهد داشت. لذا در چنین مواردی ، آلودگی جیوه در منابع آبی مجاور نیز بررسی کنید.

روش نمونه برداری جیوه در اتمسفر

نمونه هوا هنگامی جمع می شود که آلودگی جیوه در جو یا محیط های داخلی وجود داشته باشد. از آنجا که غلظت جیوه در جو بسیار متغیر است ، باید نقاط نمونه برداری با توجه به بادهای غالب و فاصله از منبع آلودگی انتخاب شود. برای به دست آوردن نمونه های هوا از محیط عمومی داخلی و محیط داخلی اتاق های کار و غیره ، اتاق را به شبکه ای به مساحت ۳ متر مربع تقسیم کنید و نمونه ها را در تقاطع شبکه ها برداشت کنید. با توجه مواجهه احتمالی انسان با جیوه ، نقاط نمونه برداری را در ارتفاع ۱ تا ۲ متر از سطح زمین (محدوده تنفسی) تنظیم کنید. برای جمع آوری جیوه در اتمسفر یا هوای داخلی ، محلول جاذب متشکل از ۲۰ میلی لیتر ۰/۱٪ پرمنگنات پتاسیم و اسید سولفوریک ۱ نرمال را در یک ایمپنجر یا حباب گیر (bubbler) قرار دهید. برای نمونه برداری از هوا ، با استفاده از پمپ مکش هوا را از محل نمونه برداری با دبی ۱ لیتر در دقیقه به داخل محلول جذب می کنیم.

از آنجا که پرمنگنات پتاسیم موجود در بازار اغلب حاوی جیوه است ، آن را در اسید سولفوریک ۱ نرمال حل کرده و بجوشانید تا رسوب MnO_2 تولید کند. آن را خنک و فیلتر کنید تا به عنوان محلول جذب کننده استفاده شود. این روش می تواند تمام

محتوای جیوه را از بین ببرد و جذب محلول آزمایش شاهد را تقریباً صفر کند. محلول جاذب بدست آمده از این طریق می تواند بخار جیوه را به طور کارآمد جمع کند و یک حباب ساز حاوی محلول جذب کننده معمولاً کافی است.

اگر محلول جذب شده پس از کشیدن نمونه های هوا تبخیر و کاهش حجم یافت ، محلول جذب را به حجم ثابت اضافه کنید تا نمونه آزمایشی تهیه کنید. جدا از این نمونه ، دو حجم یکسان از محلول جذب را که هوادهی نشده است ، بگیرید. یک جلد را به عنوان یک محلول آزمون شاهد کنار بگذارید. به دیگری ، یک حجم ثابت از محلول استاندارد جیوه غیر آلی II اضافه کنید تا یک محلول تست استاندارد ایجاد کنید.

هنگام اندازه گیری ، ۱۰٪ هیدروکسیل آمین هیدروکلراید را به صورت قطره ای اضافه کنید تا پرمنگنات پتاسیم از رنگ خارج شود. غلظت جیوه را در محلول آزمایش نمونه با طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد (cold vapor atomic absorption spectrometry) تعیین کنید. این روش می تواند به طور گسترده ای برای اندازه گیری غلظت جیوه در اتمسفر ، هوای محیط کار و گاز تخلیه شده از منبع انتشار یا موارد مشابه استفاده شود.

برای جیوه در جو ، مقادیر استاندارد در ژاپن نه برای محیط زیست و نه برای منبع تولید ایجاد نشده است. با این حال ، انجمن بهداشت صنعتی ژاپن غلظت ۰/۰۲۵ میلی گرم در متر مکعب را به عنوان غلظت مجاز بخار جیوه در محیط کار توصیه می کند.

نمونه های انسانی

جیوه در نمونه های بیولوژیکی معمولاً در مو ، خون ، ادرار یا بند ناف به منظور ارزیابی میزان مواجهه انسان با جیوه اندازه گیری می شود.

روش نمونه برداری جیوه در مو

غلظت جیوه در مو اغلب به عنوان یک نشانگر زیستی برای ارزیابی میزان مواجهه با متیل جیوه استفاده می شود زیرا غلظت در خون را در زمان تشکیل مو نشان می دهد. در عین حال ، نمونه برداری از نمونه مو، یک روش نمونه گیری ساده و غیرتهاجمی و همچنین یک روش ذخیره سازی است که نمونه خوبی را ارائه می کند. غلظت جیوه در مو به طور کلی در ۲۵۰-۳۰۰ برابر غلظت خون تشخیص داده می شود. از آنجا که مو با سرعت تقریبی ۱ سانتی متر در ماه رشد می کند ، ارزیابی میزان مواجهه در گذشته را امکان پذیر می سازد. با این حال ، غلظت جیوه در مو می تواند در نتیجه چسبندگی بخار جیوه خارجی و جیوه غیر آلی افزایش یابد .

در موارد عدم مواجهه با جیوه غیر آلی خارجی یا بخار جیوه ، تقریباً تمام جیوه موجود در مو به شکل متیل جیوه است. بنابراین ، میزان اندازه گیری متیل جیوه از رژیم غذایی را می توان با اندازه گیری جیوه کل ارزیابی کرد. با این حال ، از آنجا که افرادی که در معادن استخراج طلا و تصفیه طلا شاغل هستند ، خطر آلودگی ناشی از جیوه فلزی و بخار جیوه را دارند ، ارزیابی میزان مواجهه ی واقعی متیل جیوه فقط با اندازه گیری متیل جیوه و همچنین جیوه کل در مو امکان پذیر است. نمونه های مو باید از ناحیه اکسیپیتال سر تهیه شود و باید شامل حداقل ۲۰ رشته مو به طول ۱ سانتی متر (در کل حدود ۱۰ میلی گرم) باشد که با قیچی از ریشه مو بریده شده باشد. انتهای ریشه تارهای موی نمونه را با یک نخ پنبه ای یا چسباندن به نوار چسب یا موارد مشابه آن ببندید تا انتهای ریشه مشخص شود. نمونه را در کیسه پلی اتیلن قرار داده و در دمای اتاق نگهداری کنید. در میان جمعیت عمومی در ژاپن ، غلظت جیوه در مو در محدوده ۵-۱ ppm است و به ندرت از ۱۰ ppm فراتر می رود.

روش نمونه برداری جیوه در خون

برای افرادی که مقادیر زیادی ماهی و صدف می‌خورند، نسبت غلظت جیوه گلبول‌های قرمز خون به پلاسما (سرم) تقریباً ۱۰ به ۱ و بیشتر جیوه موجود در گلبول‌های قرمز به شکل متیل جیوه است. بنابراین، قرار گرفتن در معرض متیل جیوه را می‌توان با اندازه‌گیری جیوه کل در خون ارزیابی کرد. اعتقاد بر این است که ۵۰٪ از جیوه غیر آلی در پلاسما وجود دارد و غلظت جیوه در پلاسما نسبت به میزان جیوه غیر آلی جمع شده در کلیه‌ها افزایش می‌یابد. بنابراین، قرار گرفتن در معرض بخار جیوه غیر آلی / بخار جیوه را می‌توان با اندازه‌گیری کل جیوه در پلاسما ارزیابی کرد.

یک نمونه خون در محدوده چند میلی لیتر به طور معمول از ورید به داخل یک لوله تزریقی که قبلاً حاوی ماده ضد انعقاد (هپارین) است، جمع شده و به یک ظرف در بسته منتقل می‌شود. سپس نمونه در ۳۰۰۰ دور در دقیقه به مدت ۱۰ دقیقه سانتریفیوژ می‌شود تا گلبول‌های قرمز خون از پلاسما جدا شود. نمونه‌هایی که برای مدت طولانی ذخیره می‌شوند باید منجمد شوند. غلظت جیوه در خون جمعیت عمومی در ژاپن به طور کلی از ۴۰ نانوگرم در گرم بیشتر نیست، افرادی که رژیم غذایی آنها سرشار از ماهی است، گاهی اوقات مقادیر بیشتری را دارند.

روش نمونه برداری جیوه در ادرار

بیشتر جیوه موجود در ادرار به صورت جیوه غیر آلی است. غلظت جیوه در ادرار در ارتباط با سطح جیوه غیر آلی جمع شده در کلیه‌ها افزایش می‌یابد. بر این اساس، ادرار یک نشانگر زیستی مهم برای ارزیابی میزان مواجهه با بخار جیوه معدنی / جیوه است. از طرف دیگر، نشت متیل جیوه به ادرار ممکن است در مبتلایان به بیماری کلیوی رخ دهد. از آنجا که غلظت جیوه در ادرار نیز با میزان دفع متفاوت است، لازم است که آن را با غلظت کراتینین در ادرار اصلاح کنید یا نمونه ادرار را در یک زمان مشخص جمع‌آوری کنید.

به طور کلی، در آنالیز ادرار، ۵۰-۱۰۰ میلی لیتر ادرار به عنوان نمونه در یک فنجان کاغذی صبح زود جمع می‌شود. سپس نمونه در یخچال و در ظرف پلی اتیلن ذخیره می‌شود. نمونه‌هایی که باید بیش از یک ماه ذخیره شوند باید منجمد می‌شوند. از آنجا که ادرار حاوی نمک‌های غیر آلی زیادی است، حتی ادرار تازه، ممکن است رسوب ایجاد کند. بنابراین، قبل از تجزیه و تحلیل، نمونه باید با تکان دادن همگن شود. همچنین با کاهش pH نمونه ادرار با افزودن مقدار کمی اسید کلریدریک، حلالیت نمک‌ها افزایش می‌یابد. برای اطمینان از عدم تکثیر میکروارگانیسم‌ها اقداماتی انجام دهید، زیرا ممکن است باعث کاهش جیوه غیر آلی به بخار جیوه شود و جیوه موجود فرار کرده و از بین می‌رود. سطح متوسط جیوه در ادرار جمعیت عمومی در یک منطقه بدون قرار گرفتن در معرض جیوه کمتر از ۱۰ نانوگرم در میلی لیتر است.

روش نمونه برداری جیوه در بند ناف

وقتی مواد غذایی حاوی متیل جیوه توسط مادر در دوران بارداری بلعیده می‌شود، متیل جیوه به راحتی از جفت عبور می‌کند و از بدن مادر به جنین منتقل می‌شود و جنین در معرض متیل جیوه قرار می‌گیرد. یکی از نمونه‌های برجسته این موارد، بروز بسیاری از موارد ناقص الخلقه زایی در بیماری میناماتا همراه با علائم شدید فلج مغزی بود. این امر در اثر مصرف ماهیان و صدف‌های آلوده به متیل جیوه توسط مادران باردار هنگام شیوع بیماری میناماتا در ژاپن بود. بند ناف به عنوان نشانگر زیستی مناسب میزان مواجهه با جیوه در طول دوره جنینی را نشان می‌دهد زیرا غلظت جیوه در بند ناف بسیار با خون ارتباط دارد و

بیشتر جیوه موجود در بند ناف به شکل متیل جیوه است. چندین سانتیمتر از ناف جنین هنگام زایمان جمع شده و با نمک فیزیولوژیکی شسته می شود تا خون خارج شود. نمونه تا زمان تجزیه و تحلیل به صورت یخ زده ذخیره می شود.

در صورت خشک شدن نمونه بندناف پس از جمع آوری، نمونه بند ناف می تواند به عنوان یک نمونه خشک برای مدت طولانی ذخیره شود. علاوه بر این، از آنجا که در ژاپن رسم است که خانواده ها بند ناف را با دقت نگهداری می کنند، لذا میزان مواجهه با جیوه در هر کودک در هنگام تولد قابل ارزیابی است. بند ناف های جمع آوری شده قبل از دهه ۱۹۷۰، به دلیل استفاده از مرکوروکروم (ماده ضد میکروبی حاوی جیوه)، که به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گرفت، اغلب حاوی مقادیر بسیار بالایی جیوه غیر آلی بودند. بنابراین، اندازه گیری متیل جیوه در چنین مواردی ضروری است. بند ناف ذخیره شده را در آب خیسانده تا مرطوب شود، با آب شسته تا خون و سایر مواد چسبنده خارج شود و در هوا خشک می شود تا نمونه برای تجزیه و تحلیل آماده شود. غلظت متیل جیوه در بند ناف در جمعیت عمومی در ژاپن حدود ۰/۱ میکروگرم در گرم (وزن خشک) در نظر گرفته شده است. غلظت متیل جیوه در بند ناف در کودکانی که در طی شیوع بیماری میناماتا متولد شده اند می تواند به اندازه چندین میکروگرم در گرم (وزن خشک) باشد.

روش اندازه گیری و آنالیز جیوه در نمونه ها

روشهای معمول اندازه گیری جیوه کل شامل طیف سنجی جذبی (رنگ سنجی دیتیزون)^{۲۳}، آنالیز فعال سازی نوترون^{۲۴} و طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد^{۲۵} است. در طیف سنجی جذبی، دیتیزون با یونهای فلزی یک کمپلکس تشکیل می دهد و یک محلول آلی رنگی تولید می کند. شدت رنگ در غلظت های مختلف جیوه متفاوت است. اگرچه این روش به دلیل سادگی روش در طول تاریخ استفاده می شده است، اما با استفاده از طیف سنجی جذب اتمی بسیار حساس در دهه ۱۹۶۰، استفاده از آن بسیار کاهش یافت.

در تجزیه و تحلیل فعال سازی نوترون، نوترون های حرارتی موجود در یک راکتور هسته ای تحت تابش قرار گرفته و تابش گاما حاصل از Hg^{197} تولید شده برای کمی سازی مقایسه شده با نمونه استاندارد اندازه گیری می شود. این امکان تجزیه و تحلیل غیر مخرب را فراهم می کند که در آن نمونه مستقیماً بدون هیچ گونه پیش تصفیه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و بسیار دقیق و حساس است. با این حال، به دلیل گران بودن، نیاز به راکتور هسته ای و نیاز به دستگاه گران قیمت شمارش، همچنین الزامات ایمنی برای دست زدن به مواد رادیواکتیو، اغلب از آن استفاده نمی شود.

در طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد، جیوه به بخار عناصر جیوه تبدیل می شود، که به سلول جذبی وارد می شود و جذب برای تعیین مقدار در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر اندازه گیری می شود. این روش در مقایسه با طیف سنجی جذب اتمی شعله معمولی بسیار حساس است. از دیگر مزایای آن می توان به توانایی اندازه گیری جیوه در نمونه ها با دستگاه اسپکتروفتومتر UV یا یک لامپ جیوه ای ساده اشاره کرد. این تقریباً به روش کاهش / هوادهی و روش احتراق نمونه با توجه به حالت تولید جیوه در شکل اولیه طبقه بندی می شود. مورد اول شامل هضم مرطوب با مخلوطی از اسیدهای قوی و به دنبال آن افزودن یک عامل احیا کننده برای تولید بخار عناصر جیوه Hg^0 است. در حالت دوم، بخار جیوه اولیه Hg^0 از طریق احتراق مستقیم گاز تولید می شود نمونه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد. در حال حاضر، متداول ترین روش، این روش است.

² absorption spectrometry (dithizone colorimetry)

² neutron activation analysis ⁴

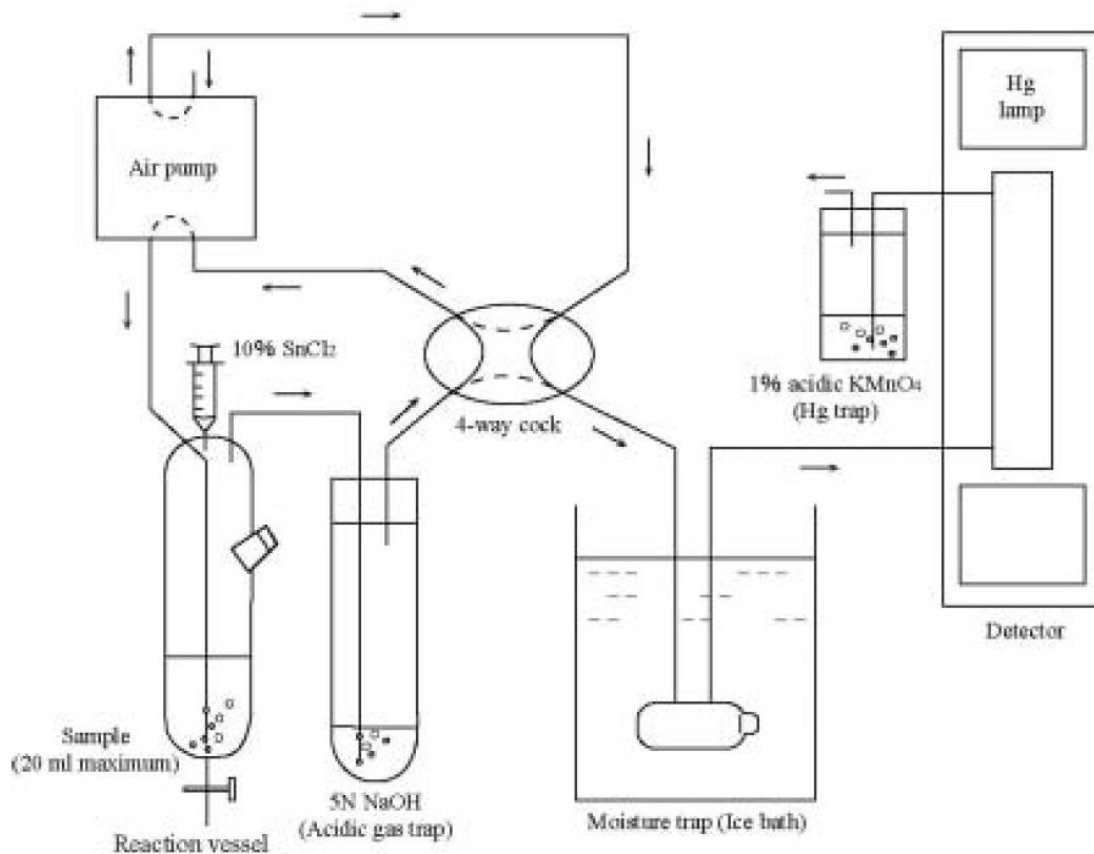
² cold vapor atomic absorption spectrometry

در اینجا ما در میان این روش های تحلیلی بسیار حساس، روشی شامل هضم مرطوب، کاهش و بخار سرد طیف سنجی جذب اتمی (CVAAS) را توصیف می کنیم، که پیشرفت های قابل توجهی نسبت به روش مرسوم ارائه می دهد.

روش حاضر شامل طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) (سیستم گردشی با جریان هوای آزاد) در اصل مشابه سیستم گردش خون متداول است و شامل موارد زیر است: کاهش یون های Hg^{2+} در محلول آزمایش نمونه با کلرید استانوس برای تولید بخار عناصر جیوه Hg^0 ، ورود بخار جیوه به سلول جذب و اندازه گیری میزان جذب در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر.

با این حال، بر خلاف سیستم های بسته متداول که در آن بخار جیوه اصلی تولید شده به طور مداوم با پمپ دیافراگم از طریق یک ظرف واکنش، یک لوله U شکل بسته بندی شده با یک ماده خشک کننده و سلول جذب عکس گردش می کند، روش حاضر همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است از یک گردش استفاده می کند. این دستگاه یک سیستم بسته را تشکیل می دهد و شامل پمپ دیافراگم، مخزن واکنش، دریچه گاز اسیدی، دریچه رطوبت (حمام یخی) و یک لوله ۴ طرفه است. در حین کار، بخار بنیادی تولید شده با افزودن کلرید استنوس از طریق لوله ۴ طرفه با سرعت جریان ۱-۱/۵ لیتر در دقیقه به مدت ۳۰ ثانیه برای همگن سازی غلظت در فاز گاز به گردش در می آید. سپس لوله ۴ طرفه با ۹۰ درجه چرخانده می شود تا یک باره فاز گاز را به سلول جذب عکس وارد کند. اندازه گیری با استفاده از این دستگاه در عرض یک دقیقه در هر نمونه انجام می شود، که می تواند حتی ۰/۱ نانوگرم جیوه را با دقت بالا اندازه گیری کند.

علاوه بر این، در روش تهیه نمونه آزمایش محلول برای روش حاضر، روش هضم مرطوب مرسوم با استفاده از یک فلاسک ۵۰ میلی لیتری با گردن بلند (حداقل ۱۰ سانتی متر)، مانند یک حجمی با دیواره ضخیم، انجام می شود. برای هضم نمونه یک مخلوط اسیدی با میزان $HNO_3-HClO_4-H_2SO_4 (1 + 1 + 5)$ به فلاسک دارای درپوش شیشه ای افزوده می شود. این امر نوآورانه است زیرا هضم نمونه می تواند در مدت زمان نسبتاً کوتاهی و بدون از دست دادن جیوه تکمیل شود. این یک روش ساده است که در آن نمونه به مدت ۳۰ دقیقه در یک صفحه داغ با دمای ۲۰۰-۲۳۰ درجه سانتیگراد تحت هضم مرطوب قرار گرفته و سرد می شود و پس از آن با مقدار ثابت آب به حجم رسانده می شود. این روش می تواند به طور مستقیم برای هضم نمونه های بیولوژیکی از جمله مو، خون و ماهی و همچنین نمونه های مختلف جامد مانند رسوبات و خاک استفاده شود. در هنگام گرم کردن نیازی به کندانسور ریفلکس نیست. (برای اطلاعات بیشتر در این زمینه به MERCURY ANALYSIS MANUAL, Ministry of the Environment, Japan, March 2004 مراجعه نمایید)



شکل ۱. نمودار شماتیک طیف سنجی جذب اتمی کاهش / بخار سرد CVAAS (سیستم گردش - جریان هوای آزاد)

تکنیک های اندازه گیری گونه های جیوه در هوا

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

رایج ترین روش به کار گرفته شده برای نمونه برداری از جیوه، جذب در آمالگام طلا و پس از آن، واجذب حرارتی مستقیم یا غیرمستقیم از طریق یک فرایند گام به گام، و نهایتاً تشخیص معمولاً توسط طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد (CVAAS)^۲ (یا طیف سنجی فلورسانس اتمی بخار سرد (CVAFS)^۳ متکی می باشد. (روش های پایش جیوه در هوای محیط کار در پیوست ۶ آمده است).

جدول 9- روش های نمونه برداری مرسوم جهت اندازه گیری گونه های مختلف جیوه در هوا

روش ها و مواد نمونه برداری	گونه های جیوه
آمالگاماسیون با طلا - سنجش گرهای اتوماتیک جیوه	GEM/TGM
محفظه میست	RGM
جاذب پشم کوارتز - تله گیر مرطوب - فیلترهای الیاف شیشه ای -الیاف کوارتز و سلولوز استات	Hg _p

تعیین مواجهه شغلی با بخار جیوه موجود در هوا با استفاده از لوله های جاذب (۲۰۰ میلی گرمی) با اسامی تجاری هایدرار یا هایپکالایت ، ساخت کمپانی SKC انجام می شود. نمونه های TWA با دبی حداکثر ۰/۲ l/min در حجم هوای حداقل ۳ lit یا حداکثر ۹۶ lit جمع آوری شده و توسط طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد تعیین مقدار می گردد. این روش در متدهای OSHA ID -140 و NIOSH-6009 توضیح داده شده و به طور کامل معتبر است.

پایش بیولوژیک

پایش بیولوژیک اندازه گیری یک عامل شیمیایی در خون، ادرار و یا بافت بدن افراد در مواجهه می باشد، که با نمونه برداری و تجزیه بافت ها یا مایعات بدن، یک شاخص مواجهه قابل اندازه گیری را جهت یک ماده سمی یا متابولیت ارائه می نماید . این نوع پایش با تع بین مقدار مواد شیمیایی جذب شده به بدن، جهت اندازه گیری مواجهات محیطی در گذشته کاربرد دارد . چرا که اندازه گیری های هوا به تنهائی قادر به ارزیابی مواجهه پوستی و یا اثرات تجهیزات حفاظتی و شیوه های انجام کار نمی باشد. از طرفی، با اندازه گیری مقدار واقعی یک عامل جذب شده در بدن، بهتر از پایش هوا می توان ریسک ابتلا به اثرات بهداشتی زیان آور را برآورد نمود .روش پایش بیولوژیک ایده آلی کل در ادرار را می توان توسط نمونه گیری قبل از شیفت، هم در خون و هم در ادرار اندازه گیری نمود .سطوح فردی اندازه گیری شده ممکن است روز به روز و حتی در طول یک روز تا حد زیادی متفاوت باشد .لذا تفسیر مناسب نتایج می تواند مشکل باشد، در هر حال این اندازه گیری می تواند در مورد مواجهه بالقوه بیش از حد اطلاعاتی را ارائه کند .در هر پروژه ای که از مقادیر قابل توجهی جیوه استفاده می گردد، برای ایجاد پایه ای جهت مقایسه در آینده، کلیه پرسنل آسیب دیده، مقام مسئول و دانشجویان قبل از کار با جیوه باید توسط روش های پایش بیولوژیک تایید شده مورد آزمایش قرار گیرند .تمامی شاغلین در طی پروژه می بایست به صورت دوره ای آزمایش شوند تا با مقایسه نتایج با مقادیر پایه در شروع مطالعه، اگر مواجهه بالقوه زیان آوری انجام شده باشد، مشخص گردد . تناوب زمانی آزمایشات دوره ای را باید پزشک طب کار تعیین کند.

جیوه در ادرار

2 Cold vapour atomic absorption spectroscopy
 2 Cold vapour atomic fluorimetry spectroscopy
 2 Hydrar 8
 2 Hopcalite 9

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

هنگام تفسیر نتایج، مقدار جیوه ادرار باید بر اساس 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 $5 \mu\text{g/gCreatinine}$ بیش تر می شود. اخیراً توسط گروه بهداشت و خدمات سالمندان و پزشکان نیوجرسی، سطوح بیش تر یا مساوی $20 \mu\text{g/gCreatinine}$ نیز گزارش شده است. هر چند بسیاری از آزمایشگاه ها تنها سطوح بالاتر از $150 \mu\text{g/gCreatinine}$ را دال بر سمیت می دانند، ولی شواهد قوی وجود دارد که نشانه های اولیه مسمومیت با جیوه را می توان 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.

جیوه در خون

غلظت جیوه در خون نشان دهنده مواجهه با جیوه آلی و همچنین جیوه فلزی و معدنی می باشد، نیمه عمر جیوه در خون کوتاه است لذا اندازه گیری جیوه خون باید بلافاصله پس از مواجهه انجام شود. نمونه ها همیشه باید در یک زمان مشخص از روز در حوالی پایان هفته کاری و پس از چند ماه مواجهه مداوم جمع آوری گردد. خون تام باید توسط لوله های فاقد جیوه حاوی هپارین، و پس از تمیز نمودن کامل پوست، جمع آوری گردد. میزان جیوه در خون افرادی که مواجهه شغلی با جیوه ندارند، معمولاً کمتر از 20ug/l است. اخیراً توسط گروه بهداشت و خدمات سالمندان و پزشکان نیوجرسی، سطوح بیشتر یا مساوی 28ug/l نیز گزارش شده است. به گفته برخی از کارشناسان، متوسط غلظت هوا برسد 50ug/m^3 سبب غلظت جیوه خون در حدود $35-130 \text{ug/l}$ می گردد. اثرات زودرس سمیت جیوه در غلظت خون بیش از 30ug/l دیده می شود. 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.

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

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

وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

- دستگاه جذب اتمی مجهز به سیستم بخار سرد
- لوله جاذب سطحی (Hopcalite in single section, 200 mg)
- پمپ نمونه بردار فردی با دبی (۰/۱۵ - ۰/۲۵) L/min
- ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم
- بالن ژوژه
- میکرو پی پت
- بطری BOD

مواد شیمیایی لازم:

- HgO (II) اکسید جیوه
- H₂O آب اکسیژنه
- HNO₃ اسید نیتریک
- HCl اسید کلریدریک
- آب دیونیزه

نمونه برداری

- (۱) پمپ نمونه برداری را با استفاده از یک کالیبراتور مناسب، کالیبره نمایید.
- (۲) جاذب سطحی را از طرفین برش داده و به پمپ وصل نمایید.
- (۳) با دبی ۱۵-۲۵ تا ۲-۱۰ L/min اقدام به نمونه برداری نمایید. (با هر سری از نمونه ها، یک نمونه شاهد نیز تهیه کنید).
- (۴) پس از خاتمه نمونه برداری، درپوش جاذب را گذاشته و به آزمایشگاه منتقل نمایید.

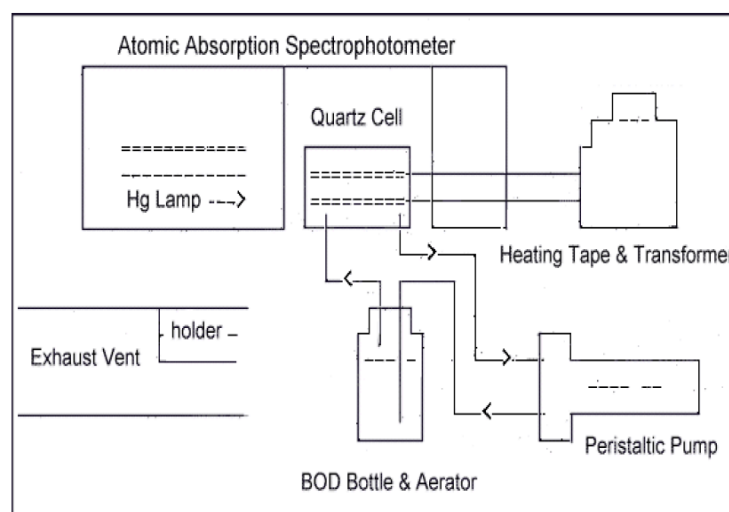
آماده سازی نمونه

- (۱) جاذب سطحی مورد استفاده را به همراه پشم شیشه آن به درون یک بالن ژوژه 50 ml منتقل کنید.
- (۲) ابتدا HCl 5/2ml غلیظ و سپس HNO₃ 5/2ml غلیظ به نمونه بیافزائید.
- (۳) نمونه را به مدت ۱ ساعت باقی گذاشته تا جاذب به طور کامل حل شود.
- (۴) محلول را توسط آب دیونیزه به حجم برسانید. رنگ محلول بایستی آبی یا آبی مایل به سبز گردد.
- (۵) ۲۰ ml نمونه توسط پی پت به داخل بطری BOD حاوی ۸۰ ml آب دیونیزه اضافه کنید. چنان چه پیش بینی می کنید مقدار جیوه از استانداردها بیش تر است، می توانید مقدار نمونه برداشتی را کاهش دهید، ولی در هر صورت حجم نهائی بایستی ۱۰۰ ml باشد.

کالیبراسیون

- (۱) محلول استاندارد مادر یا استوک جیوه $1000 \mu\text{g/ml}$: این محلول را با حل نمودن $1/0.8$ گرم کلرید جیوه در 50 ml اسید کلریدریک 1% و رساندن به حجم 1 لیتر توسط آب دیونیزه، تهیه نمائید.
- (۲) محلول استاندارد میانی $1 \mu\text{g/ml}$: برای ساخت این محلول 1 ml محلول استاندارد مادر را به داخل یک بالن ژوژه 100 ml حاوی 10 ml اسید کلریدریک 1% منتقل و سپس توسط آب دیونیزه به حجم برسانید.
- (۳) محلول های استاندارد کاربردی: (Working Standard): محلول های کاربردی حاوی 1 تا $5 \mu\text{g}$ جیوه را با اضافه نمودن مقادیر معینی از محلول استاندارد میانی بخ بطری های BOD حاوی مقادیر کافی اسید کلریدریک 1% و رساندن حجم نهائی محلول به 100 ml بسازید.

COLD VAPOR-ATOMIC ABSORPTION SPECTROPHOTOMETER FOR MERCURY ANALYSIS



اندازه گیری

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

محاسبه غلظت جیوه در هوا:

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

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

که در آن:

C: حسب بر هوا در جیوه غلظت mg/m³

V_s: حجم بالن ژوژه در مرحله آماده سازی نمونه (50 ml)

V_a: حجم بطری BOD در مرحله آماده سازی نمونه (20 ml)

B: میانگین غلظت جیوه در نمونه شاهد بر اساس μg

V: حجم هوای نمونه برداری شده Lit

W: غلظت نمونه بر حسب μg

روش نمونه برداری و تجزیه جیوه در خون:

تعیین میزان غلظت جیوه خون، شاخص بیولوژیکی ارزنده ای جهت تعیین میزان مواجهه با جیوه در محیط های کاری است. فشار بخار جیوه (۰/۰۰۱۲ mmHg در ۲۰ °C) اندازه گیری این عنصر را به روش بخار سرد امکان پذیر می سازد.

وسایل و تجهیزات مورد نیاز:

دستگاه جذب اتمی مجهز به سیستم بخار سرد، انکوباتور، ترازوی حساس (با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم)، ورتکس، بطری BOD، لوله های آزمایش یک بار مصرف، بالن ژوژه، پی پت، سرنگ استریل ۵ میلی لیتری با سرسوزن شماره ۲۱، پنبه الکل، تورنیکه و پوار لاستیکی.

مواد شیمیایی لازم:

(II) HgO اکسید جیوه، H₂O₂ آب اکسیژنه، HCl اسید کلریدریک، H₂SO₄ اسید سولفوریک، KMnO₄ پرمنگنات پتاسیم، HONH₃Cl هیدروکسیل آمین هیدروکلراید، SnCl₂ کلرید قلع، هپارین و آب دیونیزه.

روش کار:

در این روش تمامی جیوه موجود در نمونه به شکل بخار جیوه (بخار اتمی خنثی) درآمده و از طریق گاز آرگون، به داخل سلول جذب دستگاه هدایت می گردد. در نهایت میزان غلظت جیوه خون از مقایسه مقادیر جذب نمونه با منحنی کالیبراسیون در طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر به دست می آید.

الف) نمونه برداری:

- ۱) یک نمونه خون توسط سرنگ تهیه نمائید.
- ۲) جهت جلوگیری از انعقاد، حدود ۰/۰۵ هپارین به داخل لوله آزمایش ریخته و خون داخل سرنگ را پس از برداشتن سرسوزن به آهستگی به آن اضافه کنید. سپس لوله آزمایش را به ملایمت تکان دهید تا هپارین به خوبی با خون مخلوط شود. این نمونه در حرارت ۴ °C به مدت ۳ روز پایدار می باشد.

ب) کالیبراسیون :

- ۱) محلول استاندارد مادر ۱۰۰۰ $\mu\text{g/ml}$ جیوه را با حل نمودن ۱/۰۸۰ گرم کلرید جیوه در ۱۰۰۰ جیوه را در ۵۰ ml اسید کلریدریک ۱:۱ و رساندن به حجم ۱ لیتر توسط آب دیونیزه، تهیه نمائید.
- ۲) محلول های استاندارد کاربردی ۲ و ۴ و ۶ و ۸ و ۱۰ $\mu\text{g/ml}$ جیوه. این محلول ها که بایستی به صورت تازه و روزانه تهیه گردند، را می توانید با رقیق کردن محلول استاندارد مادر توسط اسید کلریدریک ۱:۱ بسازید.

ج) آماده سازی:

- ۱) ۰/۵ ml نمونه خون داخل لوله های آزمایش که از قبل به دقت شسته و توسط آب دیونیزه آبکشی شده بریزید.
- ۲) به هر لوله 1 ml H_2O_2 و 3 ml H_2SO_4 اضافه کنید.
- ۳) نمونه ها را به مدت ۲۰ دقیقه در دمای 25°C انکوبه نمائید.
- ۴) به هر نمونه ۲ ml پرمنگنات پتاسیم ۵٪ افزوده و سپس نمونه ها را مجدداً به مدت ۳۰ دقیقه در دمای 50°C انکوبه کنید.
- ۵) مقداری هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۱۲٪ به نمونه ها اضافه کنید، تا رنگ بنفش نمونه به رنگ سفید تبدیل شود. (در صورت لزوم)
- ۶) حجم کلیه نمونه ها را توسط آب دیونیزه به ۱۰ ml رسانده و جهت اندازه گیری جیوه به داخل بطری BOD دستگاه بریزید.

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

د) اندازه گیری:

- ۱) دستگاه جذب اتمی و سیستم بخار سرد را مطابق توصیه شرکت سازنده تنظیم نمائید.
- ۲) ۰/۵ ml محلول کلرید قلع ۲۵٪ SnCl_2 در HCl به نمونه ها اضافه نموده و حداکثر ظرف ۲ ساعت ابتدا میزان جذب را جهت استانداردهای کاربردی قرائت کنید.
- ۳) منحنی استاندارد مربوطه را رسم و غلظت جیوه نمونه خون را تعیین نمائید.

فصل ششم :

کاهش و جلوگیری از تولید پسماند

کاهش و جلوگیری از تولید پسماند در فرآیندهای صنعتی

کاهش و حذف تدریجی جیوه در محصولات و فرآیندهای صنعتی یکی از موثرترین روش های کاهش انتشار جیوه در محیط است. دولت ها باید یک چارچوب قانونی یا نظارتی تدوین و اجرا کنند. یک چارچوب نظارتی موثر تولیدکننده های گسترده محصولات حاوی جیوه را مدیریت می کند.

مسئولیت گسترده تولیدکنندگان (EPR)، یک چارچوب نظارتی موثر است که به سازماندهی مناسب تعهدات و مسئولیت های مشترک بین ذی نفعان می پردازد. یکی از رویکرد های چارچوب قانونی یا نظارتی، تعیین یک مقطع زمانی مشخص برای ممنوعیت استفاده از جیوه در فرآیندهای تولیدی و ساخت محصولات است (به استثنای مواردی که هیچ گزینه یا معافیت فنی و عملی قابل قبولی برای آنها وجود ندارد). پس از این تاریخ، استفاده از جیوه باید ممنوع باشد و جمع آوری EPR و طرح های بی خطر سازی در ESM، با همکاری همه ذینفعان، ایجاد شود. این روش کاربران و تولید کنندگان جیوه و محصولات حاوی جیوه در مقیاس بزرگ را تشویق می کند تا با الزامات یک برنامه حذف جیوه همراه شوند. در موارد خاص ممکن است به منظور تکمیل برنامه، ممنوعیت صادرات زباله مفید باشد. یک مثال از این چارچوبی های نظارتی، دستورالعمل 2002/95/EC پارلمان اروپا و شورای ۲۷ ژانویه ۲۰۰۳ در مورد محدودیت استفاده از برخی مواد خطرناک در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی است که به نام "دستورالعمل" RoHS شناخته شد، می باشد. این دستورالعمل که استفاده از جیوه در تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی را محدود می کند و معافیت موقتی برای استفاده از این مواد برای چندین محصول که در حال حاضر هیچ گزینه مناسبی برای آنها وجود ندارد (به عنوان مثال، برخی از انواع لامپ های حاوی جیوه) را صادر می کند. از زمان اجرایی شدن این دستورالعمل در ۱ ژوئیه ۲۰۰۶، بیشتر تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی حاوی جیوه در بازار اتحادیه اروپا حذف گردیدند. مثال دیگری از اتحادیه اروپا، دستورالعمل EC / ۶۶/۲۰۰۶ پارلمان اروپا و شورای ۶ سپتامبر ۲۰۰۶ در مورد باتری ها و باتری ها و باتری های ضایع شده و باطله ها و لغو دستورالعمل EEC / ۱۵۷/۹۱ است که قرار دادن در بازار را ممنوع می کند. از همه باتری ها، اعم از اینکه در لوازم خانگی گنجانده شده یا نباشند، حاوی بیش از ۰,۰۰۰۵ درصد جیوه از نظر وزنی باشند، مشروط به معافیت (این ممنوعیت در باتری های دکمه ای که ممکن است کمتر از ۲ درصد وزنی حاوی جیوه باشند، هنوز اعمال نمی شود).

نروژ برای اطمینان از عدم استفاده از جیوه در محصولاتی که امکان جایگزینی جیوه در آنها وجود دارد، ساخت، صادرات و واردات یا فروش مواد حاوی جیوه یا ترکیبات جیوه و همچنین ساخت، صادرات و واردات یا فروش محصولات جامد فرآوری شده با جیوه یا ترکیبات جیوه را ممنوع اعلام کرده است. این تصمیم تعداد محصولات حاوی جیوه را در بازار را کاهش می دهد، علاوه بر این از تولید و دفع زباله های خطرناک حاوی جیوه جلوگیری می کند.

الزامات انتقال فرامرزی

طبق کنوانسیون بازل، زباله های متشکل از جیوه و ضایعات حاوی یا آلوده به جیوه، زباله های خطرناک هستند. اگر یکی از طرفین (صادرات و واردات پسماند جیوه) عضو کنوانسیون قانون ملی منع واردات مواد زائد متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه باشد، طرفین دیگر نمی توانند چنین زباله هایی را به آن طرف صادر کنند.

انتقالات فرامرزی پسماندهای خطرناک و سایر پسماندها باید حداقل با ESM آنها مطابقت داشته باشد و به روشی انجام شود که از سلامت انسان و محیط زیست در برابر اثرات سو ناشی از این انتقالات محافظت کند. جابجایی های مرزی این پسماندها فقط در شرایط زیر مجاز است:

الف) تحت شرایطی انجام شود که سلامت انسان و محیط زیست را به خطر نیندازد.

ب) صادرات به شیوه ای سازگار با محیط زیست در کشور وارد کننده یا جاهای دیگر مدیریت شود.

ج) کشور صادر کننده ظرفیت فنی و امکانات لازم برای دفع پسماندهای موردنظر را به شکل زیست محیطی و کارآمد نداشته باشد.

د) پسماندهای مورد بحث به عنوان ماده اولیه صنایع بازیافت یا بازیابی در کشور وارد کننده مورد نیاز باشد.

ه) حمل و نقل فرامرزی مورد نظر مطابق با سایر معیارهای تصمیم گیری شده توسط طرفین باشد.

هرگونه انتقال فرامرزی زباله های خطرناک و دیگر کتبا باید به مقامات ذیصلاح همه کشورهای مربوط به این جنبش (کشور صادر کننده، کشور واردات و در صورت وجود کشور ترانزیت) اعلام شود. این اعلان حاوی اعلامیه ها و اطلاعات درخواست شده در کنوانسیون است و به زبان قابل قبول توسط کشور وارد کننده نوشته می شود. علاوه بر موافقت قبلی کتبی از کشور وارد کننده و صادر کننده و در صورت لزوم از کشورهای ترانزیت، وجود قرارداد ESM پسماندها بین صادر کننده و صاحب تاسیسات دفع قبل از هر حرکت و جابجایی مواد زائد ممکن است صورت گیرد. کنوانسیون همچنین مستلزم آن است که اطلاعات مربوط به هر محموله را به صورت سند تنظیم و همراه مرسوله قرار دهد.

پسماندهای خطرناک و سایر پسماندهای مضمول جابجایی های مرزی باید مطابق با قوانین و استانداردهای بین المللی بسته بندی، برچسب گذاری و حمل شوند (کمیسیون اقتصادی سازمان ملل متحد اروپا (UNECE, 2007)). در صورت نیاز کشور وارد کننده یا هر کشور ترانزیتی که در انتقال فرامرزی پسماندهای خطرناک دخالت دارد، باید تحت پوشش بیمه، اوراق قرضه یا سایر ضمانت ها قرار گیرد. در صورت عدم توافق برای جایگزینی آنها به روش ESM، پسماندهای مورد بحث برای دفع به کشور صادر کننده بازگردانده می شوند. این کار باید طی ۹۰ روز از زمان انجام شود. هیچ جابجایی مرزی زباله های خطرناک و سایر پسماندها بین دو طرف غیر کنوانسیون مجاز نیست مگر اینکه یک توافق دو جانبه، چند جانبه یا منطقه ای وجود داشته باشد، همانطور که در ماده ۱۱ کنوانسیون لازم است.

شایان ذکر است که صادرات جیوه فلزی و برخی ترکیبات و مخلوط های جیوه از اتحادیه اروپا با مقررات EC شماره ۲۰۰۸/۱۱۰۲ از ۱۵ مارس ۲۰۱۱ (کمیسیون اروپا ۲۰۱۰) ممنوع شده است. به همین ترتیب، قانون منع صادرات جیوه در سال ۲۰۰۸ صادرات جیوه اولیه را از ۱ ژانویه ۲۰۱۳ در ایالات متحده ممنوع کرده و به ذخیره طولانی مدت جیوه نیاز دارد.

مجوز و بازرسی از امکانات دفع

پسماندهای متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه باید در تاسیسات استفاده کننده از ESM دفع شوند.

اکثر کشورها قانون یا مقررات خاصی برای تأیید، شروع فعالیت و اجازه بهره برداری از امکانات دفع زباله دارند. تأییدیه ها یا مجوزهای عملیاتی ممکن است شامل شرایط خاصی باشند (طراحی تاسیسات و شرایط عملیاتی) که باید برای تأیید یا مجوز

معتبر بمانند. ممکن است رعایت الزامات خاص ضایعات متشکل از جیوه اولیه و یا مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه برای تأمین نیازهای ESM، مطابقت با الزامات خاص کنوانسیون بازل و در نظر گرفتن توصیه ها و دستورالعمل های مربوط به بهترین تکنیک های موجود (BAT)، ضروری باشد. مانند دستورالعمل های BAT و راهنمایی های موقت در مورد بهترین روش های زیست محیطی کنوانسیون استکهلم و اسناد مرجع در مورد توسط اتحادیه اروپا (BREF) و دستورالعمل های مربوط به بخش کلر-قلیایی از شورای جهانی کلر و Eurochlor. App تأییدیه ها یا مجوزهای عملیاتی باید به صورت دوره ای و در صورت لزوم بررسی شوند.

تاسیسات دفع باید به طور دوره ای توسط یک مرجع مستقل یا انجمن بازرسی فنی مورد بازرسی قرار گیرد تا بررسی شود که آیا با الزامات مندرج در مجوز تاسیسات مطابقت دارد. در صورت وجود شواهدی مبنی بر عدم انطباق، قوانین همچنین باید بازرسی های فوق العاده را نیز فراهم کند.

شناسایی و فهرست

شناسایی منابعی که زباله های متشکل از جیوه اولیه و یا مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه را تولید می کنند و تعیین مقدار مواد زائد و غلظت جیوه در هر یک از آن ها دارای اهمیت است تا بتوان اقدامات موثری برای جلوگیری، به حداقل رساندن و مدیریت چنین مواردی انجام داد.

۱. شناسایی

شکل ۲- استفاده جهانی جیوه را در سال ۲۰۰۷ نشان می دهد. بزرگترین بخش استفاده از جیوه صنعت استخراج طلا در مقیاس کوچک است و به دنبال آن تولید مونومر وینیل کلرید VCM و تولید کلر قلیایی است. همچنین از جیوه برای تولید محصولات مصرفی مانند باتری، آمالگام دندانپزشکی، دستگاه های اندازه گیری، لامپ و وسایل الکتریکی و الکترونیکی استفاده می شود، اگرچه میزان جیوه در این مصارف در هر کشور متفاوت است، دامنه استفاده از جیوه در سال ۲۰۰۷، ۳۰۰۰-۴۷۰۰ تن بود (مکسون ۲۰۱۰).

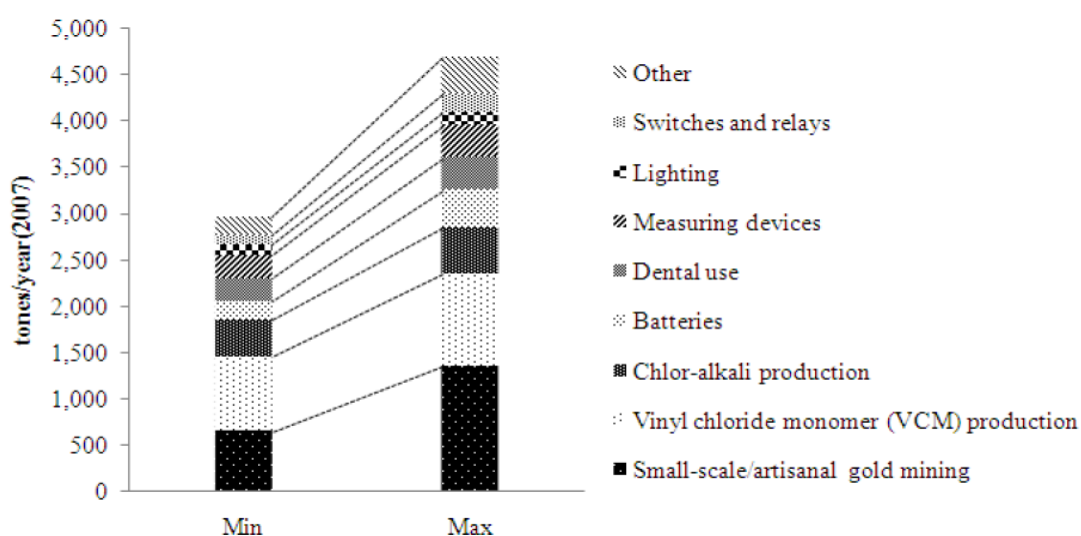


Figure-2 Estimated global mercury use in 2007 (Maxson 2010)

منابع تولید پسماندهای متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه در جدول ۲ خلاصه شده است.

لازم به ذکر است که در برخی کشورها برخی از منابع صنعتی ارائه شده در جدول ۲- (منابع ۱، ۲، ۳، ۴ و ۷، به جز فرایندهای تولید با استفاده از جیوه) نه از جیوه استفاده می کنند و نه زباله هایی متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه تولید می کنند. در واقع فرآیندهای صنعتی به شرایط فنی و اجتماعی یک کشور بستگی دارد و تعیین می کنند که این فرآیندها را بدون جیوه می توان انجام داد یا خیر.

اطلاعات دقیق تر در مورد محصولات جیوه اضافه شده (نام خاص و تولید کننده محصولات) از منابع زیر در دسترس است:

(a) UNEP (2008c): Report on the major mercury-containing products and processes, their substitutes and experience in switching to mercury-free products and processes,

http://www.chem.unep.ch/mercury/OEWG2/documents/g7/English/OEWG_2_7.doc;

(b) European Commission (2008): Options for reducing mercury use in products and applications, and the fate of mercury already circulating in society, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/study_report2008.pdf;

(c) UNEP Global Mercury Partnership – Mercury-Containing Products Partnership Area,

<http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Mercury-in-products.htm>;

(d) Lowell Center for Sustainable Production (2003): An Investigation of Alternatives to Mercury-Containing Products, <http://www.chem.unep.ch/mercury/Sector-Specific-Information/Docs/lcspfinal.pdf>;

(e) The Interstate Mercury Education and Reduction Clearinghouse (IMERC) Mercury-Added Products Database:

<http://www.newmoa.org/prevention/mercury/imerc/notification>

فهرست موجودی های جیوه

فهرست موجودی ابزاری مهم برای شناسایی، کمی سازی و مشخص کردن پسماندها هستند. این فهرست ها می تواند برای موارد زیر مورد استفاده قرار گیرند:

الف) ایجاد یک پایه و اساس اطلاعاتی برای مقادیر محصولات جیوه ای تولید شده و یا در حال استفاده و مواد زائد حاوی جیوه اولیه و ضایعات حاوی یا آلوده به جیوه.

ب) ایجاد یک پایگاه ثبت اطلاعات برای کمک به بازرسی های ایمنی و نظارتی.

ج) بدست آوردن اطلاعات دقیق مورد نیاز برای تهیه نقشه های مدیریت چرخه حیات جیوه.

د) کمک به تهیه برنامه های واکنش اضطراری.

ه) حرکت به سوی کاهش و تدریجی حذف جیوه.

پس از شناسایی منابع و انواع پسماندها متشکل از عناصر اصلی جیوه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه، برای تخمین مقادیر زباله از منابع شناسایی شده در یک کشور خاص (یا منطقه، جامعه و غیره) باید از اطلاعات و مقادیر خاص فرآیند استفاده شود (UNEP 2005). جمع آوری داده های لازم برای تخمین این مقادیر، به ویژه در کشورهای در حال توسعه به دلیل کمبود (یا نداشتن) داده ها، به ویژه در مورد تسهیلات در مقیاس کوچک، بسیار دشوار است. در مواردی که اندازه گیری واقعی امکان پذیر نیست، جمع آوری داده ها می تواند با استفاده از نظرسنجی های مبتنی بر پرسشنامه انجام شود. برای تدوین فهرست مربوطه به راهنمای شناخت و ثبت فهرست موجودی های ملی پسماندهای خطرناک در چارچوب کنوانسیون بازل (SBC) (2000) مراجعه شود. همچنین متدولوژی راهنمای فهرست بندی موجودی های ملی پسماندهای خطرناک، تدوین شده توسط BCRC-SEA، می تواند به عنوان یک مرجع عملی مورد استفاده قرار گیرد.

برنامه شناسایی و تعیین مقدار انتشار جیوه (UNEP 2010a) نیز می تواند مفید باشد. این جعبه ابزار به کشورها کمک می کند تا با تدوین پایگاه اطلاعاتی خود، فهرست منابع ترشحات جیوه در کشورشان را شناسایی و مقادیر آن را تخمین زده یا کمی کنند (UNEP 2005). جعبه ابزار یک روش ساده و استاندارد برای تولیدات ملی و منطقه ایست که در بسیاری از کشورها به کار رفته است (UNEP 2008c). مطابق با رویکرد چرخه حیات، کانالها یا مسیرهایی که از طریق آنها جیوه موجود در زباله

ها به محیط آزاد می شود نیز باید شناسایی شوند. با توجه به خطرات احتمالی رهاسازی جیوه به محیط زیست ، انواع زباله ها باید بر اساس اولویت عمل طبقه بندی شوند. سپس باید اطلاعات مربوط به اقدامات احتمالی را جمع آوری کرد ، خصوصاً در مورد منابع و انواع پسماندهای حاوی غلظت بالای جیوه که دارای خطرهای بالاتری از آزادسازی جیوه به محیط زیست هستند. سپس اقدامات انجام گرفته باید از نظر میزان رهاسازی بالقوه جیوه محیطی، هزینه های اداری و اجتماعی ، در دسترس بودن فنون و امکانات و سهولت دستیابی به توافق نامه اجتماعی مرتبط با اجرای این اقدامات و غیره مورد بررسی قرار گیرند. در بعضی از کشورها ، از یک رجیستری انتشار و انتقال آلاینده (PRTR) برای جمع آوری داده ها در مورد محتوای خاص جیوه در پسماندها و انتقال آن استفاده می شود (Kuncova و همکاران ۲۰۰۷). داده های PRTR نیز در دسترس عموم است.

نمونه گیری ، تجزیه و تحلیل و نظارت

نمونه برداری ، تجزیه و تحلیل و نظارت از مولفه های اساسی در مدیریت پسماندهای متشکل از جیوه اولیه و ضایعات حاوی یا آلوده به جیوه است. نمونه گیری ، تجزیه و تحلیل و نظارت باید توسط متخصصان آموزش دیده مطابق با یک طرح و با استفاده از روش های پذیرفته شده بین المللی یا تایید شده در سطح ملی انجام شود. آنها همچنین باید تحت (QA/QC) تضمین کیفیت و اقدامات کنترل کیفیت قرار بگیرند. اشتباه در نمونه برداری ، تجزیه و تحلیل یا نظارت یا انحراف از رویه های عملیاتی استاندارد می تواند منجر به داده های بی معنی یا حتی بروز خطا در مدیریت برنامه ریزی شود. بنابراین باید از آموزش ها ، پروتکل ها و قابلیت های آزمایشگاه برای نمونه برداری ، نظارت و روش های تحلیلی و اینکه استانداردها درست اعمال می شوند، اطمینان حاصل شود.

به دلایل وجود اهداف متعدد نمونه برداری ، تجزیه و تحلیل و نظارت و نیز به دلیل وجود اشکال مختلف فیزیکی زباله ، روش های مختلف نمونه برداری ، تجزیه و تحلیل و نظارت در دسترس است. اگرچه بحث درمورد آنها به طور خاص از حوصله این سند خارج است ، اما به طور خلاصه به نکات کلیدی مربوط به نمونه برداری ، تجزیه و تحلیل و نظارت اشاره خواهد شد. برای کسب اطلاعات در مورد فعالیت های آزمایشگاهی، می توان از سری OECD، مشاوره مفیدی گرفت. در مورد ملاحظات کلی روش شناختی ، سند WHO/UNEP حاوی اطلاعات مفیدی در خصوص ارزیابی و شناسایی جمعیت های در معرض خطر جیوه است.

۱. نمونه برداری

هدف کلی هر فعالیت نمونه گیری بدست آوردن نمونه ای است که بتواند برای اهداف یا هدف خاصی استفاده شود ، به عنوان مثال ، به منظور تعیین مشخصات سایت ، میزان انطباق با استانداردهای نظارتی یا مناسب بودن نمونه برای روش های تصفیه یا دفع پیشنهادی. این هدف باید قبل از شروع نمونه گیری مشخص شود.

رویه های استاندارد نمونه گیری باید قبل از شروع کار نمونه گیری (ویژه ماتریس و خاص جیوه) تعیین و توافق شود. عناصر این روش ها شامل موارد زیر است:

الف) تعداد نمونه های گرفته شده ، تعداد دفعات نمونه برداری ، مدت زمان پروژه نمونه برداری و شرح روش نمونه گیری (شامل روش های تضمین کیفیت موجود ، به عنوان مثال ، ظروف نمونه برداری مناسب ، نمونه های بلنک (نمونه های معلوم) و زنجیره حفاظت نمونه)

ب) انتخاب مکان و زمان نمونه برداری (شامل شرح و موقعیت جغرافیایی)

ج) هویت فردی که نمونه گیری کرده و شرایط نمونه برداری

³ Quality assurance and quality control

د) شرح کامل مشخصات نمونه - برچسب گذاری

ه) حفظ یکپارچگی نمونه ها در هنگام حمل و نگهداری (قبل از تجزیه و تحلیل)

و) ارتباط موثر بین نمونه گیرنده و آزمایشگاه

ز) پرسنل نمونه گیری آموزش دیده

در برنامه های نظارت بر محیط زیست و سلامت انسانی ، هر دو ماتریس زنده و غیر زنده را شامل می شود:

الف) مواد گیاهی و مواد غذایی

ب) مو ، ادرار ، ناخن ، شیر مادر یا خون انسان

ج) هوا (رسوب محیط ، مرطوب یا خشک یا احتمالاً برف)

۲. تجزیه و تحلیل

تجزیه و تحلیل به استخراج ، تصفیه ، جداسازی ، شناسایی ، کمی سازی و گزارش غلظت جیوه در ماتریس مورد نظر اشاره دارد. به منظور دستیابی به نتایج معنی دار و قابل قبول ، آزمایشگاه تحلیلی باید زیرساخت های لازم (مسکن) و تجربه ثابت شده با ماتریس و گونه های جیوه را داشته باشد (به عنوان مثال ، شرکت موفقیت آمیز در مطالعات مقایسه آزمایشگاهی در طرح های آزمایش مهارت خارجی).

تأیید اعتبار آزمایشگاه مطابق با ISO 17025 یا سایر استانداردها توسط یک نهاد مستقل نیز مهم است. معیارهای اساسی برای به دست آوردن نتایج با کیفیت بالا عبارتند از:

الف) مشخصات تکنیک تحلیلی

ب) تعمیر و نگهداری تجهیزات تحلیلی

ج) اعتبارسنجی تمام روشهای استفاده شده (از جمله روشهای داخلی)

د) آموزش کارکنان آزمایشگاه

تجزیه و تحلیل جیوه به طور معمول در یک آزمایشگاه اختصاصی انجام می شود. برای شرایط خاص ، کیت های آزمایشی در دسترس هستند که می توانند برای اهداف غربالگری در این زمینه استفاده شوند. برای تجزیه و تحلیل جیوه ، هیچ روش تحلیلی واحدی در دسترس نیست. روش های تجزیه و تحلیل ماتریس های مختلف جیوه ، توسط سازمان بین المللی استاندارد سازی (ISO)، کمیته استاندارد سازی اروپا (CEN) یا روش های ملی مانند ایالات متحده (EPA ایالات متحده آمریکا) یا ژاپن توسعه یافته است. در جدول ۳- چند نمونه برای تجزیه و تحلیل جیوه در مواد زائد ، گاز دودکش و فاضلاب ذکر شده است.

جدول ۳- تجزیه و تحلیل شیمیایی جیوه در مواد زائد ، گاز دودکش و فاضلاب

هدف		روش
پسماند	برای تعیین تحرک جیوه در زباله ها	EN 12457-1 تا ۴: خصوصیات زباله ها - شسته شدن - آزمون انطباق برای شستشوی مواد زائد گرانول و لجن (کمیته استاندارد اروپا ۲۰۰۲ a)
		EN 12920: خصوصیات زباله - روش برای تعیین رفتار شستشوی زباله تحت مشخص شده شرایط (کمیته استاندارد سازی اروپا ۲۰۰۶)
		EN 13656: خصوصیات زباله - هضم میکروویو با هیدروفلوئوریک (HF)، نیتریک (HNO ₃) و هیدروکلریک (HCl) مخلوط اسید برای تعیین بعدی عناصر در زباله (کمیته استاندارد اروپا ۲۰۰۲ b)
		EN 13657: خصوصیات زباله - هضم برای موارد بعدی

		<p>تعیین قسمت محلول در آیزین از عناصر موجود در زباله ها (کمیته استاندارد سازی اروپا ۲۰۰۲)C)</p> <p>TS 14405: خصوصیات زباله - آزمون رفتار شستشو - آزمایش نفوذ جریان بالا (کمیته استاندارد اروپا ۲۰۰۴)</p> <p>ایالات متحده EPA روش ۱۳۱۱: TCLP ، سمیت روش شستشو مشخصه (ایالات متحده (EPA 1992)</p>	
	برای تعیین غلظت جیوه در زباله ها	<p>EN 13370: خصوصیات زباله - تجزیه و تحلیل مواد خروجی - تعیین آمونیوم ، AOX ، رسانایی ، جیوه ، شاخص فنل ، TOC ، -CN ، F- قابل آزادسازی آسان (کمیته استاندارد اروپا ۲۰۰۳)</p> <p>EN 15309: خصوصیات زباله و خاک - تعیین ترکیب اولیه توسط فلورسانس اشعه X (کمیته اروپا) برای استاندارد سازی ۲۰۰۷)</p> <p>روش EPA 7471B EPA ایالات متحده: جیوه در مواد زائد جامد یا نیمه جامد (تکنیک دستی بخار سرد) (EPA 2007d ایالات متحده)</p> <p>ایالات متحده EPA روش ۷۴۷۳: جیوه در جامدات و محلول ها توسط تجزیه حرارتی ، تجمع و جذب اتمی اسپکتروفتومتری (EPA 2007e ایالات متحده)</p> <p>روش EPA 7470A EPA ایالات متحده: جیوه در مواد زائد مایع (تکنیک دستی بخار سرد) (EPA ایالات متحده ۱۹۹۴)</p>	
		<p>EN 13211: کیفیت هوا - انتشارات منبع ثابت - دستی روش تعیین غلظت جیوه کل (کمیته استاندارد سازی اروپا ۲۰۰۱) * این روش مقدار کل جیوه را تعیین می کند (به عنوان مثال ، جیوه فلزی / بنیادی + جیوه یونی).</p>	
		<p>EN 14884: کیفیت هوا - انتشارات منبع ثابت - تعیین از کل جیوه: سیستمهای اندازه گیری خودکار (اروپایی کمیته استاندارد سازی ۲۰۰۵)</p> <p>JIS K 0222: روش تجزیه و تحلیل عطراد در گاز دودکش (انجمن استاندارد ژاپن ۱۹۹۷)</p> <p>روش EPA 0060 ایالات متحده: تعیین فلزات در پشته آلاینده (EPA ایالات متحده ۱۹۹۶)</p>	
گاز دودکش			<p>ASTM D6784 - 02 (2008) روش آزمون استاندارد برای عناصر ، اکسید شده ، ذرات محدود شده و عطراد کل در گاز دودکش تولید شده از منابع ثابت با زغال سنگ (روش هیدرو انتاریو) (ASTM International 2008)</p>
		فاصلاب	<p>ISO 5666: 1999: کیفیت آب - تعیین جیوه (ISO) (۱۹۹۹)</p>

ISO 16590: 2000 کیفیت آب - تعیین روشهای جیوه شامل غنی سازی با ترکیب (ISO 2000)
۱ ISO 17852: 2006 کیفیت آب - تعیین روش جیوه با استفاده از طیف سنجی فلورسانس اتمی (ISO 2006)

علاوه بر این ، روش ها و معیارهای پذیرش برای آماده سازی نمونه در آزمایشگاه ، به عنوان مثال ، همگن سازی ، باید ایجاد شود.

مراحل جداگانه در تعیین تحلیلی شامل موارد زیر است:

الف) استخراج

ب) تصفیه

ج) اندازه گیری توسط دستگاه های مناسب مانند ICP و AAS

د) کمی سازی در صورت لزوم

ه) گزارش دهی مطابق با آیین نامه ها

۳. نظارت

کنوانسیون بازل در بند ۲ (ب) ماده ۱۰ ("همکاری بین المللی") ، احزاب را ملزم به "همکاری در نظارت بر اثرات مدیریت مواد زائد خطرناک بر سلامت انسان و محیط زیست" می کند. برنامه های پایش باید نشانه ای از کارایی عملکرد مدیریت پسماندهای خطرناک مطابق با طراحی آن را ارائه دهند و باید تغییرات کیفیت محیط ناشی از عملیات را تشخیص دهند. برای اطمینان از اینکه انواع پسماندهای خطرناک توسط عملیات مدیریت پسماند به طور مناسب مدیریت می شوند، آسیب را کشف و برطرف کرده و تعیین کنید که آیا روش مدیریت جایگزین مناسب است. با اجرای یک برنامه نظارتی ، مدیران تاسیسات می توانند مشکلات را شناسایی کنند و اقدامات مناسب را برای اصلاح آنها انجام دهند. لازم به ذکر است که تعدادی از سیستم های اندازه گیری پیوسته جیوه به صورت تجاری در دسترس هستند. چنین نظارتی ممکن است طبق قوانین ملی یا محلی مورد نیاز باشد.

پیشگیری و به حداقل رساندن زباله

پیشگیری و به حداقل رساندن پسماندهای متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه اولین و مهمترین مراحل در ESM در کنوانسیون بازل می باشد، که در بند ۲ ماده ۴ خود ، طرفین را به "اطمینان از کاهش حداقلی تولید زباله های خطرناک و سایر پسماندها " دعوت می کند. این بخش اطلاعات مربوط به منابع مهم زباله را فراهم می کند.

پیشگیری و به حداقل رساندن زباله برای فرآیندهای صنعتی

چندین فرآیند صنعتی با استفاده از جیوه وجود دارد. در این بخش به اقدامات پیشگیری و به حداقل رساندن ضایعات در صنایع استخراج طلا در مقیاس کوچک ، تولید مونومر وینیل کلراید و تولید کلر و سود سوزآور (کلر قلیایی) پرداخته می شود.

صنعت استخراج طلا در مقیاس کوچک (ASGM)

در این صنعت روش های استخراج طلا بدون استفاده از جیوه وجود دارد: مثل روش های وزن سنجی. مرکز فناوری معدنی (CETEM)؛ ترکیب روش های غیر جیوه ای. در مواردی که گزینه های سازمان یافته در دسترس نیستند ، باید از راه حل های موقت که منجر به تکنیک های بدون جیوه می شود استفاده شود. اینها می توانند شامل فن آوری های جمع آوری و بازیافت جیوه مانند هودهای بخار^۱ و فعال سازی مجدد جیوه و جلوگیری از پردازش های جیوه ای مانند آمالگاسیون سنگ

³ retorts and fume hoods

معدن^۲ باشد. جزئیات را می توان در منابع زیر یافت: در مواردی که گزینه های سازمان یافته در دسترس نباشند ، باید از راه حل های موقت استفاده کرد که منجر به تکنیک های بدون جیوه می شود. اینها می تواند شامل فن آوری های بازیافت و بازیافت جیوه مانند هلی کوپترها و هودهای بخار ، و فعال سازی مجدد جیوه و جلوگیری از پردازش های جیوه ای مانند ادغام سنگ معدن کامل باشد. جزئیات را می توان در منابع زیر یافت:

- (a) GMP (2006): Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners, UNIDO, Vienna, Austria, www.cetem.gov.br/gmp/Documentos/total_training_manual.pdf;
- (b) MMSD Project (2002): Artisanal and Small-Scale Mining, Documents on Mining and Sustainable Development from United Nations and Other Organizations;
- (c) UNEP (2010b): Global ASGM Forum report, <http://www.unep.org/hazardoussubstances/GlobalForumonASGM/tabid/6005/Default.aspx>;
- (d) UNEP (2011): Global Mercury Partnership Reports and Publications, <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/PrioritiesforAction/ArtisanalandSmallScaleGoldMining/Reports/tabid/4489/language/en-US/Default.aspx>;
- (e) United States EPA (2008): Manual for the Construction of a Mercury Collection System for Use in Gold Shops, <http://www.epa.gov/oia/toxics/asgm.html>.

معدن کاران صنعتگر ، خانواده های آنها و جوامع اطراف باید در این زمینه ها آموزش ببینند:

- خطرات مواجهه با جیوه و خطرات مربوط به سلامتی
 - اثرات زیست محیطی استفاده از جیوه در صنایع کوچک استخراج طلا (ASGM)
- هنگامی که آگاهی از این موضوعات افزایش یافت ، باید آموزش تکنیک ها و سیستم ها برای جلوگیری از تولید زباله ارائه شود.

تولید مونومر وینیل کلراید (VCM)

در تولید VCM با استفاده از فرآیند استیلن از کلرید جیوه به عنوان یک جز از کاتالیزور استفاده می شود. در این صنعت فرصت های پیشگیری و به حداقل رساندن زباله وجود دارد و به دو دسته اصلی تقسیم می شود:

الف) روش های تولید جایگزین و بدون جیوه

ب) مدیریت بهتر جیوه در طی فرآیند و کنترل زیست محیطی برای کاهش انتشار

ساخت VCM بدون جیوه

در این روش VCM با استفاده از انواع روش های عاری از جیوه تولید می شود که معمولاً بر اساس اکسی کلراسیون اتیلن است (The Office of Technology Assessment 1983). با وجود اینکه امروزه استفاده از روش های عاری از جیوه در سراسر جهان معمول است، اما هنوز در کشورهایی که ذغال سنگ به طور قابل توجهی از اتیلن ارزان تر است از روش استیلن استفاده می شود. (مکسون ۲۰۱۱). تلاش های جدی برای تولید کاتالیزور بدون جیوه برای فرآیند استیلن در حال انجام است. اگر آزمایش در مقیاس تجاری موفقیت آمیز باشد ، می توان طی چند سال آینده تولید بدون جیوه VCM را پیش بینی کرد (Jacobs and Johnson Matthey 2011).

³ whole-ore amalgamation

اقدامات پیشنهادی برای کاهش تولید زباله های آلوده به جیوه عبارتند از: مدیریت بهتر جیوه و کنترل محیطی برای جذب انتشارات ؛ توسعه و استفاده از کاتالیزور کم جیوه ؛ اصلاحات فناوری برای جلوگیری از تبخیر کلرید جیوه ؛ پیشگیری از مسمومیت با کاتالیزور و به تأخیر انداختن رسوب کربن برای کاهش استفاده از جیوه.

اقدامات کنترل محیطی برای جذب انتشارات جیوه عبارتند از:

- جذب توسط کربن فعال و اسیدی زدایی از طریق برج های کف و شستشو
- بازیافت و استفاده مجدد از پساب حاوی جیوه ؛ جمع آوری لجن حاوی جیوه
- بازیابی جیوه از مواد تبخیری حاوی جیوه
- بهبود کنترل انتشار در بازیافت ها و تولیدکننده های کاتالیزور

برای کسب اطلاعات بیشتر ، باید از "گزارش پروژه کاهش مصرف جیوه و انتشار در تولید پی وی سی کاربرد" (وزارت حفاظت از محیط زیست ، چین ۲۰۱۰) استفاده شود.

تولید کلر-قلیایی

از آنجا که کارخانه های سلول جیوه با فرآیندهای عاری از جیوه جایگزین می شوند ، انتشار و ضایعات جیوه از بین می رود. در تولید کلر قلیایی عاری از جیوه از فرآیندهای دیافراگم یا غشا استفاده می شود. در این میان فناوری غشایی به دلیل برق مورد نیاز کمتر، مقرون به صرفه تر است (مکسون ۲۰۱۱). اگرچه روش های سلول جیوه به تدریج در حال حذف است ، اما هنوز این فرایند در ۴۴ کشور وجود داشت (UNEP Global Mercury Partnership - Mercury Reduction in Chlor-alkalali Sector 2010) در سال ۲۰۱۰ ، تاسیسات کلر-قلیایی سلول جیوه حدود ۱۰ درصد از ظرفیت جهانی تولید کلر-قلیایی را نشان می داد. در ژاپن ، فرآیند سلول جیوه از سال ۱۹۸۶ دیگر مورد استفاده قرار نگرفت. در آغاز سال ۲۰۱۰ ، ۳۱ درصد از ظرفیت تولید کلر در اروپا مبتنی بر فناوری سلول جیوه بود. تولیدکنندگان کلر در اروپا داوطلبانه متعهد شده اند که تا سال ۲۰۲۰ همه تاسیسات سلولهای جیوه ای کلر-قلیایی را تعویض یا تعطیل کنند (یورو کلر ۲۰۱۰). در ایالات متحده ، استفاده از فرآیند سلول جیوه در سال ۱۹۹۶ از ۱۴ کارخانه به ۵ تاسیسات در سال ۲۰۰۷ کاهش یافت (موسسه کلر ۲۰۰۹). براساس اطلاعات شورای جهانی کلر ، زباله های جامد تاسیسات کلر-قلیایی در اروپا به ۴۳۲۹۳ تن در ۲۰۰۹ گزارش گردید. اگر آمریکای شمالی ، هند ، روسیه ، برزیل ، آرژانتین و اروگوئه هم در این محاسبات وارد شود ، تولید کل زباله از این بخش در سال ۲۰۰۹ ۶۹۹۵۴ تن گزارش می شود. مقدار زباله تولید شده توسط سایر تاسیسات کلر-قلیایی در سراسر جهان گزارش نشده است.

زباله های آلوده به جیوه حاصل از تاسیسات کلر-قلیایی ممکن است شامل لجن های نیمه جامد ، آب نمک ، گرافیت و کربن فعال حاصل از تصفیه گاز و بقایای جیوه در مخازن باشد. علاوه بر نظارت بر نشت های احتمالی و نگهداری مناسب ، کاهش تبخیر جیوه و کنترل بهتر انتشار جیوه و بازیابی جیوه از فاضلاب و گرافیت و کربن از تصفیه گاز دودکش می تواند تولید زباله را کاهش دهد. برای کسب اطلاعات بیشتر ، باید از اسناد یا وب سایت زیر استفاده کنید:

(الف) کمیسیون اروپا (۲۰۰۱): سند مرجع پیشگیری و کنترل آلودگی در مورد بهترین تکنیک های موجود در صنعت تولید کلر-قلیایی [که در حال به روز رسانی است].

(ب) بخش کلرکالی مشارکت جهانی جیوه:

<http://www.unep.org/hazardoussubst/mercury/interimactivities/partnerships/chloralkali/sec>
 (tor/tabid/3560/language/fa-US/Default.aspx) وبسایت شامل بیش از ۲۰ دستورالعمل برای این صنعت است).

کاهش و جلوگیری از تولید پسماند در محصولاتی با جیوه افزوده شده

معرفی گزینه های عاری از جیوه و ممنوعیت محصولات دارای جیوه روش های مهمی برای جلوگیری از تولید مواد زائد حاوی جیوه است. همچنین تعیین حداکثر محدودیت ها برای محتوای جیوه در محصولات به کاهش تولید زباله های حاوی جیوه کمک می کند. اگر گزینه های بدون جیوه در دسترس نباشند، می توان از طریق خرید سبز جایگزینی محصولات دارای جیوه با گزینه های دارای جیوه کمتر را تسهیل کرد.

در جاهایی که هنوز محصولات حاوی جیوه استفاده می شود، ایجاد یک سیستم بسته ایمن نیاز است. باید از آلودگی سایر محصولات با روش های زیر جلوگیری شود:

الف) محصولات بدون جیوه

ب) تعیین حداکثر محتوای جیوه در محصولات

ج) تدارکات

مواد زائد حاوی جیوه باید جدا جمع آوری شود و سپس جیوه باید از پسماندها بازیابی شده، برای تولید مجدد (به جای استفاده از جیوه اولیه) استفاده شود و یا به شیوه ای سازگار با محیط زیست دفع شود (شکل ۳- را ببینید).

مسئولیت گسترده تولید کننده گسترده (EPR) باید به عنوان ابزاری برای تشویق تولید محصولات بدون جیوه یا حاوی جیوه کمتر و جمع آوری محصولات در پایان عمر استفاده شود.

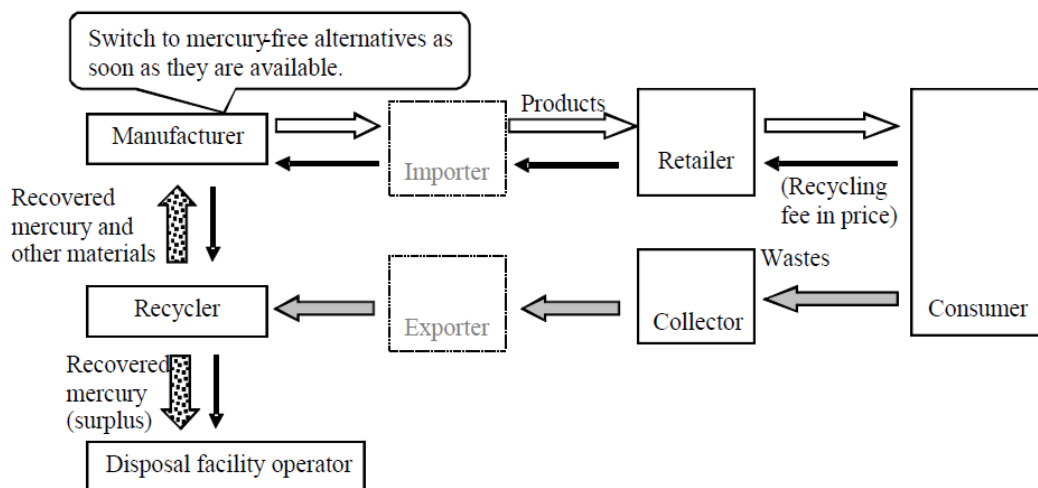


Figure -3 Closed System for Utilization of Mercury

الف) محصولات بدون جیوه

۹۹. جایگزینی جیوه در محصولات به عواملی مانند هزینه محصول، تأثیر بر سلامت انسان و محیط زیست، فناوری، سیاست های دولت و عوامل اقتصادی بستگی دارد. انواع مختلف گزینه های بدون جیوه در حال حاضر موجود است. اطلاعات دقیق در مورد گزینه های بدون جیوه در منابع زیر موجود است:

(الف) گزارش در مورد فرآورده ها و فرآیندهای اصلی حاوی جیوه، جایگزین ها و تجربه آنها در روی آوردن به محصولات و فرآیندهای بدون جیوه (UNEP 2008b).

(ب) گزینه هایی برای کاهش استفاده از جیوه در محصولات و برنامه ها، و سرنوشت جیوه که در حال حاضر در جامعه جریان دارد (کمیسیون اروپا ۲۰۰۸).

(ج) تحقیق در مورد گزینه های جایگزین محصولات حاوی جیوه، تهیه شده برای اداره حفاظت از محیط زیست ماین (گالیگان و همکاران، ۲۰۰۳) مرکز Lowell برای تولید پایدار، دانشگاه Lowell, MA, ۲۰۰۳، <http://www.maine.gov/dep/mercury/lcspfinal.pdf>.

ب) تنظیم حداکثر محدودیت های محتوای جیوه در محصولات

محدودیت های محتوای جیوه در محصولات، تا زمانی که بتوان آنها را به طور کل ممنوع کرد باید ادامه یابد. تا به تدریج منجر به استفاده کمتر از جیوه در مرحله تولید گردد. این امر به نوبه خود منجر به انتشار کمتر جیوه در کل چرخه عمر محصول می شود. تنظیم حداکثر محتوای جیوه در محصولات می تواند از طریق الزامات قانونی یا اقدامات داوطلبانه تحت برنامه مدیریت محیطی/ جیوه که توسط بخش صنعت اعلام شده است، انجام شود. همانطور که قبلاً گفته شد، الزامات قانونی برای حداکثر میزان جیوه در هر واحد برای باتریها و لامپهای فلورسنت در اتحادیه اروپا برای هر دو محصول و در چندین ایالت ایالات متحده آمریکا برای مورد اول ایجاد شده است. در ژاپن، حداکثر محدودیت های جیوه در لامپهای فلورسنت توسط انجمن صنفی مربوطه و محدودیتهایی به عنوان ملاک در انتخاب لامپهای فلورسنت برای خرید سبز توسط دولت اتخاذ شده است.

به منظور کاهش استفاده از جیوه در لامپهای فلورسنت، تولیدکنندگان فناوری های خاص خود را برای اطمینان از در نظر گرفتن مقدار ثابت جیوه در هر لامپ ایجاد کرده اند حداقل و مقدار لازم جیوه متناسب با عملکرد مورد نیاز هر نوع لامپ وجود دارد. نمونه هایی از روش های تزریق مقادیر دقیق جیوه در لامپ ها شامل استفاده از جیوه است آمالگام، گلوله آلیاژی جیوه، حلقه آلیاژ جیوه و کپسول جیوه به جای تزریق جیوه عنصری (وزارت محیط زیست، ژاپن ۲۰۱۰).

استفاده از روش دوزی کردن آمالگام جیوه نسبت به استفاده از جیوه عنصری در لامپهای فلورسنت (CFLs) و انواع دیگر لامپ های دارای جیوه دارای مضرات کمتر و کارایی بهتری است. در واقع مزیت آن به حداقل رساندن میزان مواجهه کارگران و مصرف کنندگان همچنین انتشارات محیطی - بخار جیوه هنگام تولید، حمل و نقل، نصب، ذخیره سازی و بازیافت و دفع (به ویژه هنگام شکسته شدن لامپ) است. علاوه بر این، این روش دقیق دوز کردن، تولیدکنندگان را قادر می سازد CFL های حاوی سطح بسیار پایین جیوه (دو میلی گرم) با بازده و طول عمر بالا تولید کنند.

ج) تدارکات

تدارکات هر سازمان به منظور ترویج استفاده از محصولات فاقد جیوه و یا محصولات حاوی جیوه کمتر، باید به خرید محصولات به بدون جیوه تشویق شوند. روشهای خرید باید "خرید محصولات بدون جیوه" و "خرید محصولاتی که محتوای جیوه آنها به

حداقل رسیده باشد" باشد، مگر در موارد معدودی که گزینه های جایگزین بدون جیوه از نظر عملی یا از نظر فنی در دسترس نباشند. استفاده کنندگان بیشتر از محصولات جیوه اضافه شده، مانند نهادهای دولتی و مراکز درمانی، می توانند با اجرای برنامه های خرید سبز، نقش مهمی در تحریک تقاضا برای محصولات عاری از جیوه داشته باشند. در برخی موارد، می توان از مشوق های مالی برای تشویق برنامه های خرید سبز استفاده کرد. به عنوان مثال، برخی از ایالت های ایالات متحده برای خرید دماسنج های بدون جیوه یارانه پرداخت کرده اند.

افزایش مسئولیت و پاسخگویی تولید کننده

افزایش مسئولیت و پاسخگویی تولید کننده (EPR) به عنوان "یک رویکرد زیست محیطی تعریف می شود که در آن مسئولیت تولید کننده برای یک محصول به مرحله پس از مصرف چرخه عمر محصول گسترش یابد".

"تولید کننده" مالک یا صاحب برند محسوب می شود، مگر در مواردی مانند بسته بندی کالا و در شرایطی که صاحب نام تجاری به وضوح مشخص نباشد، مانند محصولات الکترونیکی، سازنده و وارد کننده به عنوان تولید کننده در نظر گرفته می شود (OECD, 2001a). برنامه های EPR مسئولیت مدیریت پایان عمر محصولات را به تولیدکننده ای منتقل می کنند و انگیزه هایی را برای تولیدکنندگان فراهم می کنند تا ملاحظات زیست محیطی را در طراحی محصولات خود لحاظ کنند. هزینه های طراحی های زیست محیطی و دفع ضایعات محصول، در قیمت تمام شده محصول لحاظ می شود. EPR را می توان از طریق رویکردهای اجباری، مذاکره ای یا داوطلبانه پیاده سازی کرد.

برنامه های EPR، بسته به نوع طراحی آنها، می توانند به تعدادی از اهداف دست یابند:

- ۱) دولت های محلی را از بار مالی و در برخی موارد از بار عملیاتی دفع مواد زائد محصولات خلاص کند.
- ۲) تشویق تولید کننده ها به طراحی محصولات با استفاده مجدد، بازیافت و کاهش مواد (از نظر کمیت و سمیت)
- ۳) هزینه های مدیریت پسماند را در قیمت محصول لحاظ شود.
- ۴) ترویج نوآوری در فن آوری بازیافت و ترویج انعکاس تأثیرات زیست محیطی محصولات (OECD 2001a).

شرح مفصل برنامه های EPR در چندین نشریه OECD موجود است.

مقامات زیست محیطی باید چارچوب های نظارتی را تعیین کنند که ذینفعان مربوطه، استانداردهای مربوط به محتوای جیوه و مدیریت محصولات و اجزای برنامه های EPR را تعیین کرده و تولیدکنندگان و مردم را به مشارکت در این امر تشویق کنند. آنها همچنین باید بر عملکرد EPR (برنامه های مثل مقدار پسماند جمع شده، مقدار جیوه بازیابی شده و هزینه های جمع آوری شده، بازیافت و ذخیره سازی) نظارت داشته باشند و در صورت لزوم تغییراتی را توصیه نمایند. به عنوان مثال، در اتحادیه اروپا، لامپ های فلورسنت از جمله CFL یکی از محصولاتی است که مطابق با الزامات بخشنامه تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (WEEE) است. دستورالعمل WEEE به مسئولیت تولیدکننده در مورد مدیریت چرخه حیات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی اشاره دارد که جیوه را نیز شامل می شود. نمونه های دیگر شامل برنامه EPR برای باتری در اتحادیه اروپا، لامپ های فلورسنت و باتری در جمهوری کره است.

فصل هفتم:

مدیریت پسماندهای حیوه

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. تجهیزات یا اشیاء حاوی جیوه که در یک برنامه طولانی نیاز نباشند، باید مطابق با برنامه های مدیریت پسماند خطرناک ارزیابی شود. تجهیزات یا اشیاء مشخص شده به عنوان پسماندهای خطرناک باید برچسب زده شده و برای حمل و نقل و دفع از طریق برنامه مدیریت پسماندهای خطرناک آماده گردد. باید برنامه دفع نهایی مواد و پسماندهای خطرناک، و تمیز کردن و پاک سازی دستگاه ها، تجهیزات و امکانات را مستند کرد. طرح دفع باید قبل از خرید مواد و یا شروع نهایی فعالیت های پروژه برنامه ریزی گردد. بایستی از ذخیره سازی موقت پسماندهای حاوی جیوه با شیوه ای سازگار با محیط زیست اطمینان حاصل شود. تمامی مفاد کنوانسیون بازل مبنی بر کنترل دفع مواد زائد خطرناک باید در خصوص پسماندهای حاوی جیوه نیز اعمال گردد. برای جمع آوری پسماندهای جیوه بایستی از دستکش، روپوش و ماسک های هوارسان مناسب استفاده گردد. کلیه قطرات جیوه موجود در حوضچه ها بایستی با استفاده از پمپ مکنده و بطری آسپراتوری دارای لوله موئینه جمع آوری شود. جیوه آلوده شده باید در داخل یک بطری با سرپوش محکم قرار داده و جهت بازیافت مجدد جیوه به تولید کننده ارسال گردد. ترکیبات جیوه برای بازیافت یا امحاء در داخل ظروف جداگانه برچسب دار در محل مخصوص پسماندهای خطرناک، قرار داده شود. سمیت جیوه آنقدر است که این عنصر و ترکیباتش نباید هوا و آب را آلوده کنند. دستکش بوتیل رابر، روپوش و تجهیزات حفاظت از تنفسی هوارسان پوشیده شود. کلیه قطرات و حوضچه های جیوه با استفاده از یک پمپ مکنده و بطری آسپراتوری دارای لوله موئینه جمع آوری شود.

برنامه ریزی مدیریت پسماندهای جیوه

اهداف مدیریت ایمن پسماندهای حاوی جیوه، به حداقل رساندن مواجهه ی افراد جامعه با جیوه و جلوگیری از آلودگی محیط زیست است. برای تحقق این اهداف، داشتن یک برنامه مدیریت پسماندهای جیوه ضروری است. این برنامه شامل:

- آگاهی بخشی و آموزش عمومی جامعه
- نگهداری مناسب از تجهیزات دارای جیوه، کالیبراسیون و روش های بی خطر سازی
- برچسب زدن و جمع آوری مناسب پسماندهای حاوی جیوه: جداسازی جیوه از پسماندها و جمع آوری آن در ظروف مناسب و برچسب زنی
- مدیریت نشت و ریخت و پاش های جیوه: استفاده از کیت های جمع آوری ریخت و پاش (spill kits)، همراه با آموزش مداوم کارکنان
- طرح های جمع آوری پسماندهای حاوی جیوه: رویه های مربوط به نگهداری و ذخیره سازی موقت و حمل و نقل پسماندهای حاوی جیوه
- استراتژی های مدیریتی خارجی: امکان بازگشت تجهیزات جیوه ای استفاده شده یا منسوخ شده به فروشندگان و امکانات بازیافت جیوه
- روش های حمل و نقل، بی خطر سازی و دفع مناسب

برنامه ها و سیاست های مدیریت پسماندهای حاوی جیوه همچنین باید موارد اساسی زیر را در نظر بگیرد:

- اطمینان از اینکه همیشه یک اپراتور آموزش دیده در زمینه پاکسازی جیوه ، در دسترس است.
- اطمینان از اینکه تجهیزات حفاظت شخصی همیشه برای کارکنان پاکسازی در دسترس است.
- آموزش همه کارکنان در مورد چگونگی پاسخگویی در حوادث نشت جیوه ، چگونگی تأمین امنیت در صورت نشت جیوه ، و اینکه چه کسی نشت را گزارش نماید.
- دستورالعمل های تخلیه افراد در حوادث نشت جیوه قبل از پاکسازی
- دستورالعمل ها و اقدامات مورد نیاز در شرایط اضطراری و حوادث ناشی از ریخت و پاش جیوه
- رهنمودهایی که مشخص می کند که بعد از حادثه چه موقع یک اتاق "به اندازه کافی تمیز" و قابل استفاده مجدد است.
- تهیه گزارش حادثه شامل شرح نشت ، پاکسازی و پیگیری
- مستندات آموزش عمومی کارکنان و کارمندان متخصص در پاکسازی جیوه؛ مستندات مربوط به هر حادثه: استفاده از مستندات برای ارزیابی علل بروز حوادث، اثربخشی پاسخ ها ، نظارت پزشکی بر افراد در معرض جیوه ، اقدامات پیشگیرانه و گزارش منظم نتایج به مدیریت ضروری است.

• گروه های در معرض خطر پسماندهای حاوی جیوه در مراکز پزشکی

همه افراد در تماس با پسماندهای جیوه، بطور بالقوه در معرض خطر هستند. این افراد شامل کارکنان مراکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی و درمانی که پسماند پزشکی ویژه را تولید می کنند، نظافتچی ها و کادر خدماتی مسئول جمع آوری و انتقال پسماند داخل مرکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی و درمانی، متصدیان و کارگران مدیریت پسماند نظیر کارکنان شاغل در حمل و نقل، بی خطر سازی و دفع پسماند خارج از مرکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی و درمانی، بیماران، عیادت کنندگان و عموم مردم می باشند.

گروه های اصلی در معرض خطر پسماندهای حاوی جیوه را می توان بصورت زیر دسته بندی کرد:

- پزشکان، پرستاران، بهیاران و دیگر کارکنان بیمارستان
- بیماران در مراکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی درمانی
- عیادت کنندگان در مراکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی درمانی
- کادر خدماتی در مراکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی درمانی نظیر نظافت چی ها، کارگران جمع آوری کننده و انتقال دهنده پسماند پزشکی
- کارگران شاغل در مدیریت پسماند خارج از مرکز ارائه دهنده خدمات بهداشتی درمانی همچنین از خطرات مرتبط با منابع پراکنده و کوچک پسماند پزشکی نباید چشم پوشی کرد.

• خطرات مرتبط با عدم مدیریت پسماندهای حاوی جیوه در مراکز

عدم مدیریت پسماندهای حاوی جیوه خطرات زیادی برای کارکنان ارائه دهنده خدمات ،کارگران شاغل در مدیریت پسماند، بیماران و عموم مردم ایجاد می کند. بیماری های متعددی می تواند در نتیجه تماس با این نوع پسماند ایجاد شود. علاوه بر

این مدیریت نادرست پسماند جیوه مشکلات حادی نیز برای محیط زیست ایجاد می نمایند که بصورت غیرمستقیم بر سلامت انسان موثر است. در نگهداری و ذخیره سازی پسماندهای حاوی جیوه باید وزن ، میزان تحرک و نوسانات بالای جیوه ، توانایی تشکیل آلیاژ با سایر فلزات ، اثرات بهداشتی حاد (خطرات شدید استنشاقی، ایجاد سوزش، خطرات چشمی و توانایی جذب پوستی جیوه) و اثرات بهداشتی مزمن ناشی از مواجهه با غلظت های کم آن در نظر گرفته شود.

• خطرات زیست محیطی پسماندهای حاوی جیوه

علاوه بر خطرات بهداشتی ناشی از تماس مستقیم، عدم مدیریت پسماندهای حاوی جیوه با آلوده کردن منابع آب از طریق تصفیه و دفع غیراصولی و هوا از طریق پسماند سوزی غیر استاندارد اثرات شدیدی بر سلامت انسان و محیط زیست خواهد داشت. وقتی پسماندهای حاوی جیوه در یک گودال بدون پوشش یا بسیار نزدیک به منابع آبی دفع می شوند، منابع آب از طریق نشت شیرابه آلوده می گردند. در مواردی که پسماند پزشکی بصورت روباز یا در پسماند سوزهای بدون دستگاه های کنترل آلودگی هوا سوزانده می شوند که این شرایط در اغلب پسماند سوزهای کشورهای در حال توسعه وجود دارد، بخارات و ترکیبات جیوه سمی تولید شده و وارد هوا می شوند که استنشاق این آلاینده ها، بیماری های خطرناکی در انسان ایجاد می کند.

• ذخیره سازی موقت پسماند جیوه در مراکز:

نکات کلی زیر باید در زمینه طراحی محل ذخیره موقت پسماندهای حاوی جیوه رعایت شود:

○ آماده سازی محل:

- فضای ذخیره سازی باید در منطقه ای با دسترسی محدود و امن قرار داشته باشد. اگر فضای ذخیره سازی در یک ساختمان چند منظوره باشد ، باید یک اتاق دارای قفل یا یک فضای پارتیشن بندی شده و دارای قفل در نظر گرفته شود.
- فضای ذخیره سازی باید به راحتی در دسترس پرسنلی باشد که مجاز به جمع آوری، ذخیره و حمل پسماند هستند.
- دریچه خروجی از فضای انبار نباید هوای داخل را به سمت مناطق شلوغ هدایت کند و باید از دریچه های ورودی هوا فاصله داشته باشد.
- حجم جیوه و پسماند های حاوی جیوه برای ذخیره سازی تخمین زده شود و از این مقدار برای تعیین حداقل اندازه فضای ذخیره سازی و اندازه ظروف استفاده شود. (به پیوست ب مراجعه کنید)
- پسماندهای حاوی جیوه باید از پسماند های عادی ، پسماند های عفونی و سایر انواع پسماند ها جدا شوند.

○ الزامات طراحی فضای ذخیره سازی:

فضای ذخیره سازی باید دارای موارد زیر باشد:

- سقف و دیواره که پسماند را در برابر آب و هوا ، حشرات و حیوانات دیگر محافظت کند. سقف شیب دار برای تخلیه آب باران به دور از محل ترجیح داده می شود.
- کف ساختمان از موادی ساخته شده باشد که صاف و غیر قابل نفوذ در برابر جیوه باشد.
- اگر در محل ذخیره سازی آبراهه وجود داشت، باید دارای یک زانویی باشد که به راحتی قابل تعویض باشد تا در صورت نشت جیوه ، جیوه را گیر انداخته و جمع آوری کند.

- برای جلوگیری از سرقت باید فضای انبار قفل شود.

سیستم های تهویه نباید هوای داخل مناطقی که برای ذخیره موقت جیوه عنصری یا ترکیبات جیوه استفاده می شوند را به سایر قسمت های مرکز بهداشتی و درمانی و محل های عمومی انتقال دهند. آنها باید سیستم های تهویه مجزا داشته باشند یا مستقیماً هوا را به بیرون از مرکز بهداشتی درمانی منتقل کند. در حالت ایده آل ، از سیستم های تصفیه کننده در هوای خروجی از محل ذخیره موقت پسماند جیوه استفاده شود تا هرگونه بخار، ذرات و گرد و غبارهای جیوه را جمع آوری کنند. راهنمایی های ایجاد شده توسط برنامه توسعه ملل متحد (UNDP، ۲۰۱۰) برای پسماندهای جیوه تولید شده توسط مراکز درمانی ، مشاوره مفصلی را ارائه می دهد که می تواند توسط بسیاری از مراکز استفاده شود.

- فضای ذخیره سازی باید دارای موانعی در کف باشد یا صفحه های مهار نشستی که به طور مستقیم در زیر ظروف پسماند قرار می گیرند تا از پخش شدن جیوه در صورت نشت جلوگیری کند. حجم ایجاد شده توسط موانع کف یا حجم صفحه ها باید حداقل ۱۲۵ درصد از حجم کل جیوه مایع ذخیره شده باشد.

- تجهیزات حفاظت فردی ، کیت های ریخت و پاش و محل شست و شو باید در نزدیکی محل ذخیره سازی (اما نه در محل ذخیره سازی) و در دسترس پرسنل قرار داشته باشد.

- فضای ذخیره سازی باید خنک و خشک نگه داشته شود (در حالت ایده آل دمای زیر ۲۵ درجه سانتیگراد برای به حداقل رساندن میزان تبخیر و رطوبت نسبی کمتر از ۴۰٪ برای به حداقل رساندن خوردگی ظروف و قفسه های استیل).

- درهای ورودی و خروجی فضای ذخیره سازی باید با علائم هشدار دهنده مانند "خطر: پسماند خطرناک حاوی جیوه" و نماد مجمله و خطوط متقاطع برای پسماند های سمی مشخص شود.

- ظروف پسماند باید با عنوان "پسماند خطرناک حاوی جیوه" همراه با توضیحات و تاریخ اولیه ذخیره سازی ، برچسب گذاری شود.

• ذخیره سازی:

- جیوه عنصری باید با دقت در ظروف مناسب مانند موارد مشخص شده در توصیه های سازمان ملل متحد در مورد حمل و نقل کالاهای خطرناک: مقررات مدل (سازمان ملل ، ۲۰۱۷) بسته بندی شود. ترکیبات جیوه جامد باید در ظروف در بست مانند بشکه یا سطل هایی با درب مناسب یا در ظروف مخصوص ساخته شده که بخار جیوه را آزاد نمی کند ، ذخیره شود. نوع ظرف ذخیره سازی مورد استفاده بستگی به این دارد که مواد مورد نظر برای ذخیره سازی جیوه عنصری باشد یا جیوه ترکیبی . جیوه عنصری در دمای اتاق مایع است ، در حالی که بیشتر ترکیبات جیوه جامد هستند. اشکال مختلف جیوه به انواع مختلفی از ظروف نگهداری نیاز دارند. ظروف و بسته های نگهدارنده جیوه یا ترکیبات جیوه را نباید در کنار سایر ظروف قرار داد. ظروف و بسته ها باید در مکانی خشک و امن مانند انبار یا فضای دیگری که معمولاً مورد رفت و آمد عموم نیست، برچسب گذاری و ذخیره شوند.

ظروف جمع آوری پسماند جیوه باید معیارهای زیر را داشته باشد:

الف) پسماند جیوه نباید به موادی که قبلاً در کانتینر ها جمع آوری شده آسیب برساند و یا حاوی موادی باشد که با جیوه یا ترکیبات جیوه واکنش منفی نشان دهد.

ب) تمامیت ساختاری آنها باید دست نخورده باشد.

ج) ظروف جمع آوری پسماند نباید دچار خوردگی شود.

د) برای جلوگیری از خوردگی ، آنها باید دارای یک پوشش محافظ (رنگ) باشند.

ه) آنها باید از نظر گاز و مایعات آب بند باشند.

✓ مواد مناسب برای ساخت ظروف جیوه شامل کربن (حداقل ASTM A36) و فولاد ضدزنگ (AISI 304 یا L316) (EU, 2010) می باشد که در دمای محیط با جیوه واکنش نمی دهند. تا زمانی که جیوه مطابق با استانداردها جیوه عنصری ذخیره می شود و هیچ آب در داخل ظرف وجود ندارد هیچگونه پوشش محافظی برای سطح داخلی این ظروف لازم نیست. روکش های محافظ (مانند رنگ اپوکسی یا آبکاری) باید روی کلیه سطوح خارجی ظروف فلزی و کربن به شکلی اعمال شود که هیچگونه تماسی بین محفظه و جیوه وجود نداشته باشد. روکش ها باید به شکلی استفاده شوند که برجستگی ها ، لایه برداری و ترک خوردگی به حداقل برسد. برخی از پلاستیک ها ، مانند پلی اتیلن با چگالی بالا HDPE، نسبت به بخارهای جیوه قابل نفوذ هستند و باید از استفاده از آنها در ساخت ظروف نگهداری پسماند جیوه خودداری کرد. برای از بین بردن خطر نشت از درزها ، ظروف یکپارچه توصیه می شوند.

✓ ظروف مورد تأیید بین المللی برای ذخیره سازی و حمل و نقل پسماند جیوه دو نوع هستند: ظروف حمل ۳۴/۵ کیلوگرمی و ظروف یک تنی (QSC, 2003). همانطور که در فصل های ۶,۱,۵,۳ و ۶,۱,۵,۴ توصیه های سازمان ملل درباره حمل و نقل کالاهای خطرناک توضیح داده شده است (کتابچه راهنمای آزمایش و معیارها (EU, 2011)، در طراحی و ساخت کانتینرها باید تست قطره و تست مقاومت در برابر نشت انجام شود. برای حمل مقادیر کمتر جیوه ، از اندازه های دیگر (به عنوان مثال ۱-۸ کیلوگرم) و بسته بندی (به عنوان مثال ، پلی اتیلن ، شیشه) استفاده می شود (QSC, 2003).

✓ هنگام ذخیره جیوه در ظروف ، مهم است که مقداری "فضای آزاد" در ظرف در نظر بگیرید تا چرخش هوا فراهم شود. در دستورالعمل اتحادیه اروپا ، حداکثر فضای پر شده یک ظرف ۸۰ درصد از حجم کل است و بنابراین فضای آزاد حداقل ۲۰ درصد است (EU, 2011). سایر دستورالعمل ها حداکثر فضای پر شده ظرف ۸۵ درصد و فضای آزاد را ۱۵ درصد در نظر گرفته اند.

✓ هنگامی که جیوه ذخیره می شود ، باید تا حد امکان خالص باشد تا از واکنش های شیمیایی و تخریب ظروف جلوگیری شود. مقدار خلوص جیوه بیشتر از ۹۹/۹ درصد وزن توصیه می شود. برای سطح خلوص پایین تر (۹۵/۹ درصد وزن درصد) ، ممکن است لازم باشد تمهیداتی برای ظرف در نظر گرفته شود، تا از هرگونه تخریب جلوگیری شود.

○ هنگامی که جیوه عنصری به منظور ذخیره سازی موقت در محل نگهداری می شود ، باید یک عامل خنثی کردن بخار جیوه یا آب به ظرف اصلی اضافه شود تا در هنگام اضافه کردن جیوه از کارگران محافظت کند. کارگران باید از PPE شامل وسایل حفاظت تنفسی استفاده کنند.

○ نوع ضایعات جیوه و تاریخ ذخیره سازی آن روی ظرف اولیه ذخیره سازی جیوه باید مشخص باشد.

○ هنگامی که جیوه به صورت موقت ذخیره می شود ، باید یک محفظه ثانویه وجود داشته باشد که مانع از انتشار بخار جیوه شود. اگر ظرف ثانویه شفاف نبود یا برچسب موجود در ظرف اصلی دیده نشد ، یک برچسب نیز باید خارج از ظرف ثانویه قرار گیرد.

○ ظروفی که برای جمع آوری پسماندهای حاوی جیوه مورد استفاده قرار می گیرند باید در بالای یک سینی یا صفحه پلاستیکی کنترل نشت قرار گیرند تا در حین پر شدن، هرگونه سرریز احتمالی را جمع آوری کند. حجم سینی باید از کل حجم جیوه مایع ذخیره شده در ظرف بیشتر باشد.

○ ذخیره سازی تجهیزات آسیب دیده دارای جیوه:

- تجهیزات شکننده دارای جیوه (به عنوان مثال، دماسنج ها و فشار سنج ها)، باید به شکلی نگهداری شوند که احتمال شکستگی را کاهش می دهد.
- از آنجا که ممکن است تجهیزات دارای جیوه در حین نگهداری یا حمل و نقل شکسته شود، کانتینر اصلی باید مقاوم در برابر سوراخ شدن و نفوذ هوا باشد و یا اینکه حین حمل و نقل در جعبه های منفرد قرار داده شوند.
- به عنوان یک اقدام ایمنی، در صورت خراب شدن تجهیزات دارای جیوه، محافظه اولیه را باید در یک ظرف ثانویه قرار دهید که از انتشار بخار جیوه جلوگیری شود. اگر ظرف ثانویه شفاف نبود یا برچسب موجود در ظرف اصلی دیده نمی شد، یک برچسب نیز باید خارج از ظرف ثانویه قرار گیرد.
- پسماند های آلوده به جیوه که شامل شیشه های شکسته یا موارد دیگر با لبه های تیز هستند (به عنوان مثال دماسنج های شکسته) باید در یک ظرف اصلی قرار بگیرند که مقاوم و نفوذناپذیر در برابر هوا باشد. به عنوان یک اقدام ایمنی اضافی، کانتینر اصلی باید در یک ظرف ثانویه قرار گیرد که بیشتر از انتشار بخار جیوه جلوگیری شود.
- پسماند های آلوده به جیوه که حاوی لبه های تیز نیستند و یا هنگام خرد شدن شکسته نمی شوند و ایجاد لبه های تیز و برنده نمی کنند (به عنوان مثال دستمال آلوده، حوله های کاغذی یا تکه های فرش) باید در یک ظرف اولیه قرار گیرند. به عنوان یک اقدام ایمنی اضافی، کانتینر اصلی باید در یک ظرف ثانویه قرار گیرد که بیشتر از انتشار بخار جیوه جلوگیری شود.
- ظرف اولیه باید با یک برچسب حاوی اطلاعاتی نظیر نوع ضایعات جیوه، مقدار تخمین زده شده، تاریخ قرارگیری مواد در ظرف و در صورت لزوم توضیحات اضافی مشخص شود. اگر ظرف ثانویه شفاف نبود یا برچسب موجود در ظرف اصلی دیده نمی شد، یک برچسب نیز باید خارج از ظرف ثانویه قرار گیرد.

ذخیره سازی موقت آمالگام در مطب های دندانپزشکی:

در مطب های دندان پزشکی که آمالگام جیوه به صورت موقت ذخیره می شود رعایت موارد زیر ضروری است:

- از یک ظرف یا کانتینر اولیه که به آسانی قابل باز کردن، شست و شو، ضد نشت و نفوذناپذیر نسبت به هوا باشد، برای ذخیره موقت آمالگام استفاده شود.
- یک ماده خنثی کننده بخار جیوه یا آب در ظرف ذخیره موقت وجود داشته باشد.
- برچسب گذاری ظرف و درج اطلاعاتی نظیر نوع ضایعات جیوه و تاریخی که آمالگام جیوه برای اولین بار در ظرف قرار داده شده است.
- استفاده از یک کانتینر ثانویه به عنوان یک اقدام ایمنی اضافی که از انتشار بخار جیوه جلوگیری می کند. اگر ظرف ثانویه شفاف نبود یا برچسب موجود در ظرف اصلی دیده نمی شد، یک برچسب نیز باید خارج از ظرف ثانویه قرار گیرد.

ذخیره سازی موقت لامپ های فلورسنت:

- در هنگام ذخیره سازی لامپ های فلورسنت بدون شکستگی به صورت موقت در مراکز بهداشتی و درمانی باید موارد زیر مد نظر گرفته شود:
 - یک ظرف اولیه که مانع از شکسته شدن لامپ می شود، ترجیحا جعبه اصلی که لامپ ها در آن حمل شده اند، جعبه ای با آستر آب بندی شده و مقاوم در برابر بخار مانند آستر پلاستیکی یا فویل پیشنهاد می شود. در غیر این صورت می توان از جعبه بلند یا جعبه دیگر متناسب با شکل لامپ استفاده کرد.
 - یک ظرف ثانویه، مانند یک ورق پلاستیکی، به عنوان یک اقدام ایمنی اضافی که از انتشار بخارات جیوه جلوگیری می کند، استفاده کنید. اگر ظرف ثانویه شفاف نبود یا برچسب موجود در ظرف اصلی دیده نمی شد، یک برچسب نیز باید خارج از ظرف ثانویه قرار گیرد.
 - اگر لامپ های فلورسنت در بسته بندی اصلی خود، در درام یا ظرف داخلی لامپ فلورسنت تأیید شده توسط UN یا در جعبه با آستر مقاوم در برابر بخار باشد، به ظروف ثانویه نیازی نیست.
- لامپ های فلورسنت شکسته باید به عنوان پسماند های حاوی جیوه ذخیره سازی شوند.

نکات عمومی حین ذخیره سازی موقت پسماند جیوه در مراکز:

- کلیه پرسنل درگیر در جمع آوری، ذخیره سازی، حمل و نقل و نظارت بر ضایعات جیوه باید آموزش های ویژه در مورد مدیریت پسماندهای حاوی جیوه از جمله پاکسازی نشت را دریافت کنند.
- برگه اطلاعات ایمنی مواد و کارت های ایمنی شیمیایی بین المللی در مورد جیوه باید در دسترس کارمندان باشد و در طول جلسات آموزشی مورد بحث قرار گیرد. (به پیوست مراجعه کنید)
- فضای ذخیره سازی باید هر ماه مورد بازرسی قرار بگیرد تا نشتی، ظروف خورده شده یا شکسته، روش های نادرست ذخیره سازی، تهویه، وضعیت PPE و منطقه شست و شو، محتویات کیت ریخت و پاش بررسی شود و سوابق و گزارشات به روز باشد. باید به پسماند هایی که پتانسیل تولید بالاترین غلظت بخار جیوه را دارند نظیر فشارسنج ها توجه بیشتری شود.
- در فضای ذخیره سازی و اطراف آن سیگار کشیدن یا غذا خوردن ممنوع است.
- سوابق موجودی در مورد انواع پسماندهای حاوی جیوه، توضیحات، مقادیر انبار و تاریخ های اولیه ذخیره سازی باید ثبت و نگهداری شود.

مثل هایی از ذخیره سازی موقت پسماندهای حاوی جیوه در مراکز بهداشتی و درمانی:

موارد زیر نمونه هایی از ذخیره سازی قابل قبول بر اساس دستورالعمل فوق است.

مثال ۱: بیمارستان الف

- بیمارستان الف تصمیم می گیرد که زیرزمین مکان مناسبی برای ذخیره موقت پسماند جیوه است، محل تردد بیماران و عیادت کنندگان نیست و به راحتی در دسترس پرسنل درگیر در ذخیره جیوه است.

بیمارستان الف حجم پسماندهای حاوی جیوه خود را به صورت زیر تخمین می زند:

۱۰۰۰ عدد دماسنج نشکسته ، ۲۰ عدد فشار سنج، ۵۰۰ عدد دماسنج شکسته ، ۳۵۰ لیتر پسماند حاصل از نظافت و شست و شو ، ۴۰ میلی لیتر جیوه عنصری ، ۱/۵ لیتر آمالگام بخش دندانپزشکی و لامپ های فلورسنت ۱۲۶۰ خطی T8 (طول ۱۲۰۰ میلی متر)

براساس محاسبات با استفاده از مقادیر فوق ، طرح ذخیره سازی به شرح زیر است:

- ۱۰۰۰ عدد دماسنج (نشکسته) با دقت در یک کیسه پلاستیکی پیچیده و چسبانده می شوند تا یک حجم جمع و جور در حدود ۲ لیتر تشکیل شود. دماسنج ها به همراه کاغذ خرد شده ، بسته بندی با حباب پلاستیکی از کف برای جلوگیری از شکستگی ، سپس در یک قوطی استیل ضدزنگ ۳ لیتری با یک درب محکم (ظرف اصلی) قرار می گیرند. قسمت خارجی قوطی با توضیحات و تاریخ مشخص شده است. قوطی داخل یک کیسه پلاستیکی ضخیم و شفاف (ظرف ثانویه) ۴ لیتری با ضخامت ۲ یا ۳ میلی (۵۰ یا ۷۵ میکرون) قرار می گیرد.
- ۲۰ عدد فشار سنج (نشکسته) در بسته بندی اولیه خود با حجم ۲ لیتری خود قرار می گیرند، استفاده از بسته بندی اولیه برای شناسایی محتویات است. سپس در بسته بندی های ۴ تایی قرار گرفته و در کیسه های پسماند هایی مقاوم با ضخامت ۲ تا ۴ میلی (۵۰ تا ۱۰۰ میکرون) قرار می گیرند(ظرف ثانویه) و با نوار چسب قوی بسته بندی می شوند. یک برچسب هم در قسمت بیرونی کیسه پسماند قرار داده می شود.
- ۵۰۰ عدد دماسنج شکسته شده در یک قوطی به حجم ۳ لیتر، علامت گذاری شده از جنس فولاد ضد زنگ (ظرف اصلی) قرار می گیرند. قوطی داخل یک کیسه پلاستیکی ضخیم و شفاف (ظرف ثانویه) ۴ لیتری با ضخامت ۲ یا ۳ میل (۵۰ یا ۷۵ میکرون) قرار می گیرند.
- ۳۵۰ لیتر پسماند های حاصل نظافت و شست و شو شامل دستمال آلوده ، پارچه و غیره، که پسماند های تیز و برنده نیستند در کیسه های پلاستیکی با ضخامت ۲ یا ۳ میل (۵۰ یا ۷۵ میکرون) (ظرف اولیه) قرار می گیرند. کیسه های پلاستیکی برچسب گذاری می شوند و در دو درام فولادی یا پلاستیکی (ظرف ثانویه) قرار می گیرد که هر کدام دارای ظرفیت ۲۲۰ لیتر (۵۵ گالن یا ۴۴ گالن امپریال) و یک قلاب و واشر دستی برای جلوگیری از انتشار بخار جیوه می باشند. قسمت خارجی درام ها هم دارای برچسب هستند.
- ۴۰ میلی لیتر جیوه عنصری در یک بطری مشخص ۱۰۰ میلی لیتری دهانه گشاد، پلی اتیلن ترفتالات یا بطری PET (ظرف اصلی) که حداقل ۰/۳ میلی متر ضخامت دارد با یک درب محکم نگه داشته می شود. (توجه: می توان از بطری های نوشابه گازدار که معمولاً از پلاستیک PET با ضخامت ۰/۳ میلی متر ساخته می شوند استفاده کرد). مقدار کمی آب به عنوان خنثی کننده بخار جیوه به ظرف اضافه می شود. این بطری درون یک کیسه پلاستیکی ضخیم ، شفاف و قابل مهر و موم ۶ میل (۱۵۰ میکرون) شفاف (ظرف ثانویه) قرار می گیرد که به نوبه خود روی یک سینی پلاستیکی با لبه های بلند قرار می گیرد.
- ۱/۵ لیتر آمالگام دندانانی به همراه یک خنثی کننده بخار جیوه خشک در یک بطری PET ۲ لیتری (ظرف اصلی) قرار می گیرد. بطری درون یک کیسه پلاستیکی شفاف و با ضخامت ۳ میل (۷۵ میکرون) قرار می گیرد (ظرف ثانویه) ، که آن هم به نوبه خود روی سینی پلاستیکی با لبه های بلند قرار می گیرد.
- لامپ های فلورسنت ۱۲۶۰ T8 در بسته بندی ۴۲ عددی اصلی خود قرار داده می شوند که یک بسته با ابعاد ۱/۲۵×۱×۱ متر را تشکیل می دهند. از طرف دیگر ، همچنین آنها می توانند در درام های ۷ تایی لامپ فلورسنت

مورد تأیید سازمان ملل قرار بگیرند، هر قطعه دارای قطر ۵/۵ سانتی متر و ۱۲۳ سانتی متر ارتفاع هستند. درام ها یا بسته های لامپ ها از بیرون برچسب گذاری می شوند.

بیمارستان الف یک اتاق ۳×۲ متر در زیرزمین را برای نگهداری و ذخیره موقت پسماند های حاوی جیوه تعیین می کند. درب اتاق با عنوان "خطر: پسماندهای خطرناک حاوی جیوه" مشخص شده است. برای نصب یک فن تهویه، یک دریچه در دیوار یا سقف در نظر گرفته می شود. هنگامی که فن روشن است هوای داخل اتاق ذخیره سازی به محیط خارج (حیاط پشتی، جایی که محل عبور و مرور افراد نباشد) منتقل می شود. دریچه های سیستم گرمایشی و تهویه مطبوع در اتاق به یک بشقاب مکانیکی یا یک ورق پلاستیکی برای جلوگیری از گردش هوا به سایر قسمت های بیمارستان مجهز شده است. کف پوش انعطاف پذیر پلاستیکی، که به وسیله چسب به کف می چسبد، در اطراف مناطقی قرار می گیرد که پسماند جیوه در آن ذخیره می شود تا از پخش شدن هرگونه نشستی جلوگیری کند. در کنار در ورودی به زیرزمین در یک کابینت کیت ریخت و پاش، PPE، برگه اطلاعات ایمنی مواد و سایر سوابق موجود است.

کارشناس بهداشت محیط بیمارستان بر نحوه ذخیره پسماندهای جیوه نظارت می کند و هر ماه از یک لیست چک برای بازرسی استفاده می کند. سایر پرسنل درگیر در پسماند های جیوه آموزش های ویژه در مورد مدیریت پسماندهای جیوه از جمله اقدامات اضطراری در حوادث را دریافت می کنند.

مثال ۲: کلینیک کوچک ب

• کلینیک ب آزمایشگاه را به عنوان مکانی مناسب برای قرار دادن فضای ذخیره سازی موقت پسماند جیوه تعیین می کند، زیرا از لحاظ عبور و مرور بیماران و بازدید کنندگان محدود است و به راحتی در دسترس پرسنل جمع آوری پسماند جیوه است.

کلینیک ب تخمین می زند که آنها ۲۰ عدد دماسنج شکسته، ۲ عدد فشارسنج، ۱۰ میلی لیتر جیوه عنصری و ۳۰۰ میلی لیتر آمالگام را ذخیره کنند.

براساس محاسبات با استفاده از مقادیر فوق، طرح ذخیره سازی به شرح زیر است:

- ۲۰ عدد دماسنج به یکدیگر چسبانده شده و در یک بطری پلاستیکی HDPE ۵۰۰ سی سی، با دهانه باز، و تکه های فوم پلی استایرن ساخته شده از ترموکول یا استروفیوم که از فنجان های قهوه یکبار مصرف، به منظور جلوگیری از شکسته شدن (ظروف اصلی) دماسنج ها قرار داده می شود. درب بطری با نوار بسته شده و برچسب روی بطری شامل اطلاعاتی در خصوص مقدار، تاریخ و توضیحات است. این بطری درون یک کیسه پلاستیکی به ابعاد ۱۵۰×۲۰۰ میلیمتر با ضخامت ۵۰ میکرون، شفاف و قابل شستشو (ظرف ثانویه) قرار می گیرد.
- ۱۰ میلی لیتر جیوه عنصری در یک ظرف کوچک ۱۰۰ میلی لیتری از جنس فولاد ضد زنگ با درب محکم (ظرف اولیه) خشک نگه داشته می شود. ظرف با برچسب مشخص شده و لبه های درب با نوار چسب بسته می شود. ظرف داخل یک کیسه پلاستیکی ضخیم و شفاف ۵۰ میکرونی (ظرف ثانویه) قرار می گیرد.
- ۳۰۰ میلی لیتر آمالگام دندان در بطری PET مشخص ۵۰۰ میلی لیتری (ظرف اصلی) قرار داده می شود و درپوش با نوار چسب بسته می شود. بطری درون یک کیسه پسماند به ضخامت ۵۰ میکرون قرار می گیرد که با نوار چسب (ظرف ثانویه) بسته می شود. قسمت بیرونی کیسه پسماند با برچسب گذاری می شود.

- کلینیک ب تصمیم می گیرد که قفسه های پایین کابینت های فلزی دارای قفل و ایمن می تواند به عنوان فضای ذخیره سازی پسماند جیوه باشد. ظروف پسماند در یک سینی پلاستیکی با لبه های بلند قرار داده می شوند تا در صورت شکسته شدن ظرف پسماند، از نشت جیوه جلوگیری شود. درب کابینت با عنوان "خطر: پسماند حاوی جیوه" مشخص شده است. کابینت در کنار هود آزمایشگاهی است که هوا را مستقیماً به بیرون تخلیه می کند. کیت ریخت و پاش ، PPE ، MSDS ها و سایر سوابق در بخش دیگری از آزمایشگاه قرار داده می شود.
- مدیر آزمایشگاه بر ذخیره موقت پسماند جیوه نظارت می کند و کابینت ذخیره سازی را همراه بازرسی می کند. سایر پرسنل آموزش های ویژه ای در مورد مدیریت پسماندهای جیوه از جمله پاکسازی حین نشت و حوادث را دریافت می کنند.

بسته بندی ، برچسب گذاری و حمل و نقل پسماندهای حاوی جیوه به خارج از مراکز:

بسته بندی:

- در آماده سازی برای حمل و نقل پسماندهای جیوه، پسماند های جیوه برای جلوگیری از آزاد شدن جیوه در یک ظرف سالم و سازگار با جیوه (با جیوه وارد واکنش نشود) قرار داده می شوند. اگر بسته بندی اولیه تجهیزات دارای جیوه هنوز در وضعیت خوبی قرار دارند ، می توان از آن برای بسته بندی تجهیزات سالم بدون شکستگی استفاده کرد.
- ضایعات جیوه باید با حباب های پلاستیکی یا فوم های پلاستیکی بسته بندی به دقت بسته بندی شود تا از شکسته شدن آن جلوگیری شود.
- سایر گزینه های بسته بندی شامل رس بنتونیت، کائولینیت و ورمیکولیت است ؛ این مواد معدنی می توانند جیوه را جذب کرده و به عنوان مانعی برای جلوگیری از گسترش جیوه عمل کنند. همچنین می توان از سایر جاذب های تجاری جیوه استفاده کرد.
- ظرف حمل و نقل باید محکم بسته شود تا در صورت بروز شکستگی از انتشار جیوه جلوگیری شود.
- توجه در مورد لامپ های فلورسنت: نحوه انتقال لامپ های فلورسنت می تواند یک خطر برای سلامتی باشد. یک مطالعه توسط دانشکده بهداشت عمومی دانشگاه مینه سوتا نشان می دهد اگر فقط ۵٪ از ۳۰,۰۰۰ لامپ فلورسنت که در یک کامیون حمل و نقل قرار دارند شکسته شود، کارگران حمل و نقل در معرض ۱۶۰ بار بیشتر از حد مجاز توصیه شده توسط کمیسیون اروپا قرار می گیرند. محققان توصیه می کنند لامپ های فلورسنت را ابتدا در یک آستر مقاوم در برابر بخار (مانند یک آستر پلاستیکی یا فویل) پیچید و سپس داخل یک جعبه قرار دهید که از نظر ساختاری سالم و مناسب است تا از شکسته شدن لامپ ها جلوگیری کند.

برچسب گذاری:

- قسمت خارج از ظروف مورد استفاده برای بسته بندی و حمل و نقل باید دارای یک برچسب روشن "پسماند خطرناک جیوه" باشد.
- برچسب ها شامل اطلاعات مربوط به نام تولیدکنندگان جیوه یا ترکیبات جیوه ، منشاء جیوه یا ترکیبات جیوه (در صورت شناخته شده بودن) ، میزان و خلوص جیوه یا ترکیبات جیوه ، تعداد ظروف ، وزن خالص و ناخالص و تاریخ پر شدن ظرف ، هشدارها ، در صورت لزوم روش های ویژه برای جابجایی ، شماره تماس اضطراری و نام و اطلاعات

تماس اپراتور هستند و باید بر روی هر ظرف چسباندن شود. در استفاده از برچسب ها باید به سیستم طبقه بندی و برچسب زدن مواد شیمیایی در سطح جهانی ، توجه کرد.

دستورالعمل های عمومی برای حمل و نقل پسماندهای جیوه :

آماده سازی:

- برای حمل مقادیر بالای پسماند جیوه ، مرجع نظارتی می تواند مجوزهای ویژه ای را برای حمل و نقل وسیله نقلیه صادر کند. هر یک از رانندگان وسایل نقلیه دارای شماره یا کد شناسایی منحصر به فردی هستند و برای به دست آوردن مجوز حمل و نقل پسماند جیوه، ممکن است تحت آموزش های مخصوص و آمادگی برای شرایط اضطراری قرار گیرد. این آموزش می تواند شامل تعهدات قانونی ، مسیریابی ، رسیدگی ، بازرسی بصری ، بسته بندی ، برچسب زدن ، بارگیری / تخلیه ، ایمن سازی ، قرار دادن ، فرم های مانیفست یا ارسال ، امنیت شغلی ، تشخیص خطر ، کاهش خطر (از جمله راه های به حداقل رساندن امکان خطر و عواقب آن ، استفاده از PPE ، آمادگی در حوادث، استفاده از کیت های ریخت و پاش و گزارش حوادث باشد. وسیله نقلیه قبل از استفاده مورد بازرسی و تأیید قرار می گیرند.
- سازمان تنظیم مقررات می تواند حداکثر مقدار پسماند جیوه در هر ترابری را تعیین کند. به عنوان مثال ، سازمان تنظیم مقررات ممکن است به یک کارفرما (بیمارستان ، درمانگاه یا سایر مراکز بهداشتی) اجازه دهد برای انتقال پسماندهای جیوه تا مقادیر کمتر از ۱۰۰ کیلوگرم ، کمتر از ۳۰۰ لامپ فلورسنت و کمتر از ۰/۴۵ کیلوگرم جیوه عنصری در ماه از سیستم حمل و نقل زمینی سایر پسماندها استفاده کنند و در مقادیر بیش از این حد نیاز به یک دستگاه حمل و نقل مجزا و ثبت شده دارد.
- وسیله نقلیه مخصوص ثبت شده ای که برای حمل و نقل پسماندهای جیوه استفاده می شود باید معیارهای اصلی طراحی را برآورده کند. نمونه هایی از معیارهای طراحی به شرح زیر است:
 - وسیله نقلیه ثبت شده باید وسیله نقلیه سر بسته باشد.
 - بدنه وسیله نقلیه باید از اندازه مناسب و متناسب با میزان پسماند تولید شده باشد.
 - باید بین کابین راننده و بدنه وسیله نقلیه یک دیوار وجود داشته باشد که برای حفاظت در حین تصادفات طراحی شده است.
 - باید سیستم مناسبی برای تأمین ایمنی بار در حین حمل و نقل وجود داشته باشد.
 - کیسه های پلاستیکی ، PPE ، کیت های ریخت و پاش ، تجهیزات تمیز کننده و مواد ضد عفونی کننده باید در یک محفظه جداگانه در وسیله نقلیه وجود داشته باشند.
 - وسیله نقلیه ثبت شده باید با نام و آدرس راننده وسیله نقلیه مشخص شود.
- وسیله حمل و نقل دارای مجوز باید دارای علائم هشدار دهنده و پلاکاردهایی باشد که مطابق با مقررات ملی یا بین المللی است. ترکیبات جیوه به طور کلی تحت کلاس ۶،۱ (مواد سمی) و جیوه عنصری (شماره ۲۸۰۹ سازمان ملل) تحت کلاس ۸ (مواد خورنده) طبقه بندی می شوند. نمونه هایی از پلاکاردها در زیر نشان داده شده است:



شکل ۲: نمونه هایی از پلاکاردها

- قبل از حمل و نقل پسماند جیوه ، باید یک برنامه مسیریابی ، برنامه واکنش اضطراری یا شماره تلفن اضطراری وجود داشته باشد. همچنین وسیله نقلیه باید یک کیت ریخت و پاش ، PPE ، کیت کمک های اولیه ، کپسول اطفای حریق ، برچسب ها و ظروف اضافی در محفظه مسافر داشته باشد تا در صورت ریخت و پاش استفاده شود.
- هر بار افزودن پسماند جیوه به سایت ذخیره سازی، مطابق ماده ۱۱ کنوانسیون میناماتا ، باید ثبت و مستندات به روز شود. محموله های جیوه و ترکیبات جیوه با توجه به الزامات ماده ۳ کنوانسیون که مربوط به واردات و صادرات جیوه از کشور است باید ثبت شود. گزارش دوره ای از اطلاعات مربوط به جیوه و ترکیبات جیوه ذخیره شده یا استفاده شده نیز ممکن است برای دستیابی به داده های مورد نیاز برای گزارش موضوع ماده ۳ در نظر گرفته شود. راهنمایی در مورد تعیین این گونه سهم در وب سایت کنوانسیون میناماتا (UNEP 2017b) موجود است.
- بازرسی منظم و ممیزی در مناطق ذخیره سازی باید انجام شود ، با تمرکز ویژه بر روی آسیب ها ، نشت ها و تخریب ها. پاکسازی و ضد عفونی باید با اطلاع مسئولان مربوطه به سرعت انجام شود (FAO ، ۱۹۸۵).
- کلیه اسناد حاوی اطلاعات مورد نیاز ، از جمله فرم همراه با ظروف جمع آوری پسماند جیوه، سوابق مربوط به تخلیه و انتقال جیوه یا ترکیبات جیوه پس از ذخیره موقت، مقصد و دفع نهایی جیوه ، باید برای مدت زمانی مشخص نگهداری شود. تعدادی از دستورالعمل ها حداقل سه سال را مناسب می دانند.

حمل و نقل پسماند جیوه به خارج از مراکز:

- در حمل و نقل پسماند جیوه قبل از جمع آوری، باید کلیه ظروف پسماند را مورد بازرسی قرار دهد تا از صحت بسته بندی و برچسب زدن آنها اطمینان حاصل شود.
- چه در حمل و نقل پسماند جیوه در وسیله نقلیه ثبت شده و چه در وسیله نقلیه ای نظیر آن ، ظروف پسماند باید در قسمت پشتی وسیله نقلیه (محفظه بار کامیون ، صندوق عقب ماشین) قرار داده شود و در قسمت مسافر یا سرنشینان نباشد.
- تمام ظروف پسماند باید کاملاً ایمن باشد به گونه ای که ظروف در حین شتاب یا سر خوردن خودرو، سرعت گیرهای جاده و تغییر مکان های ناگهانی خودرو ثابت باشند.
- برای جلوگیری از آسیب بسته بندی ها ، ظروف نباید با ارتفاع بیش از ۱/۵ متر انباشته شوند.
- وسیله نقلیه حمل و نقل باید در هر زمان که پسماند در وسیله نقلیه باشد به جز در حین بازرسی ، بارگیری و تخلیه ، قفل شود.
- حمل و نقل پسماند ها باید در اسرع وقت با استفاده از ایمن ترین و کوتاه ترین مسیر به محل دفع انجام شود. اگر سیستم حمل و نقل پسماندهای جیوه را از چندین مکان جمع آوری می کند، برنامه مسیریابی باید کوتاه ترین و امن

ترین مسیر را منعکس کند تا زمان و مسافت طی شده را به حداقل برساند. حمل کننده ها باید پسماند ها را فقط به انبار یا به یک ایستگاه انتقال مجاز دیگر منتقل کند.

- وسیله نقلیه حمل و نقل باید شست و شو شود و در شرایط مناسب نگهداری شود.
- در حالت ایده آل ، وسیله نقلیه ثبت شده فقط باید برای جیوه و سایر پسماندهای خطرناک استفاده شود. اما اگر از وسیله نقلیه برای حمل و نقل انواع دیگر پسماند ها استفاده شود ، وسیله نقلیه باید دارای یک کانتینر مجزا صرفاً برای پسماندهای جیوه باشد که قابل تعویض و جابجایی باشد.

سیستم نگهداری:

- فرم یا برگه ارسال باید همراه پسماند جیوه باشد.
- در فرم ارسال همراه محموله باید محل تولید پسماند جیوه ، سیستم جمع آوری و حمل و نقل پسماند ، تاسیسات ذخیره سازی و مراجعه دولتی مربوطه مشخص باشد.
- تولید کننده پسماند جیوه ، مسئول جمع آوری و حمل و نقل پسماند و مسئول محل دفع پسماند باید هر کدام نسخه ای از فرم ارسال را داشته باشند. هر نسخه باید حاوی امضاهای مسئول یا نماینده تولید کننده پسماند، مسئول جمع آوری و حمل و نقل پسماند و مسئول محل دفع پسماند باشد.
- تولید کننده و مسئول جمع آوری و حمل و نقل پسماند جیوه حداقل تا ۵ سال از تاریخ حمل و نقل باید نسخه ای از فرم ارسال و سایر سوابق هر محموله را نگه داشته باشد، این سوابق طبق قانون و مقررات در اختیار مرجع تنظیم، قرار می گیرد.

ذخیره سازی پسماند جیوه در یک سایت مرکزی واسط

در این قسمت به دستورالعمل های عمومی مربوط به یک مرکز متمرکز که از آن به عنوان محل ذخیره سازی واسط استفاده می شود ، یعنی محل ذخیره موقت پسماند جیوه قبل از دفع نهایی اشاره شده است.

این دستورالعمل ها در مورد تسهیلات مورد استفاده برای پردازش جیوه یا سایر عملیات مورد نیاز برای باز کردن ظروف جیوه مانند درجه بندی ضایعات جیوه ، بازیابی جیوه از ضایعات غنی از جیوه ، انتقال جیوه عنصری به ظروف دیگر (به جز موارد اضطراری) و غیره کاربرد ندارد. این پردازش ها نیاز به سایر تسهیلات ایمنی شغلی و محیطی فراتر از محدوده این دستورالعمل دارند.

۹ نکته کلی زیر باید در یک مرکز ذخیره سازی میانی و متمرکز برای پسماند های جیوه رعایت شود:

محل و آماده سازی:

(۱) تاسیسات محل ذخیره سازی موقت پسماند جیوه باید حداقل ۱۵۰ متر از محل مدارس ، مراکز بهداشتی و درمانی ، اقامتگاه ها ، مناطق پرجمعیت ، کارخانجات فرآوری مواد غذایی ، تاسیسات فرآوری و نگهداری خوراک دام ، زمین های کشاورزی ، منابع آبی (دریاچه ها ، رودخانه ، اقیانوس و غیره) و مناطق حساس زیست محیطی فاصله داشته باشند.

(۲) برای جلوگیری از سرقت ، محل ذخیره سازی واسط باید در یک منطقه امن قرار داشته باشد.

- ۳) محل ذخیره سازی واسط باید برای کامیون ها و وسایل نقلیه که پسماند جیوه را حمل می کنند در دسترس باشد.
- ۴) محل ذخیره سازی واسط باید در محلی واقع شود که مستعد بلایای طبیعی مانند سیل، طوفان، آتش سوزی و زلزله نباشد. اگر این امر امکان پذیر نباشد، باید اقدامات لازم برای مقاومت در برابر بلایای طبیعی از قبیل ساختن سازه ای مقاوم در برابر زلزله یا انجام مقاوم سازی لرزه ای، مکان یابی در ارتفاعات بالاتر از مسیل ها و استفاده از مواد مقاوم در برابر آتش را انجام داد.
- ۵) در صورت امکان، این مکان باید دارای آب و هوای خنک و خشک باشد تا میزان تبخیر جیوه را به حداقل برساند تا خوردگی را کاهش دهد.
- ۶) الزامات کلی طراحی:

مساحت منطقه ذخیره سازی واسط باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا پاسخگوی حجم پیش بینی شده پسماند جیوه تولیدی در منطقه مورد نظر باشد. حداکثر حجم تخمین زده شده برای محل ذخیره سازی موقت باید فضای کافی برای انواع مختلف پسماند جیوه (جیوه عنصری، ظروف شکسته آلوده، دماسنج جیوه و فشارسنج، سایر وسایل پزشکی حاوی جیوه، لامپ های فلورسنت، آمالگام دندانپزشکی)، بسته بندی مربوطه ی آنها و قفسه ها، راهروها، چرخ دستی های حمل و نقل و غیره را داشته باشد.

- ۷) تأسیسات ذخیره سازی موقت باید مجهز به زنگ هشدار ایمن و خروج اضطراری باشد.
- ۸) این مرکز باید دارای تهویه ایستا یا طبیعی باشد. کنترل دما و رطوبت با تهویه هوا انجام می شود.
- ۹) آتش سوزی پتانسیل فاجعه بالایی را به همراه دارد. محل نگهداری باید دارای سیستم آشکارساز دود و آتش سوزی و زنگ خطر و سیستم مهار آتش باشد. برای پیشگیری از آتش سوزی طراحی محل ذخیره سازی موقت باید مطابق با الزامات کد ملی ساختمان انجام شود. کپسول های آتش نشانی باید در محل نصب شوند، مرتباً مورد بازرسی قرار گیرند و در صورت نیاز دوباره شارژ شوند. انواع کپسول های آتش نشانی مطابق با کلاس های آتش سوزی که ممکن است در این مرکز اتفاق بی افتد باید در محل موجود باشد (به عنوان مثال، کاغذ، مقوا یا آتش سوزی های پلاستیکی؛ آتش سوزی های مایع قابل احتراق؛ آتش سوزی های برقی و ...). علاوه بر این، در انتخاب دستگاه های اطفای حریق آتش نشانی باید ایمنی پرسنل، محدودیت های انتشار بخارات جیوه، پاکسازی و بازیابی جیوه پس از آتش و جلوگیری از خوردگی ظروف و قفسه ها را در نظر گرفت.

تأسیسات ذخیره سازی موقت پسماند جیوه باید حداقل دارای چهار ناحیه ی خاص و مجزا باشد:

- ۱) منطقه دریافت: برای دریافت و جمع آوری پسماند، امضای اسناد و در صورت نیاز برچسب گذاری مجدد
 - ۲) منطقه بازرسی: برای بررسی نشت، بسته بندی مجدد، مهار ثانویه و در صورت نیاز برچسب گذاری مجدد
 - ۳) منطقه ذخیره سازی مخصوص پسماند های جیوه
 - ۴) منطقه اداری و ثبت سوابق
- PPE، کیت های ریخت و پاش، جعبه کمک های اولیه و مواد شست و شو باید در محل پذیرش، منطقه بازرسی و در نزدیکی انبار واقع شود و به راحتی در دسترس پرسنل باشد. کیت های ریخت و پاش باید شامل پدهای جاذب، آسترهای پلاستیکی، خنثی کننده بخار و پاک کننده آلاینده باشد.

PPE باید شامل موارد زیر باشد:

- دستکش لاستیکی یا نیتریل
- عینک ایمنی
- تجهیزات حفاظتی تنفسی: دستگاه تنفس خودکار (SCBA) برای لک های بزرگ، تصفیه کننده هوا با کارتریج های بخار جیوه ، ماسک صورت با گوگرد یا کربن فعال
- لباس های حفاظتی از تمام بدن از جنس پلیمر یا لاستیک
- روکش کفش یکبار مصرف
- کلاه ایمنی

زهکشی ها در مناطق پذیرش ، بازرسی و ذخیره سازی باید به یک سیستم جمع آوری فاضلاب مجزا و نه به سیستم فاضلاب شهری و نه به آب های سطحی متصل شوند. زهکشی ها در انبار باید یک زانویی داشته باشد که به راحتی در دسترس و قابل تعویض باشد تا در صورت بروز نشت ، جیوه را جمع آوری کند.

روش های دفع صحیح زیست محیطی

بازیافت/احیای جیوه و ترکیبات جیوه

آ. عملیات حرارتی

پسماندهای حاوی یا آلوده به جیوه مانند لجن فاضلاب ، خاک های آلوده یا سایر مواد زائد حاصل از مکان های آلوده که تحت عملیات حرارتی قرار می گیرند، باید برای بازیابی جیوه به فناوری جمع آوری بخار جیوه مجهز شوند (ITRC 1998 ؛ Chang and Yen 2006)

دفع حرارتی فرآیندی است که با استفاده از تبادل حرارتی مستقیم یا غیر مستقیم، دما را به اندازه کافی بالا می برد تا آلاینده های آلی را تخلیه و از ماتریس جامد جدا کرده و سپس جمع آوری یا نابود کند. در مورد جیوه و ترکیبات آن ، دفع غیر مستقیم حرارتی با جمع آوری جیوه گزینه پیشنهادی است. هوا ، گاز احتراق یا گاز بی اثر به عنوان محیط انتقال برای اجزای بخار شده استفاده می شود. سیستم های دفع حرارتی فرآیندهای تفکیک فیزیکی هستند که آلودگی ها را از یک فاز به فاز دیگر منتقل می کنند. سیستم دفع حرارت دارای دو جز اصلی جاذب و سیستم تصفیه آلاینده است.

فرآیندهای تبخیری شامل:

- کوره تقطیر دوار
- پردازشگر حرارتی خلا
- میکسر خشک خلا

کوره تقطیر دوار برای از بین بردن و بازیابی جیوه موجود در زباله ها مانند پساب های صنعتی معدنی ، پساب حرکت گاز طبیعی ، کربن های فعال ، کاتالیزورها ، سلول های دکمه ای یا خاک آلوده به وسیله تبخیر و بازیافت محصول بدون جیوه (به عنوان مثال ، شیشه ، آهن و فلزات غیر آهنی ، ژئولیت). هرگونه آلاینده هیدروکربن و گوگرد در فرآیند تصفیه حذف می شود. مواد زائد به طور مساوی از یک قیف تغذیه به کوره دوار وارد می شود. زباله هایی که باید در تقطیر کوره دوار تصفیه شوند ، باید

جریان آزاد و قابل انتقال داشته باشند. پسماندها در کوره تقطیر دوار در دمای حداکثر ۸۰۰ درجه سانتیگراد تصفیه می شوند. مواد مورد استفاده به طور مساوی از طریق کوره دوار جابجا می شوند. جیوه موجود در زباله ها با حرارت دادن مواد زائد تا دمای بیش از ۳۵۶ درجه سانتی گراد تبخیر می شود. زمان ماند مورد نیاز پسماند در کوره دوار به ماده ورودی بستگی دارد اما معمولاً بین ۱/۵ - ۵/۵ ساعت است. برای اطمینان از عملکرد ایمن سیستم در شرایط تحت فشار انجام می شود و در صورت لزوم ، نیتروژن به منظور ایجاد جو بی اثر و ایمنی بیشتر در کوره دوار اضافه می شود. جریان هوای خروجی وارد دو دستگاه اسکرابر می شوند که در آن جیوه ، آب و هیدروکربن ها متراکم می شوند. سپس گاز خروجی به سیستم فیلتر کربن فعال برای تمیز کردن نهایی منتقل می شود.

زباله های پیش تصفیه شده ، مانند پودر جیوه-فسفر در لامپهای فلورسنت ، شیشه لامپ خرد شده ، باتریهای حاوی جیوه تمیز شده ، لجن فاضلاب آبیگری شده و خاک غربال شده ، می توانند توسط تاسیسات بو دادن / تلافی ، مجهز به فناوری جمع آوری بخار جیوه برای تصفیه جیوه را بازیابی کنید. باید توجه داشت که فلزات فرار ، از جمله جیوه و مواد آلی (از جمله POPS)، در حین حرارت دادن ساطع می شوند. بنابراین، دودکش باید مجهز به دستگاه های تصفیه باشند.

در یک میکسر خشک خلا ، می توان پیش تصفیه و تصفیه بیشتر لجن حاوی جیوه را انجام داد. عملکرد در جو خلا دمای جوش را کاهش می دهد . عملکرد در جو خلا دمای جوش و مصرف انرژی را کاهش می دهد و عملکرد ایمن را فراهم می کند. بسته به سطح خلا و درجه حرارت حاصل از کارخانه ، می توان از میکسر برای پیش تصفیه یا تصفیه پیشرفته لجن استفاده کرد. تصفیه دو مرحله ای در میکسر خلا در هنگام تصفیه لجن حاوی جیوه با مقادیر بالای آب و هیدروکربن ها انجام می شود. در مرحله اول فرآیند ، آب و بیشتر هیدروکربن های موجود تبخیر می شوند. تبخیر جیوه در مرحله دوم فرآیند و در حداکثر دمای تصفیه انجام می شود. جیوه از آب و هیدروکربن ها جدا و از فرآیند خارج می شود. واحد خلا به طور غیر مستقیم با روغن حرارتی گرم می شود ، که یک توزیع یکنواخت گرما را برای مواد ورودی ، داشته باشد. با یک شافت گرم شده می توان توزیع موثرتر گرما را نیز به دست آورد.

پردازش حرارتی خلا امکان پردازش دماسنجها ، باتریها ، به ویژه سلولهای دکمه ای ، آمالگام دندان ، سوئیچ ها و یکسو کننده های برق ، پودر فلورسنت ، لوله های اگزوز ، شیشه خرد شده ، خاک ، لجن ، بقایای معدن و مواد کاتالیزوری را فراهم می کند. این فرآیند به طور کلی شامل مراحل زیر است:

الف) گرم کردن مواد ورودی در کوره مخصوص یا در یک عمل شارژ برای تبخیر جیوه موجود در زباله در دمای بین ۳۴۰ درجه سانتیگراد و ۶۵۰ درجه سانتی گراد و فشارهای کم

ب) تصفیه حرارتی بخار جیوه در دمای مختلف از ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد ، حذف اجزای آلی

ج) جمع آوری و خنک سازی بخارهای حاوی جیوه

د) تقطیر برای تولید جیوه مایع خالص

باقیمانده ای که در انتهای پردازش حرارتی خلا باقی می ماند اساساً عاری از جیوه است و بسته به ترکیبات آن بازیافت می شود یا در غیر این صورت دفع می شود.

اکسیداسیون شیمیایی

اکسیداسیون شیمیایی به منظور تخریب جیوه اولیه و ترکیبات جیوه آلی و تبدیل جیوه به گونه معدنی جیوه، انجام می شود. این فرآیند برای تصفیه زباله های مایع آلوده به جیوه موثر است. اکسید کننده های معمولی که در این فرایندها استفاده می شوند شامل هیپوکلریت سدیم، ازن، پراکسید هیدروژن، دی اکسید کلر و کلر آزاد (گاز) هستند. اکسیداسیون شیمیایی ممکن است به صورت یک فرآیند مداوم مجموعه ای از راکتورهای جریان پلاگین انجام شود. ترکیبات هالید جیوه تشکیل شده در فرآیند اکسیداسیون از ماتریس زباله جدا و تصفیه می شوند و برای مراحل بعدی تصفیه مانند شست و شوی اسیدی^۳ و ترسیب^۴ آرسال می شوند (ایالات متحده EPA 2007a).

ترسیب شیمیایی

در ترسیب با استفاده از مواد شیمیایی آلاینده های محلول به یک جامد نامحلول تبدیل می شود. در این فرآیند، ممکن است آلودگی هدف به صورت محلول، کلوئیدی یا معلق باشد. آلاینده های محلول رسوب نمی کنند، اما روی گونه دیگری که رسوب می کند جذب می شوند. آلاینده های کلوئیدی یا معلق در فرآیندهایی مانند انعقاد و لخته سازی با سایر گونه های رسوبی غوطه ور می شوند یا از بین می روند. فرآیندهای حذف جیوه از آب می تواند ترکیبی از ترسیب و ریزش مجدد باشد. سپس رسوبات جامد یا تجمع یافته با شفاف سازی یا فیلتراسیون از فاز مایع خارج می شود. اطلاعات دقیق تر را می توان در گزارش تحت عنوان "فناوری های تصفیه جیوه در خاک، زباله ها و آب" یافت (EPA 2007d ایالات متحده).

جذب سطحی

مواد جاذب از طریق انواع مختلف نیروهای شیمیایی مانند پیوندهای هیدروژنی، فعل و انفعالات قطبی-قطبی و نیروهای واندروالس، جیوه را در سطح خود نگه می دارند. ظرفیت جذب تحت تاثیر سطح جاذب، توزیع اندازه منافذ و شیمی سطح قرار می گیرد. مواد جاذب معمولاً در یک ستون بسته بندی می شوند. با عبور مواد زائد مایع از ستون، جیوه یا ترکیبات جیوه جذب جاذب می شوند. هنگام پر شدن سایت های جذب، ستون باید احیا شود یا با بستر جدید جایگزین شود (EPA 2007b ایالات متحده). نمونه هایی از مواد جاذب شامل کربن فعال و زئولیت است. کربن فعال ماده ای کربنی است که از اتصال روزنه های ریز به هم تشکیل شده است. به طور معمول می تواند یک پایه چوبی (پوسته نارگیل و خاک اره)، پایه روغن یا پایه ذغال دارد. براساس شکل آن می توان آن را به کربن فعال پودری و کربن فعال گرانولی طبقه بندی کرد. بسیاری از انواع این جاذب ها به صورت تجاری در دسترس هستند. جیوه و سایر فلزات سنگین و همچنین مواد آلی روی کربن فعال جذب می شوند (Bansal 2005).

زئولیت ها به طور طبیعی مواد معدنی سیلیکاتی هستند که می توانند به صورت مصنوعی نیز تولید شوند. به طور خاص زئولیت کلینوپتیلولایت، تمایل زیادی به یون های فلزات سنگین دارند و مکانیسم جذب در آن تبادل یونی است (Chojnacki et al. 2004). رزین های تبادل یونی در حذف جیوه از جریان های آبی، به ویژه در غلظت های ۱ تا ۱۰ میکروگرم در لیتر، مفید واقع شده اند. کاربردهای تبادل یونی معمولاً نمک های جیوه مانند کلریدهای جیوه را که در فاضلاب ها یافت می شوند، تصفیه می کنند. این فرایند شامل تعلیق یک محیط، یا یک رزین مصنوعی یا ماده معدنی، به محلول تبادل یون های فلزی معلق بر روی محیط است. رزین تبادل آنیونی را می توان با محلول های اسیدی قوی احیا کرد، اما این مشکل است زیرا نمک های جیوه به شدت یونیزه نیستند و به راحتی از رزین پاک نمی شوند، بنابراین باید دفع شود. علاوه بر این، ترکیبات آلی جیوه یونیزه

³ Acid leaching precipitation 3
³ precipitation 4

نمی شوند ، بنابراین با استفاده از تبادل یونی معمولی به راحتی از بین نمی روند. در صورت استفاده از رزین انتخابی ، از آنجا که فرآیند معمولاً برگشت ناپذیر است، باید رزین به عنوان زباله های خطرناک در یک مرکز دفع ایمن که منجر به رها سازی جیوه در محیط نشود دفع شوند. (آمودا ۲۰۱۰).

رزین کیلیت^۵ یک رزین تبادل یونی است که به عنوان یک پلیمر کاربردی ساخته شده و یونها را به طور انتخابی از محلول ها از جمله یونهای مختلف فلزی می گیرد و آنها را جدا می کند. این رزین از یک پایه پلیمری با ساختار مش سه بعدی و یک گروه عملکردی که کلات را با ترکیب یونهای فلزی انجام می دهد ساخته شده است. به عنوان ماده پایه پلیمر، پلی استایرن بیشترین کاربرد را دارد و به دنبال آن پلاستیک فنلی و رزین اپوکسی در مرتبه بعدی قرار می گیرد. از رزین های کیلیت برای تصفیه آب فاضلاب آبکاری برای حذف جیوه و سایر فلزات سنگین باقیمانده پس از خنثی سازی، ترسیب و انعقاد و یا جمع آوری یونهای فلزی با غلظت نسبتاً کم استفاده می شود. رزین کیلیت با فرآیند جذب سطحی می تواند به طور موثر جیوه موجود در فاضلاب را حذف کند (Chiarle 2000).

تقطیر جیوه^{۲۶}

پس از تصفیه ، جیوه جمع آوری شده متعاقباً با تقطیر پی در پی خالص می شود (EPA 2000 ایالات متحده). جیوه با خلوص بالا در بسیاری از مراحل با تقطیر تولید می شود و اجازه می دهد درجه خلوص بالا در هر مرحله از تقطیر حاصل شود.

عملیاتی بی خطر سازی که منجر به بازیابی جیوه اولیه نمی شود:

قبل از دفع مواد زائد متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه ، باید آنها را تصفیه کرد تا معیارهای پذیرش امکانات دفع را داشته باشند. پسماندهای متشکل از جیوه اولیه باید قبل از دفع ، جامد یا تثبیت شوند. دفع مواد زائد باید طبق قوانین و مقررات ملی و محلی انجام شود.

تصفیه فیزیکی و شیمیایی

آ. تثبیت و جامد سازی^{۳۷}

فرآیندهای تثبیت شامل واکنش های شیمیایی است که با کاهش تحرک و سمیت مواد تشکیل دهنده زباله خصوصیات خطرناک زباله را تغییر دهد. فرآیندهای جامد سازی فقط با استفاده از مواد افزودنی، بدون تغییر در خصوصیات شیمیایی زباله ، وضعیت فیزیکی زباله ها را تغییر می دهد (کمیسون اروپا ۲۰۰۳).

جامد سازی و تثبیت (S/S) برای زباله هایی مانند خاک ، لجن ، خاکستر و مایع متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد آلوده به جیوه اعمال می شود. S/S با اتصال فیزیکی یا ایجاد واکنش های شیمیایی که حلالیت یا فرار بودن را کاهش دهد ، و در نتیجه باعث کاهش تحرکات جیوه و ترکیبات آن می شوند (EPA 2007b). S/S معمولاً برای پسماندهای مختلف مانند لجن فاضلاب ، خاکستر زباله سوز ، مایع آلوده به جیوه و خاکهای آلوده به جیوه استفاده می شود. جیوه در زباله های جامد و تثبیت شده در محل دفن زباله می تواند شسته شود (به عنوان مثال ، از طریق مایعات موجود در محل دفن از زباله ها جدا و حل شده و جابجا

3 Chelating resin 5
3 Distillation of mercury – purification
3 Stabilisation and Solidification 7

شود)، به داخل آب های زیرزمینی یا آبهای سطحی مجاور آن مهاجرت کند و یا در شرایط طبیعی محیط بخار شوند. S/S شامل اتصال فیزیکی یا محاصره آلاینده ها در یک توده تثبیت شده (جامد شدن) یا القای واکنش های شیمیایی بین عامل تثبیت کننده و آلاینده ها برای کاهش تحرک (تثبیت) آنها است. در شرایطی که مایعات آزاد غیر از جیوه عنصری در زباله ها وجود دارد، از جامد سازی برای کپسوله سازی یا جذب مواد زائد استفاده می شود و ماده ای جامد را تشکیل می دهد. ضایعات را می توان به دو روش کپسوله سازی کرد: میکروکپسولاسیون و کلان کپسول سازی. میکرو کپسولاسیون فرآیند مخلوط کردن مواد زائد با مواد محصور کننده قبل از جامد شدن است. کپسولاسیون کلان به فرآیند ریختن مواد محصور کننده بر روی و اطراف توده زباله اشاره دارد، در نتیجه آن را در یک بلوک جامد محصور می کنند (EPA 2007b ایالات متحده).

به طور کلی، فرآیند جامد سازی شامل مخلوط کردن خاک یا زباله با مواد اتصال دهنده مانند سیمان پرتلند، سیمان پلیمری گوگرد (SPC)، اتصال دهنده های سولفید و فسفات، گرد و غبار کوره سیمان، رزین های پلی استر یا ترکیبات پلی سیلوکسان برای ایجاد دوغاب، خمیر و در نهایت به تشکیل فرم جامد است (United States EPA 2007b).

دو روش عمده شیمیایی وجود دارد که می تواند برای پسماندهای متشکل از جیوه اولیه و مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه استفاده شود: (Hagemann 2009)

الف) تبدیل شیمیایی به سولفید جیوه

ب) آمالگاسیون یا تشکیل آلیاژ جامد با فلزات مناسب

اگر نرخ تبدیل به سولفید جیوه (درصد جیوه واکنش داده شده) نزدیک یا برابر با ۱۰۰ درصد باشد، کاهش خطر کافی حاصل می شود. در غیر اینصورت نوسانات و قابلیت شستشوی جیوه همچنان بالا است (Mattus 1999).

تثبیت به عنوان سولفید جیوه

از آنجا که متداول ترین شکل طبیعی جیوه همان سینار (HgS) است که از آن جیوه فلزی گرفته شده است، یکی از مهمترین رویکردهای تصفیه، تبدیل جیوه عنصری به حالت طبیعی آن به عنوان HgS است. زباله های متشکل از جیوه اولیه با گوگرد اولیه یا با سایر مواد حاوی گوگرد مخلوط شده و سولفید جیوه (HgS) تشکیل می شود. تولید HgS می تواند به دو نوع مختلف منجر شود:

• آلفا-HgS (سینابار)

• بتا-HgS (متا سینابار)

آلفا-HgS خالص (رنگ قرمز فشرده) در مقایسه با بتا-HgS خالص (رنگ سیاه) دارای حلالیت کمی در آب است. HgS پودری با تراکم ۳-۲/۵ گرم در سانتی متر مربع است.

آمالگاسیون^{۳۸}

ادغام، محلول و جامد شدن جیوه در فلزات دیگر مانند مس، نیکل، روی و قلع است که منجر به تولید یک محصول جامد و غیر فرار می شود. زیرمجموعه ای از فناوری های جامد سازی است. برای ادغام جیوه در مواد زائد از دو فرآیند عمومی استفاده

می شود: جایگزینی آبی و جایگزینی غیر آبی. فرآیند آبی شامل مخلوط کردن یک فلز پایه ریز مانند روی یا مس در مخلوط حاوی نمک های جیوه محلول است. فلز پایه نمک های در فلز حل می شود و یک آلیاژ فلز جامد مبتنی بر جیوه به نام آمالگام تشکیل می دهد. فرآیند غیر آبی شامل مخلوط کردن پودرهای فلزی ریز در جیوه اولیه و تشکیل ملگام جامد است. فرآیند جایگزینی آبی هم برای نمک های جیوه و هم برای جیوه عنصری قابل استفاده است، در حالی که فرآیند غیر آبی فقط برای جیوه عنصری قابل استفاده است. با این حال، جیوه موجود در آمالگام حاصل نسبت به فرار سازی یا شستشو حساس است. بنابراین، آمالگاسیون به طور معمول در ترکیب با یک فناوری کپسول سازی استفاده می شود (ایالات متحده EPA 2007b).

شستشوی خاک و استخراج اسید^۳

شستشوی خاک یک روش خارج از محل تصفیه خاک و رسوبات آلوده به جیوه است. این فرآیند مبتنی بر آب است که از ترکیبی از روش های فیزیکی تفکیک بر اساس اندازه ذرات و جداسازی شیمیایی برای کاهش غلظت آلاینده ها در خاک استفاده می کند. این فرآیند بر اساس این مفهوم استوار است که بیشتر آلاینده ها بیشتر به ذرات ریز خاک (خاک رس و لجن) متصل می شوند تا بزرگتر ذرات (شن و ماسه). از روش های فیزیکی می توان برای جدا کردن ذرات بزرگتر نسبتاً تمیز از ذرات ریز استفاده کرد زیرا ذرات ریز از طریق فرایندهای فیزیکی (تراکم و چسبندگی) به ذرات بزرگتر متصل می شوند.

استخراج اسید نیز یک فناوری تصفیه خاک در خارج از محل است که از یک ماده شیمیایی استخراج کننده مانند اسید کلریدریک یا اسید سولفوریک برای استخراج آلاینده ها از یک ماتریس جامد با حل کردن آنها در اسید استفاده می کند و آلاینده های فلزی از محلول شستشوی اسید با تکنیک هایی مانند الکترولیز فاز آبی بازیابی می شوند. اطلاعات دقیق تر را می توان در "فناوری های تصفیه جیوه در خاک، زباله ها و آب" یافت (EPA 2007b ایالات متحده).

محل دفن زباله مهندسی شده ویژه

پس از تثبیت یا جامد سازی، زباله های حاوی یا آلوده به جیوه که دارای معیارهایی که توسط مقررات ملی یا محلی تعریف شده هستند، در محل دفن زباله های مهندسی شده ویژه دفع می شوند. برخی از حوزه های قضایی تحت اتحادیه اروپا معیارهای پذیرش را برای دفن زباله های حاوی یا آلوده به جیوه تعریف کرده اند. بر اساس این قانون فقط ضایعات با حد مقادیر ۰/۲ و ۲ میلی گرم جیوه در کیلوگرم ماده خشک با نسبت مایع به جامد ۱۰ لیتر در کیلوگرم را می توان به ترتیب در محل های دفن زباله برای پسماندهای غیر خطرناک و خطرناک پذیرفت. طبق مقررات مربوط به تصفیه زباله های جیوه در ایالات متحده، فقط ضایعات جیوه با غلظت کم قابل تصفیه و دفن هستند. از ضایعات جیوه تصفیه شده باید کمتر از ۰/۰۲۵ میلی گرم در لیتر جیوه نشت کند (با آزمایش TCLP) تا برای دفع زباله پذیرفته شود. طبق قوانین ژاپن، پسماندهای تصفیه شده با غلظت جیوه بیش از ۰/۰۰۵ میلی گرم در لیتر (روش تست شستشو: آزمایش شستشوی استاندارد ژاپنی شماره ۱۳، JLT-13 اطلاع رسانی شماره ۱۳ وزارت محیط زیست) باید در یک محل دفن زباله مهندسی شده ویژه در ژاپن دفع شود (وزارت محیط زیست، ژاپن ۲۰۰۷ ب). علاوه بر این، دفع برخی از زباله های حاوی یا آلوده به جیوه در محل های دفن زباله در برخی کشورها ممنوع است.

³ Soil washing and acid extraction ⁹

⁴ ex situ ⁰

محل دفن زباله مهندسی شده ویژه ، سیستمی سازگار با محیط زیست برای دفع مواد زائد جامد و محلی است که در آن ضایعات جامد را از یکدیگر و از محیط جدا می کنند. همه جنبه های عملیات دفن زباله باید کنترل شود تا از سلامت و ایمنی همه کسانی که در اطراف محل دفن زباله زندگی و کار می کنند ، محافظت شود و محیط زیست نیز ایمن باشد(SBC 1995b).

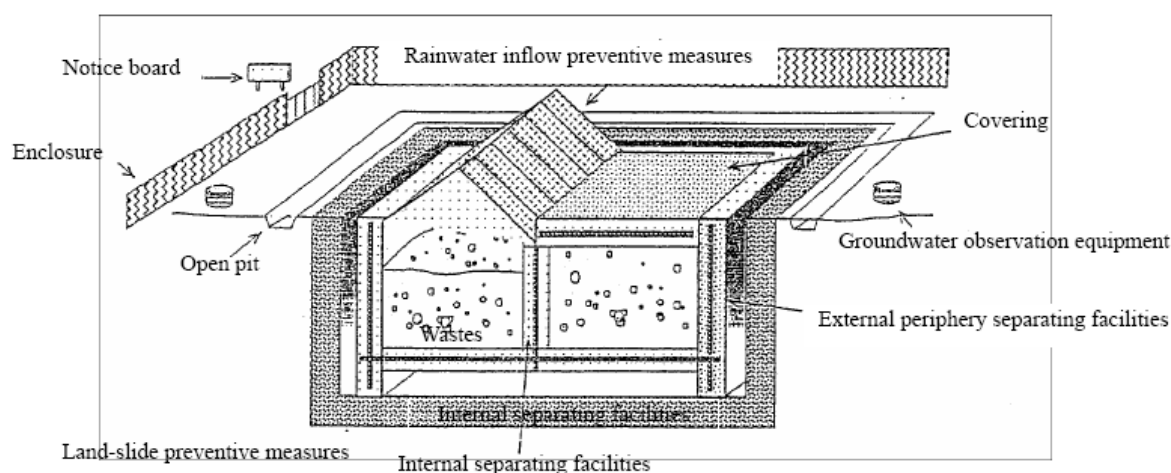
در اصل یک سایت دفن زباله برای یک دوره زمانی مشخص ، می تواند با رعایت نکات و با اقدامات احتیاطی مناسب و مدیریت کارآمد، از نظر محیط زیست ایمن باشد. برای جلوگیری از نشست و ایجاد شرایط لازم باید در مورد انتخاب سایت، طراحی و ساخت، عملیات دفن و نظارت دقت شود. رویه های کنترل و نظارت باید به طور یکسان در روند انتخاب سایت ، طراحی و ساخت، بهره برداری و نظارت، و همچنین مراقبت پس از تعطیلی مد نظر قرار داده شود (SBC 1995b). مجوزها باید شامل مشخصات مربوط به انواع و غلظت پسماند مورد پذیرش ، سیستم های کنترل شیرابه و گاز ، نظارت ، امنیت در محل ، مراقبت های پس از تعطیلی محل دفن باشند.

توجه ویژه ای به اقدامات لازم برای محافظت از منابع آب زیرزمینی در برابر نفوذ شیرابه به خاک باید انجام پذیرد. به منظور حفاظت از خاک ، آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی باید از یک لایه عایق و یک سیستم آستر در هر مرحله دفن و یک لایه عایق و یک لایه بالایی در مرحله بسته شدن و پس از بسته شدن استفاده شود. یک سیستم زهکشی و جمع آوری شیرابه باید در محل دفن زباله نصب شود تا شیرابه قبل از تخلیه در سیستم های آب به سطح زمین تصفیه شود.

در یک محل دفن زباله هرگونه اثرات جانبی احتمالی زیست محیطی شناسایی شده و اقدامات اصلاحی مناسب در نظر گرفته می شود. انتخاب روش دفن زباله باید با توجه به سایت، ملاحظات زمین شناسی و سایر عوامل خاص پروژه انجام شود. اصول مهندسی ژئوتکنیک مناسب باید در جنبه های مختلف محل دفن زباله با مهندسی ویژه مانند ساخت دایک ها، دامنه های برش خورده، سلول های محل دفن زباله، جاده ها و سازه های زهکشی اعمال شود (شورای وزیران کانادا برای محیط زیست CCME (2006). به عنوان مثال ، محل دفن زباله می تواند در بتن ضد آب و بتن مسلح محصور شود و با نوعی تجهیزات که از ورود

آب باران جلوگیری می کند،(سقف یا سیستم تخلیه آب باران) پوشانده شود (شکل ۶- وزارت محیط زیست ، ژاپن)، ۲۰۰۷.

رهنمودهای فنی کنوانسیون بازل در محل های دفن زباله مهندسی شده ویژه با جزئیات چند روش دیگر را برای سیستم های مهار مهندسی توضیح می دهد .



شکل ۶- محل دفن زباله مخصوص مهندسی شده ویژه (Ministry of the Environment, Japan 2007a)

برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد محل دفن زباله های مهندسی شده ویژه ، به دستورالعمل های فنی کنوانسیون بازل در زمینه دفن زباله با مهندسی ویژه (D5) (SBC 1995b) مراجعه کنید.

ذخیره سازی دائمی (تاسیسات زیرزمینی)

پس از انجماد یا تثبیت، در صورت لزوم ، ضایعات حاوی یا آلوده به جیوه که دارای معیارهای پذیرش برای ذخیره دائمی هستند، می توانند به طور دائمی در ظروف مخصوص در مناطق تعیین شده مانند تاسیسات ذخیره سازی زیرزمینی ذخیره شوند. فناوری ذخیره سازی زیرزمینی مبتنی بر مهندسی معدن است که شامل فناوری و روش حفاری مناطق استخراج معادن و ساخت اتاق های معدن به عنوان شبکه ستون های جدا شده می باشد. آنها به طور خاص برای این هدف حفاری شده اند.

علاوه بر این ، اصول و تجربیات موجود در دفع زباله های رادیواکتیو در زیر زمین می توانند برای ذخیره زیرزمینی پسماندهای حاوی یا آلوده به جیوه استفاده شوند. در حالی که حفاری یک مخزن عمیق زیرزمینی با استفاده از معدن استاندارد یا فناوری مهندسی عمران امکان پذیر است ، اما محدود به مکانهای قابل دسترسی (به عنوان مثال، در زیر سطح یا نزدیک ساحل)، واحدهای سنگی است که به طور منطقی پایدار و بدون جریان عمده آب زیرزمینی هستند و تا عمق بین ۲۵۰ متر و ۱۰۰۰ متر محدود شده است. در عمق بیش از ۱۰۰۰ متر ، حفاری ها به لحاظ فنی به طور فزاینده ای دشوار و به همان نسبت گران می شوند (انجمن هسته ای جهانی ۲۰۱۰).

نشریات زیر حاوی اطلاعات دقیق بیشتری در مورد ذخیره سازی دائمی مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه است:

(a) European Community (2003): Safety Assessment for Acceptance of Waste in Underground Storage -Appendix A to Council Decision of 19 December 2002 establishing criteria and procedures for the acceptance of waste at landfills pursuant to Article 16 of and Annex II to Directive 1999/31/EC : <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:011:0027:0049:EN:PDF>

(b) BiPRO (2010): Requirements for Facilities and Acceptance Criteria for the Disposal of Metallic Mercury, http://ec.europa.eu/environment/chemicals/mercury/pdf/bipro_study20100416.pdf

(c) International Atomic Energy Agency (IAEA) (2009): Geological Disposal of Radioactive Waste: Technological Implications for Retrievability http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1378_web.pdf;

(d) World Nuclear Association (2010): Storage and Disposal Options, <http://www.worldnuclear.org/info/inf04ap2.html>

(e) Latin America and the Caribbean Mercury Storage Project (2010): Options analysis and feasibility study for the long-term storage of mercury in Latin America and the Caribbean, <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/LACMercuryStorageProject/tabid/3554/language/en-US/Default.aspx>

(f) Asia-Pacific Mercury Storage Project (2010): Options analysis and feasibility study for the long-term storage of mercury in Asia, <http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/InterimActivities/Partnerships/SupplyandStorage/AsiaPacificMercuryStorageProject/tabid/3552/language/en-US/Default.aspx>.

ذخیره سازی دائمی در تاسیسات واقع در زیر زمین در معادن نمک جدا شده از نظر ژئوهیدرولوژیکی و سازندهای سنگ سخت گزینه ای برای تفکیک زباله های خطرناک از زیست کره برای دوره های زمین شناسی است. ارزیابی خطر سایت با توجه به قوانین مربوطه ملی مانند مقررات مندرج در ضمیمه A تصمیم ۳۳/۲۰۰۳ EC / شورای اروپا از ۱۹ دسامبر ۲۰۰۲ تعیین معیارها و رویه های پذیرش زباله در محل دفن زباله طبق ماده ۱۶ و پیوست II دستورالعمل ۳۱/۱۹۹۹ EC / برای هر تاسیسات ذخیره سازی زیرزمینی برنامه ریزی شده باید انجام شود.

پسماندها باید به گونه ای دفع شوند که:

الف) جلوگیری از هرگونه واکنش نامطلوب بین زباله های مختلف و پوشش ذخیره سازی

ب) کاش ترشح و حمل مواد خطرناک

مجوزهای عملیاتی باید انواع زباله هایی را که به طور کلی باید از این قاعده مستثنی شوند را تعریف کنند. جداسازی با ترکیبی از موانع مهندسی و طبیعی (سنگ، نمک، خاک رس) فراهم می شود. این روش، چند مانعی^۱ نامیده می شود، بسته بندی زباله، مخزن های مهندسی شده موانعی را برای جلوگیری از نشت جیوه به محیط فراهم می کند (BiPRO 2010؛ اتحادیه اروپا ۲۰۰۳؛ IAEA 2009؛ انجمن هسته ای جهانی ۲۰۱۰)

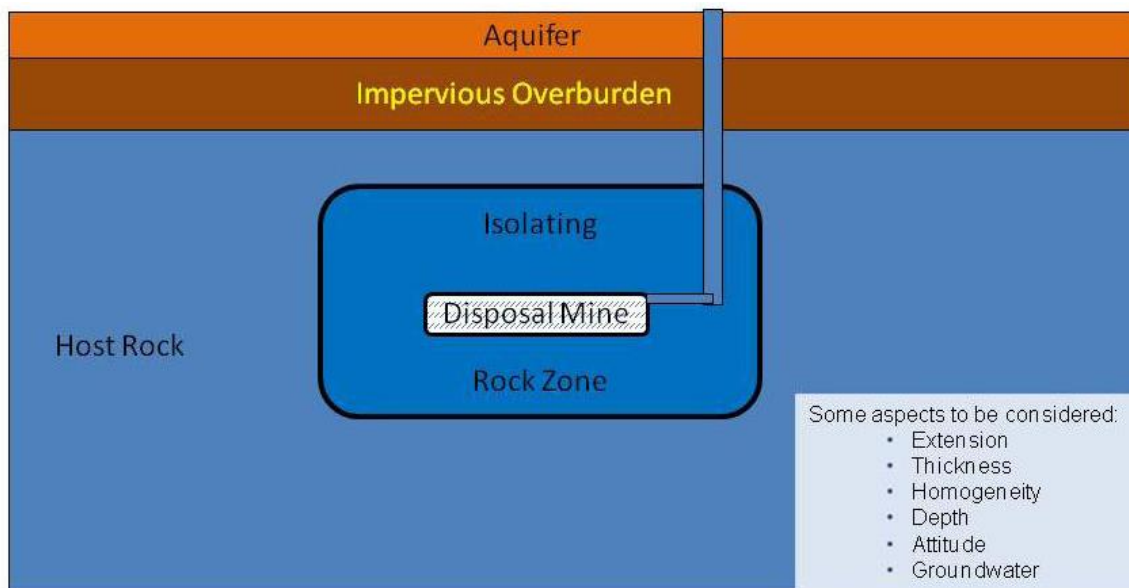
فاکتورهای خاصی مانند طرح، ظروف، مکان و شرایط ذخیره سازی، نظارت، شرایط دسترسی، استراتژی بسته شدن، آب بندی و پر کردن مجدد و عمق محل ذخیره سازی، که بر رفتار جیوه در سنگ میزبان و محیط زمین شناسی، جدا از ویژگی های زباله و سیستم ذخیره سازی باید مورد توجه قرار گیرد. سنگ های میزبان احتمالی ذخیره گاه دائمی مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه، سازه های سنگ نمک و سنگ های سخت هستند (سنگ های آذرین، به عنوان مثال، گرانیت یا گنیس شامل سنگ های رسوبی، به عنوان مثال، سنگ آهک یا ماسه سنگ). (BiPRO 2010؛ جامعه اروپا ۲۰۰۳؛ آژانس بین المللی انرژی هسته ای ۲۰۰۹؛ انجمن هسته ای جهانی ۲۰۱۰).

در هنگام انتخاب محل ذخیره دائمی برای دفع مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه، باید ملاحظات زیر را در نظر داشت:

الف) غارها یا تونل هایی که برای ذخیره سازی استفاده می شوند باید کاملاً از مناطق فعال معدن و مناطقی که ممکن است برای استخراج مجدداً افتتاح شوند، جدا شوند.

ب) غارها یا تونل ها باید در سازندهای زمین شناسی واقع شوند که کاملاً در زیر مناطق آب زیرزمینی قرار دارند یا در سازندهایی که توسط لایه های سنگی یا خاک رس غیر قابل نفوذ از مناطق حامل آب کاملاً جدا شده اند.

ج) غارها و تونل ها باید در سازندهای زمین شناسی بسیار پایدار قرار گیرند و در مناطقی که در معرض زلزله قرار دارند نباشند. به منظور تضمین کامل، معدن دفع و هر منطقه در اطراف آن که ممکن است تحت تأثیر عملیات دفع قرار گیرد (به عنوان مثال، از نظر ژئومکانیکی یا ژئوشیمیایی) باید توسط یک سنگ میزبان به نام *Isolating Rock Zone* با خصوصیات و عمق مناسب، ضخامت و همگنی کافی احاطه شده باشد (شکل ۷ را ببینید). به عنوان یک اصل اساسی، ارزیابی ریسک طولانی مدت باید بتواند ثابت کند که ساخت، بهره برداری و مرحله پس از بهره برداری از یک تاسیسات دفع زیرزمینی منجر به تخریب زیست کره نخواهد شد. در نتیجه، باید از مدل های مناسب برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی همه موانع فنی (به عنوان مثال، شکل زباله، پر کردن مجدد، اقدامات آب بندی)، رفتار میزبان و سنگ های اطراف، تشکیل سنگهای سنگین و ترتیب وقایع احتمالی در سیستم کلی استفاده شود.



شکل ۷- شماتیک با مجوز: (GRS)

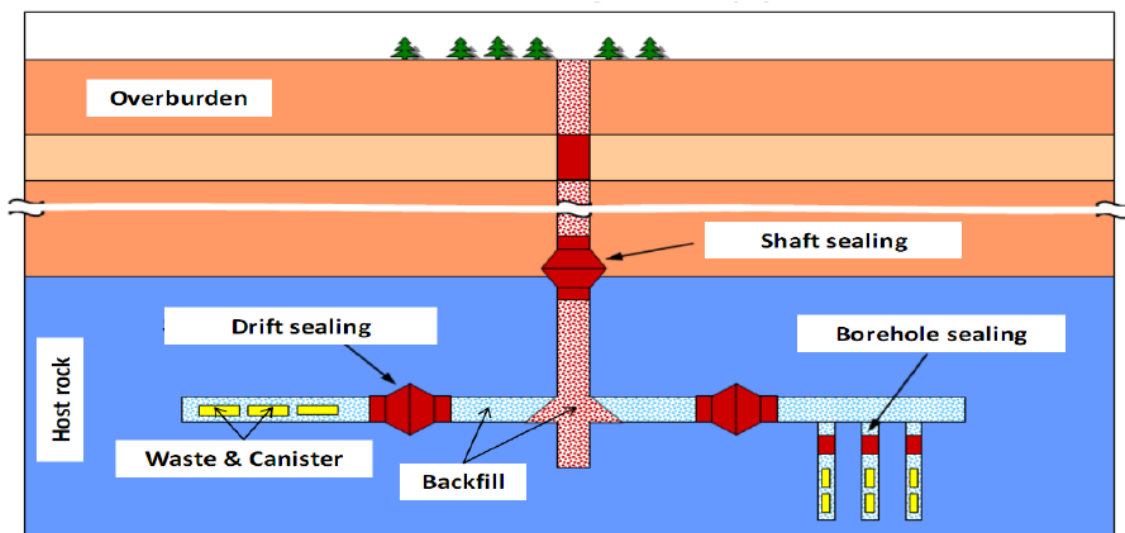
اگر سازند سنگ در نظر گرفته شده نقایصی را نشان دهد (به عنوان مثال ، همگنی یا ضخامت) ، یک سیستم چند مانعی می تواند خصوصیات مانع از دست رفته یا ناکافی را جبران کند. سنگ میزبان به طور کلی ، یک سیستم چند مانعی از این نوع ممکن است از یک یا چند مانع تشکیل شده باشد (جدول ۵- و شکل ۸- را ببینید) که می تواند به دستیابی به هدف نهایی برای جدا کردن طولانی مدت زباله ها از زیست کره کمک کند. برای اطمینان از نیاز و نحوه عملکرد سیستم چند مانعی در سیستم دفع ، باید یک ارزیابی ایمنی طولانی مدت انجام گیرد. تشکیل موانع زمین شناسی که روی یک لایع دفع همپوشانی دارند می تواند موجب محافظت از سنگ میزبان در برابر هرگونه آسیب و تأمین ظرفیت نگهداری اضافی برای آلاینده هایی که تحت شرایط خاص ممکن است از معدن دفع شوند.

جدول ۵- اجزای احتمالی یک سیستم چند مانعی و مثالهایی برای نحوه عملکرد آنها

مثالی برای نحوه عمل	جز مانع
کاهش مقدار کل آلاینده های دفع شد	محتوای پسماند
تصفیه زباله به منظور دستیابی به یک آلاینده محلول کمتر	مشخصات زباله
پل زدن برای یک دوره زمانی محدود تا زمانی که موانع طبیعی متر واقع شوند	قوطلی زباله
پر کردن فضاهای معدن باطل برای بهبود پایداری ژئومکانیکی و / یا ایجاد شرایط خاص ژئوشیمیایی	اقدامات پر کردن
آب بندی شفت باید همان خصوصیات را فراهم کند که مانع (های) طبیعی در اثر دسترسی به مین برهم خورده باشد	اقدامات آب بندی
گنجاندن کامل آلاینده ها (در حالت ایده آل)	میزبان سنگ

سد طبیعی (زمین شناسی) اضافی ، به عنوان مثال ، لایه خاک رس با ضخامت کافی و ویژگی های مناسب

بار بیش از حد



شکل ۸- اجزای اصلی سیستم چند مانعی و طرح آنها در داخل سیستم (شماتیک) (با مجوز: (GRS)

۲۰۴. به طور کلی ، دفع زیرزمینی همانطور که در بالا توضیح داده شد ، شامل تمام معیارها ، الزامات و طرح نهایی است که باید با توجه به معیارهای خاص پسماند و محل دفع و با در نظر گرفتن کلیه مقررات مربوطه (به عنوان مثال ، جامعه اروپا ۲۰۰۳) ، برای ارائه ایده ای دقیق از عمق و ضخامت انواع مختلف سنگ میزبان انجام شود. در جدول ۶-۶ بر اساس تجربه و برنامه های فعلی ، ابعاد معمولی ذکر شده است.

جدول ۶- مقادیر معمول ضخامت عمودی بدنه سنگ میزبان و عمق دفع احتمالی (بعد از Grundfelt و همکاران ۲۰۰۵)

Geosystem		Thickness of host rock body	Potential disposal depth
Host rock	Variant		
Rock salt	Salt dome	up to > 1,000 m	800 m
Rock salt	Layered salt	app. 100 m	650 – 1,100 m
Clay / Claystone		up to 400 m	400 – 500 m
Rocks under clay cover		app. 100 m	500 – 1,000 m

فصل هشتم :

روش های کاهش رها سازی جیوه از فرآیندهای تصفیه حرارتی و دفع پسماند

کاهش رهاسازی جیوه از فرآیندهای تصفیه حرارتی پسماند

در حال حاضر هنوز هم ممکن است جیوه در زباله های شهری به عنوان مثال ، در باتری ها ، داماسنج ها ، لامپهای فلورسنت یا کلیدهای جیوه ای باشد. جمع آوری جداگانه این پسماندها منجر به کاهش غلظت جیوه در MSW مخلوط می شود. اما تفکیک ۱۰۰ درصد در عملاً حاصل نمی شود. در نتیجه ، همواره مقداری مواد زائد حاوی یا آلوده به جیوه ممکن است همراه سایر پسماندها سوزانده شوند، که به موجب آن ، به دلیل کم بودن دمای جوش ، تقریباً تمام جیوه موجود در زباله به گاز احتراق منتقل می شود و جیوه کمی در خاکستر ته مانده باقی می ماند. بیشتر جیوه موجود در گاز احتراق یک زباله سوز به صورت جیوه عنصری است اما بیشتر جیوه عنصری پس از عبور از واحد احتراق به جیوه دو ظرفیتی تبدیل می شود و بخشی از جیوه دو ظرفیتی به خاکستر فرار منتقل می شود. جیوه دو ظرفیتی کلرید جیوه در نظر گرفته شده است. در نتیجه ، در انتخاب دستگاه های تصفیه گاز دودکش باید دستگاهی که می توانند چنین کلرید جیوه و جیوه اساسی را حذف کنند مدنظر قرار داده شوند. علاوه بر این ، زباله هایی که به طور بالقوه حاوی جیوه هستند یا آلوده به مواد زائد جدا شده از مراکز درمانی نیستند ، نباید در دستگاه های زباله سوز بدون سیستم تصفیه کننده گاز دودکش سوزانده شوند (Arai و همکاران ۱۹۹۷). استانداردهای انتشار جیوه باید تنظیم شود و سطح جیوه گاز دودکش باید کنترل شود تا اطمینان حاصل شود که انتشار جیوه در محیط به حداقل می رسد.

تکنیک های اصلی جلوگیری از انتشار جیوه به هوا از زباله سوزها (کمسیون اروپا ۲۰۰۶):

الف) حذف کارآمد محصولات جیوه ای از جریان زباله ، به عنوان مثال ، جداسازی انواع خاصی از باتری ها ، آمالگام دندان قبل از اینکه این مواد زائد با سایر زباله ها یا فاضلاب ها مخلوط شوند.

ب) اعلام نیاز تولیدکنندگان زباله به جداسازی جیوه

ج) شناسایی و یا محدودیت دریافت پسماندهای احتمالی حاوی یا آلوده به جیوه

د) در مواردی که دریافت چنین زباله هایی انجام می شود - کنترل مقادیر ورودی برای جلوگیری از اضافه بار ظرفیت سیستم تصفیه گاز دودکش روش ثانویه برای جلوگیری از انتشار جیوه به هوا از جریان زباله است. اتحادیه اروپا استانداردهایی را در بخشنامه سوزاندن زباله ایجاد کرد (۷۶/۲۰۰۰ / EC) اتحادیه اروپا ۲۰۰۱ ، مانند مقادیر حد انتشار برای تخلیه فاضلاب ناشی از تمیز کردن گازهای دودکش ۰/۰۳ میلی گرم در لیتر برای جیوه و ترکیبات آن ، و حد انتشار جیوه در هوا به طور متوسط ۰/۰۵ میلی گرم در متر مکعب به مدت ۳۰ دقیقه و ۰/۱ میلی گرم در متر مکعب به مدت هشت ساعت بیان شده است. پروتکل فلزات سنگین در چارچوب کنوانسیون UNECE در مورد آلودگی هوای فرامرزی دوربرد ، مقادیر محدود قانونی را برای انتشار جیوه ۰/۰۵ میلی گرم در متر مکعب برای سوزاندن زباله های خطرناک و ۰/۰۸ میلی گرم در متر مکعب برای سوزاندن زباله های شهری تعیین کرده است.

انتخاب فرآیند کاهش جیوه به مقدار کلر مواد سوزاننده بستگی دارد. در محتوای کلر بالاتر ، جیوه در گاز دودکش خام به طور فزاینده ای به شکل اکسید شده است ، که می تواند در دستگاه های اسکرابر تر رسوب کند. در کارخانه های سوزاندن زباله های شهری و زباله های خطرناک ، مقدار کلر در ضایعات متوسط معمولاً در حالت های عادی کار به اندازه کافی زیاد است تا اطمینان حاصل شود که جیوه به طور عمده به شکل اکسید شده وجود دارد. ترکیبات فرار جیوه ، مانند $HgCl_2$ ، وقتی گاز دودکش خنک شود ، متراکم شده و در پساب دستگاه شستشو حل می شود. افزودن معرف برای حذف خاص Hg ابزاری برای حذف آن

از فرآیند فراهم می کند. لازم به ذکر است که در سوزاندن لجن فاضلاب، انتشار جیوه بیشتر به شکل عنصری است، زیرا مقدار کلر پسماند نسبت به زباله های شهری یا خطرناک کمتر است. جیوه عنصری را می توان با تبدیل آن به جیوه اکسید شده حذف کرد. این کار با افزودن اکسیدان و سپس رسوب گذاری انجام می شود. آن را در دستگاه اسکرابر یا مستقیماً روی کربن فعال شده با گوگرد، کک کوره آتشدان یا ژئولیت ها رسوب می دهیم. حذف فلزات سنگین از سیستم های اسکرابر تر می تواند با لخته سازی انجام شود. هیدروکسیدهای فلزی تحت تأثیر عوامل لخته سازی (پلی الکترولیت ها) و $FeCl_3$ تشکیل می شوند. برای حذف جیوه، ترکیبات پیچیده و سولفیدها (به عنوان مثال، Na_2S ، Tri-Mercaptan و غیره) اضافه می شوند.

جیوه موجود در گاز دودکش را می توان با جذب روی کربن فعال در سیستم جریان معلق حذف کرد که به موجب آن کربن فعال به جریان گاز تزریق می شود. کربن با استفاده از فیلترهای کیسه ای از جریان گاز فیلتر می شود. کربن فعال برای جیوه و همچنین برای حذف دی اکسید و فوران (PCDD/PCDF) بازدهی جذب بالایی را نشان می دهد. انواع مختلف کربن فعال دارای بازده جذب متفاوتی هستند. اعتقاد بر این است که این مربوط به ماهیت خاص ذرات کربن است که به نوبه خود تحت تأثیر فرآیند تولید قرار دارند (کمسیون اروپا ۲۰۰۶). فیلترهای بستر استاتیک کک کوره دانه ای گرما (HFC) (کک ریز ۱،۲۵ میلی متر تا ۵ میلی متر) تقریباً تمام اجزای مربوط به گازهای خروجی مربوط به انتشار، به ویژه محتوای باقیمانده اسید کلریدریک، اسید هیدروفلوئوریک، اکسیدهای گوگرد، سنگین فلزات (از جمله جیوه) را حذف می کنند و گاهی اوقات غلظت این ترکیبات را به زیر حد تشخیص می رسانند. مکانیسم اثر HFC اساساً جذب و فیلتراسیون است. به طور کلی، زباله سوزها به دستگاه های تصفیه گاز دودکش مجهز هستند تا SO_2 ، NO_x و ذرات معلق (PM) آزاد نکنند و این دستگاه ها می توانند بخار جیوه و جیوه متصل به ذرات را به عنوان یک مزیت مشترک حذف کنند. تزریق کربن فعال پودری (PAC) یکی از فناوری های پیشرفته ای است که برای حذف جیوه در زباله سوزها یا نیروگاه های زغال سنگ استفاده می شود. جیوه جذب شده بر روی کربن های فعال شده می تواند دفع تثبیت یا جامد شود.

برای کاهش انتشار جیوه از زباله سوزها، اسناد زیر همچنین اطلاعات فنی را ارائه می دهند:

(الف) قانون ملی، به عنوان مثال، دستورالعمل EC / ۷۶/۲۰۰۰ اتحادیه اروپا در مورد سوزاندن زباله؛

(b) UNEP (2002): Global Mercury Assessment,

<http://www.unep.org/hazardoussubstances/LinkClick.aspx?fileticket=Kpl4mFj7AJU%3d&tabid=3593&language=en-US>;

(c) European Commission (2006): Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration,

<http://eippcb.jrc.es/reference/wi.html>;

(d) UNEP (2010c): Study on mercury sources and emissions and analysis of cost and effectiveness of control measures "UNEP Paragraph 29 study" (UNEP(DTIE)/Hg/INC.2/4),

<http://www.unep.org/hazardoussubstances/Mercury/Negotiations/INC2/INC2MeetingDocuments/tabid/3484/language/en-US/Default.aspx>; and

(e) UNECE Heavy Metals Protocol under LRTAP Convention.

هنگامی که از اسکرابر تر به عنوان یکی از روش های تصفیه گاز دودکش استفاده می شود، تصفیه فاضلاب دستگاه اسکرابر تر ضروری است.

کاهش رهاسازی جیوه از لند فیل

وقتی دفن زباله های حاوی یا آلوده به جیوه اجتناب ناپذیر باشد، سه نوع کانال آزادسازی جیوه از محل دفن بهداشتی به محیط وجود دارد: محل های دفن زباله ، شیرابه و گاز محل دفن زباله . مهمترین مکان انتشار جیوه از روی صورت و چاه های متان است (Lindberg and Price 1999). گزارش شده است که ترشحات جیوه از طریق شیرابه در مقایسه با گاز دفن زباله نسبتاً کم است (Yanase et al. 2009؛ Takahashi et al. 2004؛ Lindberg et al. 2001). جیوه منتقل شده به شیرابه را می توان با تصفیه شیرابه ، مانند فاضلاب دستگاه اسکرابر تر زباله سوزها است ، حذف کرد. رهاسازی جیوه از محل دفن زباله می تواند از طریق جداسازی زباله های حاوی یا آلوده به جیوه در محل دفن زباله و جلوگیری از سوزاندن آنها کاهش داد. برای کاهش انتشار مستقیم جیوه از زباله هایی که اخیراً به محل دفن زباله اضافه شده اند (لیندبرگ و پرایس ۱۹۹۹) و کاهش احتمال آتش سوزی در محل دفن زباله ، باید از پوشش روزانه محل دفن زباله استفاده شود. برای استفاده سریع از پوشش خاک در صورت آتش سوزی در محل دفن زباله ، مواد برای پوشش خاک باید در محل وجود داشته باشد و ماشین آلاتی که برای استفاده از پوشش خاک برای خاموش کردن آتش استفاده می شوند (به عنوان مثال ، کامیون کمپرسی ، بیل بولدوزر) باید فراهم شود. سیستم جذب گاز دفن زباله برای گرفتن بخار جیوه و متیل جیوه و جلوگیری از آزاد شدن آنها در جو، نصب شود.

فصل نهم :

روش های پاکسازی سایت ها آلوده

تعریف سایت های آلوده و اقدامات لازم در شرایط اضطراری

سایت‌های آلوده به جیوه در سراسر جهان گسترده بوده و عمدتاً نتیجه فعالیت‌های صنعتی، در درجه اول استخراج، تولید کلر و تولید محصولات حاوی جیوه است. اکثریت قریب به اتفاق آلودگی در این سایت‌ها نتیجه استفاده از ASGM (صنایع کوچک استخراج طلا) است، صنعتی که تا حد زیادی متوقف شده یا تحت کنترل نظارتی و مهندسی در کشورهای در حال توسعه در حال بهره برداری است.

شناسایی سایت های آلوده و واکنش اضطراری

شناسایی یک سایت آلوده به جیوه که سلامت انسان یا محیط زیست را تهدید می کند از طریق موارد زیر قابل انجام است:

الف) مشاهده بصری شرایط سایت یا منابع آلوده کننده

ب) مشاهده بصری ساخت یا سایر عملیات شناخته شده برای استفاده یا انتشار یک آلاینده خطرناک

ج) عوارض جانبی مشاهده شده در انسان، گیاهان، یا جانوران

د) نتایج فیزیکی یا تحلیلی که سطح آلاینده ها را نشان می دهد

ه) گزارشات انتشارات آلاینده به مقامات مربوط

پاکسازی صحیح زیست محیطی سایت های آلوده

اقدامات اصلاحی (پاکسازی ها) سایت های آلوده به جیوه به عوامل مختلفی بستگی دارد. در انتخاب اولیه گروهی از فناوری های اصلاحی غربالگری و سپس یک یا ترکیبی از تکنیک ها و فناوری ها به عنوان گزینه نهایی انتخاب می شود، عوامل موثر در انتخاب عبارتند از:

- عوامل محیطی
- منشأ آلودگی
- مقدار جیوه آزاد شده در حین عملیات
- وضعیت شیمیایی جیوه در سایت آلوده
- تعداد، اندازه و مکان کانون های آلوده به جیوه
- برای عملیات استخراج از جمله، ویژگی هایی نظیر: خصوصیات خاک و غیره
- پتانسیل متیلاسیون جیوه
- پتانسیل شستشوی جیوه از محیط آلوده (به عنوان مثال، خاک و رسوبات)
- آلودگی جیوه پس زمینه - رسوب جیوه جوی منطقه ای که مربوط به منابع محلی نیست.
- تحرک جیوه در سیستم آبی
- استانداردهای پاکسازی محلی / ایالتی / فدرال: آب، خاک / رسوب، هوا.
- دسترسی زیستی به زیست آبی، بی مهرگان، گیاهان خوراکی
- غلظت جیوه در گیرنده ها: انسان، حیوان و گیاه

پس از ارزیابی این عوامل ، می توان تجزیه و تحلیل کامل تری از تکنیک های مناسب اصلاح را آغاز کرد. بسته به شدت ، اندازه ، سطح و نوع و میزان آلودگی جیوه، در دسترس بودن و سایر آلاینده های موجود، این احتمال وجود دارد که یک برنامه پاکسازی که از چندین تکنیک استفاده می کند ، تهیه شود که به طور موثرتری سمیت را کاهش دهد.

جزئیات بیشتر تکنیک های اصلاح در "سایت های آلوده به جیوه: مروری بر راه حل های پاکسازی" (Hinton 2001) و "فناوری های تصفیه جیوه در خاک ، زباله و آب" (EPA 2007b ایالات متحده) یافت می شود.

اطلاعات مربوط به موارد اصلاح شده برای خلیج میناماتا ، ژاپن (تالار شهر میناماتا ۲۰۰۰) و منطقه کارخانه شیمیایی در مارکتردویتس ، آلمان (کمیته سازمان پیمان آتلانتیک شمالی در مورد چالش های جامعه مدرن ۱۹۹۸) نیز در این زمینه موجود است.

فصل دهم:

معرفی جایگزین های جیوه در مصارف مختلف

کاهش انتشار جیوه به موضوع جدیدی در زمینه اتحادیه اروپا نیست. آنها بیش از دو دهه، با تمرکز بر روی انتشار جیوه در جو ، ضایعات حاوی جیوه، ایمنی مصرف کنندگان و سایر موارد مسئله جیوه را دنبال می کنند.

با این حال ، چشم انداز جدیدی در اقدامات هماهنگ مندرج در استراتژی جامعه در مورد جیوه مشهود است ، که آن ، ساخت و حفظ یک چارچوب جامع و یکپارچه مدیریت صحیح جیوه و کنترل تأثیرات نامطلوب محیطی آن را به میزان کافی است. این استراتژی جامع پتانسیل زیادی در کاهش جیوه نه تنها در خاک اتحادیه اروپا ، بلکه در سطح جهانی دارد. اتحادیه اروپا در جایگاه خود به عنوان یکی از قوی ترین قدرت های اقتصادی جهان - قدرتی با تمرکز بر توسعه پایدار، نقش زیادی در تشویق مدیریت جهانی و مسئولانه آلودگی جیوه دارد.

استراتژی عمومی مربوط به جیوه با تمام جنبه های انتشار جیوه در محیط زیست ، از جمله آزاد سازی به دلیل ناخالصی های جیوه در مواد اولیه و منابع سوخت فسیلی و همچنین انتشار به دلیل استفاده عمدی از جیوه در محصولات و فرآیندها ، سروکار دارد.

این مطالعه زمینه ای برای تعدادی از اقدامات توصیف شده در استراتژی جامعه در مورد جیوه فراهم می کند:

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

مصارف مهم صنعتی

جیوه و جایگزین ها در محصولات و فرآیندها و انباشت در جامعه

تولید کلر قلیایی

صنعت کلر قلیایی یکی از بازیگران اصلی در صنایع شیمیایی اروپا است. در سال ۲۰۰۶ بیش از ۱۰/۵ میلیون تن کلر و ۱۱/۵ میلیون تن سود سوزآور در اروپا تولید کرد که ارزش بازار آن بیش از ۷ میلیارد یورو بود.



Source: Euro Chlor Industry Review 2006-7 (2007)

شکل ۱-۲ تولید کلر-قلیایی در EU27 + 2 با استفاده از فرآیند سلول جیوه (۲۰۰۶)

تنظیم برنامه های سلول جیوه

صنایع کلر قلیایی از جیوه در یک فرآیند الکترولیتی با انرژی بسیار بالا که بیش از ۱۰۰ سال قدمت دارد استفاده می کنند ، که در آن جیوه به عنوان یک کاتد برای جریان الکتریکی اعمال شده و همچنین به عنوان یک ترکیب کننده یونهای سدیم جدا شده از محلول نمک توسط جریان الکتریکی عمل می کند. یونها با جریان الکتریکی از محلول نمکی جدا می شوند. در حال حاضر بسیاری از این صنایع در اروپا (و سایر نقاط) به گزینه های بدون جیوه تبدیل شده اند ، حدود ۴۵ مورد از این تأسیسات در سال ۲۰۰۶ در اتحادیه اروپا باقی مانده است که مسئول حدود ۵/۵ میلیون تن کلر و حدود ۶ میلیون تن سوز آور است. براساس دستورالعمل IPPC اکثر تأسیسات کلر-قلیایی تا سال ۲۰۲۰ به پایان عمر فنی خود می رسند (SRIC 1998) این امر از طریق بسته شدن برخی از صنایع و تبدیل برخی دیگر به فرآیند غشا انجام می شود ، در برخی موارد همزمان ظرفیت تولید را گسترش می دهد.

هنوز مشخص نیست که چه تعداد صنعت ممکن است داوطلب باشند تا تغییر فرآیند دهند. بعضی از صنایع در ژاپن به دنبال حادثه میناماتا تا حد زیادی استفاده صنعتی از جیوه را کاهش دهند، پس از قطع مصرف دیگر برای سالها مجاز به استفاده از سلول های جیوه برای تولید هیدروکسید پتاسیم نبودند و تا سال ۲۰۰۲ به فرآیندهای بدون جیوه تبدیل شده بودند.

مقدار جیوه نگهداری شده توسط سلول های الکترولیتی حدود ۱/۸ تن در هر ۱۰۰۰ تن کلر ، تخمین زده می شود که به طور متوسط که در حدود ۱۰ هزار تن جیوه در موجودی سلول برای تمام صنایع اتحادیه اروپا وجود دارد.

مصرف و انتشار جیوه

صنعت کلر-قلیایی اتحادیه اروپا در انجمن صنعت (Euro Chlor) بخشی از فدراسیون صنایع شیمیایی است که ۹۵٪ از ظرفیت تولید کلر-قلیایی اتحادیه اروپا را در بین اعضای خود تشکیل می دهد. طبق گزارشات صنعت، در تولید کلر و مواد سوزاننده، شرکت های عضو یورو به طور متوسط هر ساله ۱۷۳ تن (محدوده ۱۶۰-۱۹۰ تن) جیوه در صنایع کلر قلیایی مصرف می کنند. مطابق با ترازهای جیوه که توسط صنعت تهیه شده است، "جیوه مصرفی" به تمام جیوه ای گفته می شود که لازم است به سلولهای الکترولیتی اضافه شود. این جیوه ممکن است از خریدهای خارج از صنعت، انتقال ذخایر جیوه در داخل صنعت مواد زائد صنعت کلر و قلیایی باشد که در خارج از سایت بازیافت می شوند، یا از پسماندهای بازیافت شده در صنعت کلر و قلیایی تامین شود.

بنابراین، به طور متوسط، از کل ۱۷۳ تن سالانه که به فرآیند الکترولیتی اضافه می شود، ۳۰-۴۰ تن آن از طریق عملیات بازیافت خارج از محل و در محل حاصل می شود. تخمین زده می شود که در حال حاضر حدود نیمی از جیوه در محل بازیابی شود، اگرچه سال های پیش این درصد به طور قابل توجهی کمتر بود.

میزان انتشارات محیطی جیوه توسط این شرکت ها (انتشارات اتمسفری، آبی و ...) ۸-۶ تن گزارش گردیده است. مقدار جیوه دفع شده در مواد زائد حدود ۸۰-۱۰۰ تن در سال تخمین زده شده است (پس از محاسبه ۳۰-۴۰ تن بازیافت شده).

گزینه های بدون جیوه در تولید کلر-قلیایی

دو فرآیند اصلی برای تولید کلر-قلیایی بدون استفاده از جیوه وجود دارد:

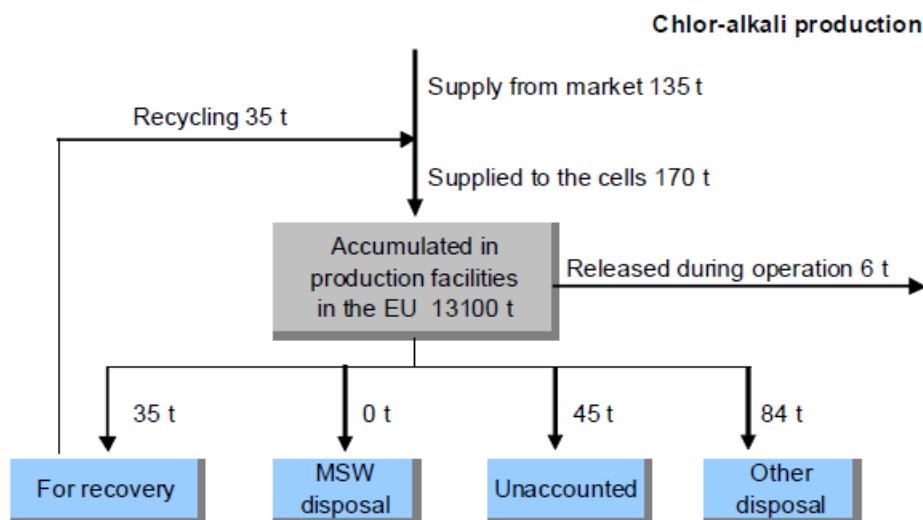
- فرآیند غشا^{۴۲}
- فرآیند دیافراگم^{۴۳}

طبق گزارش EIPPCB در خصوص بهترین تکنولوژی قابل دسترس^{۴۴}، این فرآیند ها هزینه کمتری دارند، دارای مصرف انرژی کمتری هستند و به محیط زیست آسیب نمی رسانند (BREF Chlor-Alkali 2001). ایالات متحده در ابتدا به عنوان گزینه ای جایگزین برای سلول های جیوه بیشتر به فرآیند دیافراگم متکی بود، زیرا آزیست و آب نمک در قاره آمریکای شمالی در دسترس تر بودند. از سال ۱۹۸۳ فناوری غشایی جایگزین گردید و از اوایل دهه ۱۹۹۰ تقریباً همه صنایع کلر قلیایی این کشور از این فرآیند برای تولید سود سوزآور (NaOH) و پتاس سوزآور (KOH) استفاده می کنند.

موانه جرمی جیوه در صنایع تولید کلر-قلیایی

داده های به دست آمده در مورد جریان های جیوه برای تولید کلر و قلیایی در نمودار زیر خلاصه می شود:

4 membrane	2
4 diaphragm	3
4 Best Available Techniques	4



منابع نوری

لامپ های جیوه ای ، منابع نوری کارآمدی هستند که به طور معمول ۳-۵ برابر انرژی کمتری نسبت به لامپ های رشته ای (رشته ای) با خروجی قابل مقایسه مصرف می کنند. بعلاوه ، عمر مفید آنها معمولاً ۵-۱۰ برابر لامپ های رشته ای و متوسط طول عمر ۱۰۰۰ ساعت است (ELC 2004).

یک لامپ جیوه ای معمولی از یک لوله شیشه ای با روکش فسفر تشکیل شده است که در دو سر آن الکتروود وجود دارد. این لوله مملو از بخار جیوه است که هنگام عبور جریان برق از لامپ به حالت الکترونیکی بالاتری برانگیخته می شود.

همانطور که جیوه انرژی می گیرد ، اشعه ماورا بنفش (UV) ساطع می کند ، که توسط شیشه های پوشیده شده از فسفر جذب می شود و باعث فلورسنت و انتشار نور مرئی می شود (Kuiken 2002). طبق نظر انجمن مهندسی نورپرداز آمریکای شمالی ، تولید یک لامپ فلورسنت بدون جیوه امکان پذیر است ، اما لامپ حدود ۷۰٪ کارایی کمتری دارد (Lightfair 2002).

لامپهای حاوی جیوه در درجه اول شامل لامپ های فلورسنت (لوله ای و لامپ های کم فشار فلورسنت (CFL)، لامپهای تخلیه با شدت بالا (HID) (لامپ های بخار جیوه ، هالید فلزی ، لامپ های فشار بالای سدیمی ، لامپ های تخلیه جیوه کم فشار و...) و منابع نور کاند سرد (ماورای بنفش و "نئون") هستند.

لامپهای فلورسنت شامل لامپ های مستقیم با طول های مختلف ، لامپ های کم فشار برای جایگزینی لامپهای رشته ای ، لامپهای داخلی به شکل هاله و لامپهای کوچک فلورسنتی (کاند سرد قابل تنظیم) که در LCD های دارای نور پس زمینه در رایانه های لپ تاپ و سایر دستگاه ها ، وسایل وجود دارد، هستند. آنها معمولاً در روشنایی مطب ها، داخل ساختمان و برنامه های تجاری استفاده می شوند، در حالی که CFL ها اغلب در خانه ها استفاده می شوند. حدود ۵۰۰۰ محصول مختلف لامپ فلورسنت در بازار وجود دارد. لامپ های لوله ای بیشترین حجم لامپ فلورسنت فروخته شده و تقریباً ۷۰ درصد از بازار لامپهای فلورسنت را برای اهداف عمومی روشنایی تشکیل می دهند.

لامپهای با شدت زیاد HID، که معمولاً از جیوه به عنوان آغازگر و برای کنترل ولتاژ استفاده می کنند، معمولاً در روشنایی امنیتی ، روشنایی خیابان ، روشنایی فضای باز و پارکینگ ، انبارها و غیره استفاده می شوند. لامپ های سدیم فشار بالا برای

روشنایی با شدت بالا ، به عنوان مثال، در موسسات تجاری و روشنایی خیابان استفاده می شود. لامپ های جیوه ای کم فشار ، حاوی جیوه هستند تا عملکرد کارآمد تخلیه گاز الکتریکی را تضمین کنند. در مقابل لامپ های کم فشار سدیمی ، که بیشتر در روشنایی خیابان ها مورد استفاده قرار می گیرند، عاری از جیوه هستند.

لامپ های ماورای بنفش و کاتدی سرد ترجیح داده می شود چرا که قابلیت تنظیم میزان روشنایی دارند و معمولاً در تجهیزات برنزه سازی پوست ، آزمایشگاه ها و برنامه های پزشکی استفاده می شوند ، در حالی که لامپ های نئون اغلب در مصارف نمایشی ، علائم روشنایی و طیف وسیعی از کاربردهای خاص مشاهده می شوند.

برای سادگی ، می توان از نظر میزان فروش کلی و محتوای جیوه ، روی سه نوع عمده لامپ متمرکز شد:

منابع لامپ و محتوای جیوه

علاوه بر لامپ های توضیح داده شده در بالا ، میلیون ها لامپ کم مصرف نیز در دستگاه های الکترونیکی استفاده می شود که در جدول زیر خلاصه شده است.

COMEXT code & lamp types		2000	2003	2006
8539 31 10 –(tubes) DISCHARGE LAMPS, FLUORESCENT, HOT CATHODE, WITH DOUBLE ENDED CAP	EU27_extra import	3,482	3,081	7,175
	EU27_extra export	22,441	20,548	26,759
8539 31 90 – (CFLs) DISCHARGE LAMPS, FLUORESCENT, HOT CATHODE (EXCL. WITH DOUBLE ENDED CAP	EU27_extra import	6,680	9,201	22,200
	EU27_extra export	6,181	5,920	4,945
8539 32 10 – (HID-1) MERCURY VAPOUR LAMPS	EU27_extra import	594	393	1,065
	EU27_extra export	1,030	838	317
8539 32 50 – (HID-2) SODIUM VAPOUR LAMPS	EU27_extra import	130	349	481
	EU27_extra export	924	773	567
8539 32 90 – (HID-3) METAL HALIDE LAMPS	EU27_extra import	372	773	1,029
	EU27_extra export	516	513	1,392
8539 39 00 – (other) DISCHARGE LAMPS (EXCL. FLOURESCENT, HOT CATHODE LAMPS, ULTRAVIOLET LAMPS, ETC.)	EU27_extra import	1,349	2,562	2,062
	EU27_extra export	1,036	1,728	802

Source: COMEXT database

این لامپ ها معمولاً کوچک هستند ، اما به دلایل فنی اغلب حاوی جیوه ای معادل لامپ های CFL هستند و برای برخی از دستگاه ها مانند نمایشگرهای لپ تاپ یا تلویزیون ، ممکن است ۶ یا بیشتر لامپ وجود داشته باشد. بر اساس مقاله ای که برای انگلستان تهیه شده است (AEA 2007)، مقدار جیوه موجود در این لامپ ها در بازار انگلیس در سال ۲۰۰۷ حدود ۴۰۰ کیلوگرم برآورد شده است.

گزینه های بدون جیوه در منابع نوری

روشنایی عمومی خانگی

در طول دهه های گذشته تلاش پیشگامان فناوری در کاهش میزان جیوه مصرفی در هر لامپ متمرکز شده است. بدین ترتیب ، مصرف جیوه در بهترین لامپهای موجود تقریباً به یک دهم مقادیر استفاده شده در لامپهای فلورسنت استاندارد کاهش یافته است.

دیودهای ساطع کننده نور (LED)

در سال های اخیر ، انواع مختلفی از لامپ های کم انرژی بدون جیوه، دیودهای ساطع کننده نور (LED) تولید شده اند که اکنون با سوکت های گرد و لامپ های انتشار میدانی به صورت تجاری در دسترس و قابل استفاده هستند (Maag و همکاران ۲۰۰۷).

LED ها چندین دهه است که در دسترس هستند و تقریباً در طی پنج سال گذشته ، انواع جدیدی از دیودها با رنگ های نزدیکتر به رنگ "سفید" به صورت تجاری در دسترس قرار گرفته اند. جول (۲۰۰۷) ؛ هارالد نیبورگ (۲۰۰۷) ؛ ترندن ؛ (۲۰۰۸) ؛ Dioder.dk (2008) .

به تازگی LED هایی برای اهداف عمومی روشنایی با استفاده از ۲۳۰ و ۱۱۰ ولت مستقیم و بدون نیاز به ترانسفورماتورهای AC/DC تولید شده اند. توانایی عملکرد بدون ترانسفورماتور بسیار مهم است، زیرا ممکن است در برخی موارد ترانسفورماتور داخلی نقطه ضعف لامپهای LED باشد که طول عمر لامپ را محدود می کند. LED ها با نیمی از انرژی مصرفی لامپ های فلورسنت دارای طول عمر حداکثر ۱۰۰۰۰۰ ساعت می باشند.

لامپ های انتشار میدانی^{۴۶}

فناوری دیگری که به طور بالقوه جایگزین لامپ های CFL می شود ، لامپ های انتشار میدانی است. با این حال ، به نظر می رسد انرژی بیشتری در هر لومن نسبت به لامپهای کم مصرف فلورسنت (CFL) مصرف می کنند. از مزایای آن در مقایسه با CFL ، علاوه بر عدم محتوای جیوه و سرب ، روشنایی فوری (عدم سوسو زدن) ، عملکرد بالا حتی در دمای پایین است و می توان از آنها به عنوان روشنایی کم نور استفاده کرد. (Baltscheffsky 2007 و NyTeknik 2007).

High-efficiency incandescents

لامپ رشته ای با بازده بالا

در سال ۲۰۱۰ شرکت جنرال الکتریک فروش لامپ رشته ای با بازده بالا با کارایی دو برابر لامپ های رشته ای موجود، آغاز نمود. (GE 2007) این شرکت اعلام کرد ، این لامپ های جدید از نظر کارایی با لامپ های فلورسانس قابل مقایسه هستند.

Organic light-emitting diode (OLED)

دیوید ساطع کننده نور ارگانیک

4 Light Emitting Diodes	5
4 Field Emission Lamps	6

این دستگاه‌ها فیلم‌های نازکی هستند که از پلیمرها ساخته شده‌اند و هنگام اعمال بار الکتریکی باعث ایجاد نور می‌شوند. جنرال الکتریک در ۱۱ مارس ۲۰۰۸ اعلام کرد که با موفقیت تولید OLED شده‌اند که هزینه‌های آنها را به طور چشمگیری کاهش می‌دهد.

در حال حاضر منابع روشنایی کم مصرف به دلیل کاهش تقاضای انرژی و با هدف به حداقل رساندن تغییرات آب و هوایی در جهان، در اولویت هستند. تمرکز بیشتر روی لامپ‌های کم مصرف ممکن است توسعه و بازاریابی لامپهای بدون جیوه را افزایش دهد. لامپ‌های بخار جیوه HID می‌توانند با لامپ‌های سدیمی یا متال هالید با فشار بالا جایگزین شوند، هر دو مورد اخیر اکنون در نسخه‌های بدون جیوه، از جمله در بیشتر وات‌های بالاتر، در دسترس هستند.

نور پس زمینه صفحه‌های تخت LCD

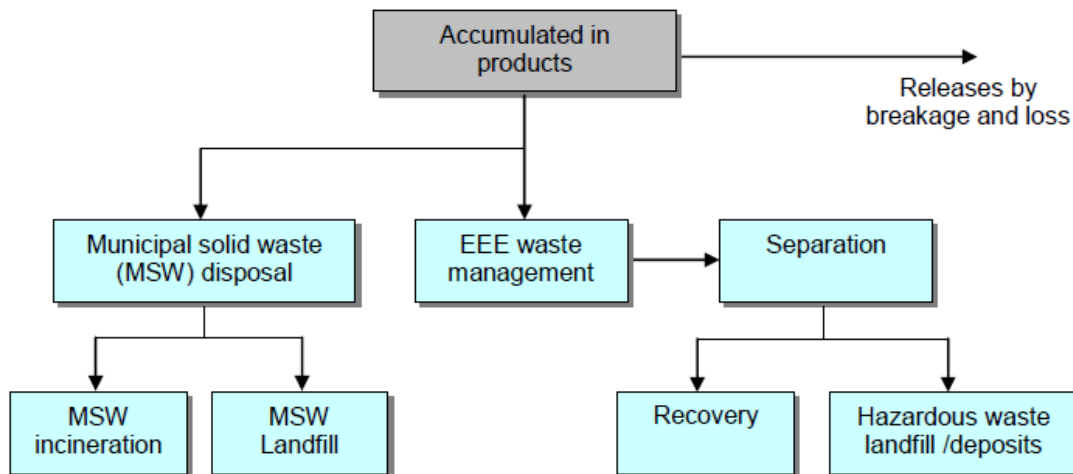
صفحه‌های تخت LCD که به طور سنتی توسط چراغ‌های فلورسنت کوچک روشن می‌شدند، اکنون با لامپ‌های LED برای رایانه‌های پیشرفته، تلویزیون‌های صفحه تخت و دستگاه بازی‌های رایانه‌ای در دسترس هستند (Infoworld (2006)). عملکرد بهتر و مصرف کم انرژی، مزایای اصلی برای استفاده از آنها هستند.

چراغ‌های جلو اتومبیل

لامپ‌های جیوه‌ای که به عنوان چراغ‌های جلو اتومبیل استفاده می‌شوند توسط چراغ‌های زنونی قابل جایگزینی هستند. اولین استفاده از LED ها در چراغ‌های جلو اتومبیل در سال ۲۰۰۴ (توسط برند عالی آئودی) معرفی شد، همچنین در سال ۲۰۰۷، اولین چراغ‌های اصلی مارک پیشرفته ژاپنی لکسوس مبتنی بر لامپ‌های LED بودند (Compoundsemiconductor.net, ۲۰۰۴، ۲۰۰۷).

جمع‌آوری و تصفیه لامپ‌های حاوی جیوه در زباله‌ها در نمودار زیر نشان داده شده است:

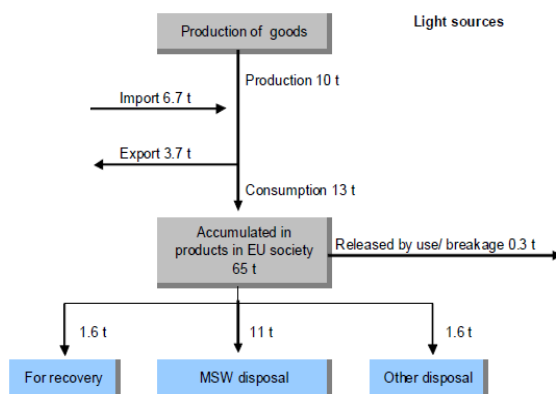
با اجرای بخشنامه WEEE، تولیدکنندگان لامپ مسئولیت جمع‌آوری و بازیافت لامپ‌ها را بر عهده گرفتند. براساس این بخشنامه محصولاتی که تحت تعریف زباله‌های الکترونیکی قرار می‌گیرند، هزینه‌های مدیریت پسماند آنها توسط تولیدکنندگان تأمین شود. این دستورالعمل بیان می‌کند که برای محصولاتی که پس از آگوست ۲۰۰۵ به بازار عرضه شدند، تولیدکنندگان مسئولیت تأمین مالی هزینه‌های جمع‌آوری، تصفیه، بازیابی و دفع زیست‌محیطی هستند.



از آنجا که متوسط محتوای جیوه لامپ ها طی سالها بطور قابل توجهی کاهش یافته است، برآورد مقدار کل جیوه لامپهای جمع آوری شده به شدت به غلظت متوسط اعمال شده بستگی دارد و مقایسه داده های سالهای مختلف دشوار است. محتوای جیوه لامپ ها که بهترین فناوری ساخت را در زمان خود داشتند، از حدود ۳۰ میلی گرم به ازای هر لامپ در سال ۱۹۹۴ به حدود ۸ میلی گرم به ازای هر لامپ در سال ۲۰۰۰ کاهش یافت. (ELC 2008b).

موانه جرمی جیوه در منابع نوری

داده های به دست آمده در مورد جریان جیوه که در لامپ مصرف می شود، در نمودار زیر خلاصه می شود. تقریباً تخمین زده می شود که با شکستن هر لامپ ها ۲٪ از جیوه به محیط آزاد شود. میزان تولید جیوه از جامعه نسبت به میزان منعکس کننده ورودی کمتر است وضعیتی که مصرف کل جیوه با وجود محتوای کمتر جیوه در واحد در حال افزایش است.



باتری ها

عمدتاً به دلیل مقررات، جیوه به باتری ها اضافه نمی شود، اگرچه باتری های مینیاتوری یا دکمه ای که حجم فروش آنها همچنان در حال افزایش است، به دلیل محتوای جیوه تحت نظارت دستورالعمل EEC /۱۵۷/۹۱ شورای ۱۸ مارس ۱۹۹۱ در مورد باتری های حاوی برخی مواد خطرناک، جمع آوری، بازیابی ایمن و دفع باتری های مصرف شده و باتری های جمع شده

حاوی مواد خطرناک (جیوه ، کادمیوم یا سرب) هستند. سازگاری اشاره شده در بخشنامه EC/۱۰۱/۹۸ فروش باتری های حاوی بیش از ۰/۰۰۰۵٪ جیوه را ممنوع می کند. سلول های دکمه ای با وزن بیش از ۲٪ جیوه ، مانند باتری های "تجهیزات پزشکی" و "سیستم های زنگ خطر" از این قاعده مستثنی هستند.

بنا بر دلایل زیر باتری ها همچنان از نظر جیوه یک نگرانی مهم هستند:

(۱) حجم زیادی که در بازار عرضه می شوند

(۲) باتری های قدیمی که در جریان زباله وجود دارند، مقادیر بسیار بیشتری از جیوه نسبت به باتری های جدید وارد می کنند

(۳) شواهد آماری مبنی بر وجود باتری های اکسید جیوه (یا قطعات باتری)

باتری های دکمه ای

باتری های دکمه ای زیر در حال حاضر در بازار عرضه می شوند:

- دی اکسید منیزیم لیتیوم (۰٪ جیوه) - کاربردهای معمول: دستگاه های عکاسی ، درب اتوماتیک گاراژ ، وسایل الکترونیکی.
- اکسید نقره (۰/۲ - ۱٪ جیوه) - کاربردهای معمول: ساعت
- دی اکسید منگنز قلیایی (۰/۹ - ۰/۱٪ جیوه) - کاربردهای معمول: ماشین حساب ، دستگاه های الکترونیکی کوچک ، کنترل از راه دور
- هوای روی (۲ - ۰/۳٪ جیوه) - کاربردهای معمول: سمک ، صفحه.

باتری های استوانه ای یا مستطیلی

باتری های استوانه ای زیر در حال حاضر به بازار عرضه می شوند:

- منگنز قلیایی (قبلاً به طور متوسط حاوی ۰/۵٪ جیوه برای کنترل واکنش روی بود ، سپس ۲۵ میلی گرم جیوه و اکنون ۰/۰۰۰۵٪ جیوه) - کاربردهای معمول: چراغ قوه / مشعل ، ردیاب دود ، وسایل الکترونیکی مصرفی مانند دوربین ها ، رادیوها ، کنترل از راه دور اسباب بازی ، کنسول بازی و غیره.
 - کربن روی (قبلاً از جیوه نیز استفاده می شد ، اکنون بدون جیوه است) - کاربردهای معمول مانند ساعت ، دربازکن درب گاراژ ، صفحه ، زنگ در ، آشکارساز دود و غیره. طول عمر این باتری ها کوتاه تر از باتری های قلیایی است.
 - دی اکسید منگنز لیتیوم (۰٪ جیوه) - کاربردهای معمول: دوربین ها ، اسباب بازی ها.
- علاوه بر این ، باتری های اکسید جیوه ، جیوه روی (به طور کلی در ۳۰-۴۰ درصد جیوه تخمین زده می شود) در تجهیزات پزشکی و نظامی به دلیل ماندگاری طولانی مورد استفاده قرار می گیرند. این باتری ها هنوز هم در اتحادیه اروپا مورد استفاده قرار می گیرند ، هرچند دیگر تولید نمی شوند.

بازار باتری و مقادیر جیوه

باتری های مصرف کننده

طبق EPBA، با ادامه کاهش میزان جیوه در سلول های دکمه ای، سلول های دکمه ای (با وزن متوسط ۲/۵ - ۳ گرم) اکنون حاوی محتوای جیوه به مقادیر زیر هستند:

- دی اکسید منگنز لیتیوم ۰٪ جیوه
- اکسید نقره ۰,۴٪ جیوه
- دی اکسید منگنز قلیایی به طور متوسط ۰,۱۶٪ جیوه
- روی ۰,۱٪ جیوه

بر اساس دستورالعمل در هر باتری، مقدار مجاز کربن روی به طور متوسط ۵۰ گرم و سیلندرهای قلیایی به طور متوسط در حدود ۳۳ گرم و هیچ یک از آنها نباید بیش از مقدار کمی جیوه داشته باشند.

باتری های دکمه ای اکسید مرکوریک

استفاده از این باتری های دکمه ای غیرقانونی بوده مگر اینکه آنها برای اهداف پزشکی یا اورژانسی یا سیستم های هشدار استفاده شوند.

از آنجا که این باتری ها همچنان در زباله های موجود در بازیافت ها ظاهر می شوند، هرگونه مصرف "پزشکی" که ممکن است باقی بماند در درجه اول برای سمعک ها است. در هر صورت، در حالی که محتوای جیوه زیاد است ۳۰-۴۰ درصد وزنی تخمین زده می شود، اما در عمل ۲۰-۲۵٪ مشاهده می شود.

باتری های اکسید جیوه

از این دست باتری ها دو مدل در بازار وجود دارد که در مقایسه با تناژ بالای باتری های کربن-روی و باتری های قلیایی مورد استفاده در اتحادیه اروپا، فراوانی کمتری دارد، اما حاوی جیوه زیادی است. به همین علت در خصوص این باتری ها مجموعه ای از سوالاتی مطرح می شود:

- آیا همه این باتری های جیوه ای در کاربردهای پزشکی و نظامی مورد استفاده قرار می گیرند؟
- در این صورت، آیا انگیزه ای وجود دارد که کاربران را ترغیب کند به دنبال جایگزینی برای آنها با آن باشند؟
- چه تعداد از این باتری های جیوه ای جمع آوری و بازیافت می شوند و آیا آنها می توانند مسئول افزایش سطح جیوه مشاهده شده توسط بازیافت کننده های باتری باشند؟
- باتری های جیوه ای که جمع آوری و بازیافت نمی شوند چه می شوند؟

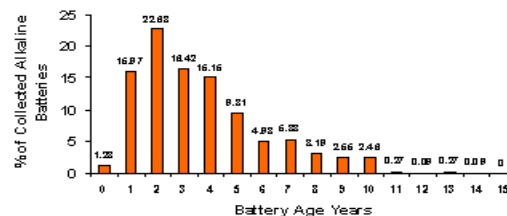
هیچ مدرک مستندی از میزان مصرف باتری اکسید جیوه وجود ندارد. ولی با توجه به شواهد موجود به نظر می رسد که باتری های اکسید جیوه ای برای کاربردهای پزشکی و نظامی مصرف می شوند، اما از طرق مختلف و به دلیل عدم کنترل کافی بر جریان زباله، این باتری ها و اثرات سو آنها، از آن موسسات به دامنه عمومی منتقل شده اند.

تجمع جیوه در باتری ها در جامعه

محاسبه مقدار جیوه جمع شده در باتری ها در جامعه به چند دلیل پیچیده است.

اول ، یک تجزیه و تحلیل EPBA از باتری های ضایعات جمع آوری شده در هلند نشان داده است که باتری های اولیه ممکن است از تاریخ خرید ۱۵ سال طول بکشد تا در جریان زباله ظاهر شوند ، اگرچه همانطور که در شکل ۲-۲ دیده می شود باتری های بیش از ۱۰ سال کمتر از یک درصد کل باتری ها را تشکیل می دهند.

Age Profile of Alkaline Batteries in Waste



شکل ۲-۲ مشخصات سن باتری های قلیایی جمع آوری شده در هلند (EPBA 2008)

ثانیاً ، بخشی از پدیده فوق به دلیل احتکار است که در آن افراد یا سازمانها ممکن است باتریهای استفاده شده را برای سالهای زیادی قبل از اینکه دفع کنند ، در مجموعه خود ذخیره کنند.

ثالثاً ، در بیش از ۱۰ سال گذشته ، مانند اکثر محصولات مصرفی ، کاهش قابل توجهی در استفاده از جیوه در باتری ها وجود داشته است.

گزینه های بدون جیوه در باتری ها

در جدول ۲-۱۶ خلاصه داده های باتری های دکمه ای ، به عنوان یک گزینه باتری بدون جیوه ذکر شده است ، اگرچه تولیدکنندگان باتری معیارهای زیادی برای انتخاب بهترین باتری مینیاتوری برای محصول خود دارند ، از جمله هزینه ، ولتاژ اسمی ، ظرفیت ، اندازه/شکل فیزیکی، مشخصات تخلیه و ...

جدول ۲-۱۶ داده های اساسی باتری های دکمه ای (Galligan and Morose 2004)

Lithium	Zinc Air	Silver oxide	Alkaline	
درصد ۰	۲-۰/۳ درصد	۱-۰/۲ درصد	۰/۹-۰/۱ درصد	محتوای معمولی جیوه
۳	۱/۴	۱/۵۵	۱/۵	ولتاژ اسمی (V)
۲۵-۱۰۰۰	۳۳-۱۱۰۰	۲۰۰-۵/۵	۱۵-۸۳۰	ظرفیت (میلی آمپر)

تولید کنندگان همچنین از گزینه های بدون جیوه ای نظیر باتری های اکسید نقره ، دی اکسید منگنز قلیایی ("قلیایی") و باتری های سلول دکمه ای استقبال می کنند.

چندین سال پیش ، طبق گفته Energizer ، تولید کننده باتری روی با جیوه صفر ، تولید این باتری بسیار چالش برانگیز بود، این باتری ها "حجم قابل کنترل"^{۳۴} را ارائه می دهند و ویژگی عملکردی خوبی در مقایسه با باتری های جیوه دارند. از لحاظ معیارهای اقتصادی اطلاعات زیادی در دسترس نیست اما ، بر اساس گزارشات یک تولید کننده ، باتری های مینیاتوری عاری از

⁴ Manageable volume

جیوه در مقایسه با باتری های جیوه ، حق بیمه ۲۴-۳۰٪ دارند. پیش بینی می شود که با افزایش حجم فروش و رقابت برای باتری های مینیاتوری عاری از جیوه ، این اختلاف هزینه به تدریج کاهش یابد (گالیگان و موروس ۲۰۰۴).

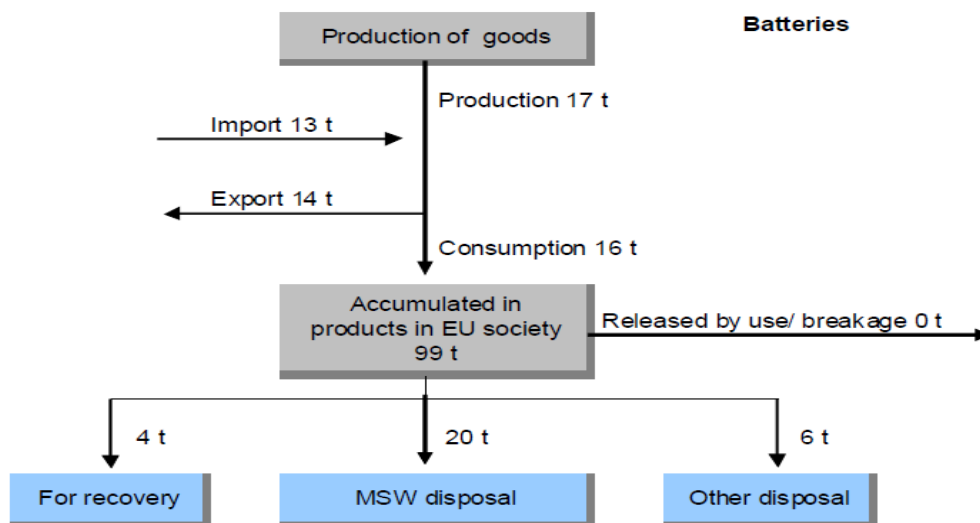
حداقل دو شرکت - سونی و نیو لیدر - باتری های دکمه ای اکسید نقره بدون جیوه را برای فروش در بازار جهانی ارائه می دهند. سونی ادعا می کند که با فروش بیش از ۴۰۰ میلیون سالانه در میان بزرگترین تولید کنندگان باتری اکسید نقره در جهان قرار دارد. این شرکت بیش از ۴۰ مدل باتری اکسید نقره در اندازه های مختلف تولید می کند و از سال ۲۰۰۴ برای حذف جیوه از کل خط تولید خود برنامه ریزی کرده است. باتری های اکسید نقره سونی عمدتاً در ساعت ها ، دماسنج تب دیجیتال و محصولات بازی استفاده می شود (سونی ۲۰۰۴).

استفاده از باتری های جیوه ای در کلینیک های پزشکی ، و همچنین بیشتر برنامه های نظامی ، تقریباً همیشه می تواند با گزینه های مناسب جایگزین شود:

- گزینه های جایگزین باتری های بزرگ اکسید جیوه شامل استفاده از باتری های قلیایی ، روی ، نیکل-کادمیوم قابل شارژ و لیتیوم است.
- باتری های دکمه ای حاوی جیوه را می توان با باتری های روی ، لیتیوم یا دکمه های قلیایی جایگزین کرد.
- باتری های روی^۴ اغلب می توانند برای مانیتورهای از راه دور استفاده شوند. گزارش شده است که عملکرد این باتری ها عملکرد بهتری و ماندگاری بالاتری نسبت به باتری های حاوی جیوه دارند.

موازنه جرمی جیوه در باتری ها

موازنه جرمی جیوه در باتری ها در نمودار جریان زیر خلاصه شده است.



مصارف مهم پزشکی و بهداشتی

آمالگام دندان

استفاده و انتشار جیوه

استفاده از جیوه در پرکردن دندان ها قسمت قابل توجهی از مصرف سالانه جیوه را تشکیل می دهد. "پرکننده های نقره ای^{۳۹} سنتی که برای پر کردن حفره های دندانی استفاده می شود تقریباً ۵۰٪ جیوه دارد. امروزه گمانه هایی در خصوص اثرات بالقوه آمالگام ها بر روی سلامتی و همچنین مسیرهای مختلف رهاسازی جیوه به محیط، اهمیت توجه به جیوه موجود در آمالگام های دندانی را بیشتر می کند.

اکنون در بسیاری از کشورهای پر درآمد، استفاده از جیوه در آمالگام دندان در حال کاهش است (نظرات فنلاند، ۲۰۰۶؛ نظرات ADA، ۲۰۰۶). از جمله، سوئد، دانمارک، نروژ و فنلاند اقداماتی را برای کاهش چشمگیر استفاده از آمالگام های دندانی حاوی جیوه انجام داده اند. با این حال، سرعت کاهش مصرف جیوه در کشورها بسیار متفاوت است، به طوری که استفاده از جیوه دندان در اکثر کشورهای اتحادیه اروپا هنوز قابل توجه است ولی در سوئد و دانمارک تقریباً متوقف شده است. تغییر رژیم های غذایی و دسترسی بهتر به مراقبت های دندانپزشکی ممکن است باعث افزایش موقت استفاده از جیوه شود، خصوصاً در مواردی که هزینه های درمان و دندان پزشکی مناسب است. برآوردها نشان می دهد سالانه حدود ۸۰-۱۱۰ تن جیوه برای تولید آمالگام دندانی مصرف می شود. از این مقدار ۷۰٪ به صورت کیسول جیوه و ۳۰٪ به شکل جیوه مایع استفاده می شود. کیسول ها به دلیل محدود کردن احتمال نشت، کاهش مواجهات شغلی و افزایش اطمینان از ترکیب مناسب فلزات با هم ترجیح داده می شوند اما گران تر از جیوه فله ای هستند.

مسیرهای دفع جیوه در دندانپزشکی شامل زائادات آمالگام در فاضلاب، مواد اضافی تراش خورده آمالگام؛ کشیدن دندان های پر شده حاوی آمالگام؛ آمالگام های استفاده نشده، انتشار جیوه به طور مستقیم به هوا و ... می باشند. تله ها، فیلترها و سایر

⁴ silver fillings

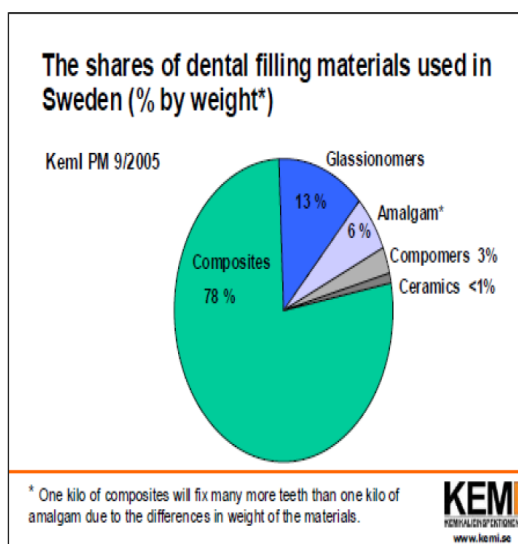
دستگاه ها در کلینیک های دندانپزشکی برای حذف جیوه از فاضلاب و هواطراحی شده اند، همچنین گزینه های مختلف دفع پسماند برای مدیریت پسماند های حاوی جیوه توصیه شده اند.

گزینه های آمالگام بدون جیوه

گزینه های بدون جیوه برای پر کردن دندان بیشتر شامل تغییر عادت ها ، آموزش دندانپزشکی مناسب ، در انتخاب گزینه مناسب، تجربه با مواد جدید و ... است.

مواد جایگزین

موادی را که برای ترمیم فرم و عملکرد دندانها استفاده می شوند را می توان به مواد اعمال شده با روشهای مستقیم و غیر مستقیم تقسیم کرد. در یک روش مستقیم ، مواد با حالت پلاستیکی وارد شده و در دندان سفت می شوند ، در حالی که در یک روش غیر مستقیم ، معمولاً برداشت ایجاد می شود ، سپس توسط یک تکنسین دندانپزشکی برای ایجاد خاتم یا تاج استفاده می شود. از آنجا که قرار دادن آمالگام یک روش مستقیم در نظر گرفته می شود ، گزینه های مناسب بدون جیوه نیز معمولاً از طریق یک روش مستقیم اعمال می شوند.



همانطور که در بالا مشاهده شد (برآورد از سال ۲۰۰۵) ، متداولترین گزینه در سالهای اخیر انواع مختلفی از کامپوزیتها (به عنوان مثال ، مواد بر پایه رزین پلیمری) است ، که ممکن است تقریباً همه کاربردهای آمالگام را جایگزین کند. مواد دیگر مورد استفاده سرامیک (از جمله پرسلان) و یونومرهای شیشه ای یا ترکیب مواد به عنوان مثال "کامپومرها" که ترکیبی اصلاح شده هستند. همچنین مخروط های سرامیکی پیش ساخته ای وجود دارد که به داخل پر کننده های کامپوزیت فشار داده می شوند تا انقباض پر شدن را کاهش دهند.

در راستای افزایش علاقه در مصرف کننده ، تحقیقات مداوم در مورد تولید مواد جدید وجود دارد. یک مثال سرامیک های هیدراته است که ماده ای سازگار با بدن را تشکیل می دهد که از نظر شیمیایی و بیولوژیکی در بافت ادغام شده است. مثال دیگر تکنیک مخلوط کردن پودر سرامیک در مواد کامپوزیتی است که باعث افزایش مقاومت دندان های پر شده می شود.

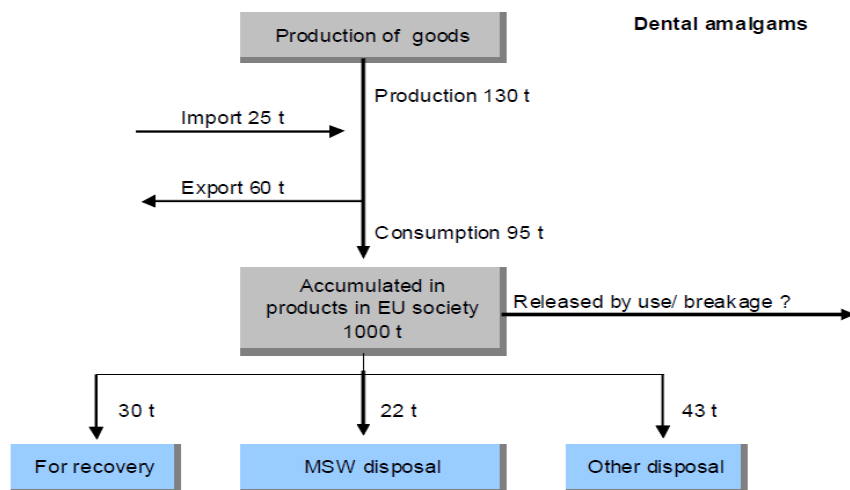
هزینه گزینه های جایگزین

از کل فاکتور دندانپزشکی برای قرار دادن پر کردن آمالگام ، هزینه مواد آمالگام معمولاً بیش از ۵٪ از هزینه کل روش نیست. اگرچه برخی از مواد جایگزین عاری از جیوه ممکن است دو برابر این هزینه باشد ، اما واضح است که هزینه مواد دندانپزشکی نیست که باعث افزایش فاکتور می شود.

با این وجود ، دلایلی وجود دارد که اکثر دندانپزشکان همچنان به ارائه محصول پر کننده آمالگام با قیمت قابل توجهی پایین تر ادامه می دهند. با وجود اینکه بندرت با بیمار در مورد هزینه یک عمل دندانپزشکی صحبت می شود ، ام به طور کلی تفاوت قیمت برای بسیاری از بیماران دندانپزشکی مهم است.

موازنه جرمی جیوه در تولید آمالگام دندان پزشکی

داده های بدست آمده از جریان های جیوه از آمالگام های دندانی در نمودار زیر خلاصه می شود. به منظور پیروی از قالب نمودار کلی ، تمام جیوه ای که بازیافت نشده یا در زباله های جامد شهری (MSW) به سرانجام نمی رسد ، به عنوان "دفع دیگر" نشان داده شده است. لازم به ذکر است که انتشارات حاصل از سوزاندن در "دفع دیگر" گنجانده شده است. مقادیر کمی جیوه در هنگام پر کردن دندان ها آزاد و در محیط اطراف رها می شود.



فصل یازدهم:

بهداشت و ایمنی

پلان پاسخگویی به شرایط اضطراری

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

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

- کارگران دائمی
- کارگران موقت
- امور اداری و دفتری
- انباردارها
- نظافتچی ها
- 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 موقعیت های کاری مانند: دفاتر کار، فرآیندها، طبقات، ماشین آلات، ایستگاه های کاری دائم یا موقت، اضافه کاری، شیفت های کاری اضطراری و فعالیت های معمولی و غیر معمولی مانند:

- خرابی ها
- 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 دستکش ها، لباس، کفش ها، عینک و سایر ملزومات شخصی
- آلودگی پوستی به هنگام پوشیدن و بیرون آوردن دستکش ها، لباس و کفش ها
- عدم شستن دقیق پوست، ناخن و مو در پایان شیفت کار
- در نظر گرفتن پتانسیل استنشاق بخار جیوه در هر فعالیت
 - آلودگی مو، صورت، پوست، لباس و دستکش ها ب ه هنگام تبخیر خصوصاً در منطقه تنفسی
 - آلودگی سطوح کار، کف به هنگام تبخیر
 - دمای محیط کار بالاتر از ۲۴۸°
 - تبخیر جیوه از ظروف در باز
 - افزایش تبخیر جیوه ناشی از حرارت
 - آلودگی ناشی از استعمال سیگار
 - آلودگی داخل ماسک تنفسی
 - عدم انتخاب، نگهداری و یا استفاده درست از ماسک تنفسی
 - عدم طراحی، نگهداری و یا استفاده درست از تهویه
- در نظر گرفتن پتانسیل جیوه تزریق شده به درون بدن
 - استفاده از تجهیزات با فشار بالا
 - دست زدن به اشیاء تیز آلوده مانند شیشه شکسته
- در نظر گرفتن پتانسیل آلودگی ناشی از اتومبیل های پرسنل
- در نظر گرفتن پتانسیل آلودگی ناشی از منازل پرسنل
- حذف جیوه از روی سطوح کار، کف، لباس، مو و غیره با استفاده از پودر گوگرد و چراغ قوه
- 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 پنجره ها و عملکرد صحیح سیستم های تهویه
- قدم سوم: مشاهده شاغلین در محیط کار و انجام مصاحبه جهت پیدا کردن روش های کنترلی مناسب جهت جلوگیری از مواجهه با جیوه
- جداسازی یا آماده نمودن مناطق برای استفاده:
 - بستن درها
 - محدود کردن ورود فقط برای کارگرانی که ورودشان ضروری است.
 - محدود نمودن زمان حضور در منطقه
 - محدود کردن جابجائی هوای اطراف محدوده

- تکنولوژی کنترل و طراحی ایستگاه کار:
 - استفاده از دستکش
 - استفاده از هود آزمایشگاهی مناسب
 - کنترل درجه حرارت در زیر 20°C (68°F)
 - خرید جیوه به اندازه نیاز در ظروفی با اندازه متناسب با سیستم های مربوطه
 - انتقال و ذخیره سازی اقلام حاوی جیوه در ظروف در بسته
 - تنظیم هشدار دهنده ها یا پایشگرهای مداوم در $1/2$ حد آستانه مجاز
 - استفاده از سطوح کار صاف، نفوذناپذیر (فولاد ضد زنگ) با یک شیب در امتداد سطح کار منتهی به یک بطری جمع آوری با لب ه برگشته به داخل برای جلوگیری از ریختن و پاش جیوه
 - استفاده از کف صاف، نفوذناپذیر (اپوکسی، پلی اوره تان و پوشش وینیلی) و عدم استفاده از چوب، فرش و پادری
 - استفاده از سطوح به رنگ تیره برای کمک به مشاهده جیوه
 - درزگیری اطراف پایه های میز و فضای اتصال کف با دیوار
 - نگهداری جیوه در ظروف غیر شکستنی، در بسته و نگه داشته شده در زیر آب یا روغن
- استفاده از شیوه های مدون اجرای کار به روش های استاندارد
- آموزش شغلی
- روش های پاک سازی ریختن و پاش جیوه
- استفاده از تهویه موضعی
- استفاده از تهویه رقتی
- استفاده مناسب از روش ها و تجهیزات نظافتی
 - نظافت روزانه کف ها، سطوح کار و تمام نقاط در تماس با دست (ابزار، دستگیره در، رویه میز)
 - پاک کردن سریع ریختن و پاش
 - مکش منظم جیوه با مکنده ویژه
 - اجتناب از پاک کردن با جاروی خشک
 - عدم استفاده از هوای فشرده برای تمیز کردن
 - عدم استفاده از پمپ های خلاء
 - عدم دستمالی و استفاده مجدد و همچنین اجتناب از قرار دادن 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 چشم شوی و بدن شوی اضطراری
- تعویض روزانه لباس و دستکش تجهیزات حفاظت تنفسی و شیوه های استفاده
- اختصاص اتاق و امکانات نگهداری ملزومات شخصی:
 - فراهم نمودن محلی تمیز برای نگهداری لباس بیرون، کفش، و وسایل شخصی در حین انجام کار
 - اجتناب از قرار دادن وسایل شخصی (لباس خیابانی یا کفش ها، شانه، یکف، حلقه، ساعت و ملزومات شخصی مانند یکف پول) در منطقه کاری
- امکانات و شیوه های شست و شوی دست ها و بدن:

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

• رستوران و تسهیلات غذاخوری:

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

- پاک سازی لباس و کفش توسط مکنده، قبل از ورود به رستوران
- تمیز کردن روزانه رستوران توسط مکنده جیوه

• پایش پزشکی

• پایش بیولوژیک

• کنترل خطر

- کنترل لیست موجودی
- برچسب زنی ظروف حاوی جیوه
- نصب علائم هشدار دهنده در روی ظروف و پسماندهای حاوی جیوه

قدم چهارم: تصمیم گیری در خصوص نیاز به کنترل های اضافی با استفاده از روش های کنترلی

قدم سوم

فرایندهای کار با جیوه زیاد بوده و محدوده کنترل موثر آن ها نیز به همان اندازه گسترده است. با این حال، استفاده از کنترل های 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. ماسک های تنفسی و سایر تجهیزات حفاظتی فردی تنها زمانی که دیگر کنترل ها کافی نباشند، باید استفاده شود.

روش های کنترل به ترتیب الویت عبارت است از:

- جایگزینی با یک ماده شیمیایی ایمن تر
- جایگزینی با یک فرایند ایمن تر
- مکانیزه نمودن فرایندها
- جداسازی فرایند

- محصور نمودن عملیات
- استفاده از تهویه موضعی
- استفاده از تهویه عمومی
- استفاده از ماسک های تنفسی، دستکش، و سایر تجهیزات حفاظتی

قدم پنجم: ثبت سوابق ارزیابی

ثبت اطلاعات کافی برای نشان دادن علت تصمیم اتخاذ شده در مورد مواجهه و کنترل. استفاده از تجهیزات حفاظت فردی تنها در صورتی مجاز است که علت عدم اجرا یا کافی نبودن سایر روش ها به روشنی بررسی گردد.

قدم ششم: حصول اطمینان از مطابقت با استانداردهای موجود

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

قدم هفتم: اختصاص بودجه برای کنترل و اجرای تغییرات

قدم هشتم: بررسی اثربخشی کنترل

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

قدم نهم: بازبینی قدم های اول تا هشتم

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

ملاحظات ویژه در خصوص نشت جیوه عنصری

- **Spill Kit** برای یک نشت جیوه کوچک در یک مرکز پزشکی

اگرچه **Spill Kit** یا کیت های نشت جیوه در دسترس هستند، اما می توان با جمع آوری و نگهداری تجهیزات زیر در یک جعبه مشخص یا ظرف قابل حمل، یک کیت تهیه کرد:

دستورالعمل های مرحله به مرحله:

- **تجهیزات حفاظت شخصی (PPE):**

- چندین جفت دستکش لاستیکی یا نیتریل
- عینک ایمنی یا عینک محافظ
- محافظ های دستگاه تنفسی
- تصفیه کننده های هوا برای بخار جیوه
- ماسک صورت گوگردی یا آغشته به کربن فعال (توجه داشته باشید که ماسک های صورت که به صورت محکم بسته نمی شوند هوای آلوده می تواند از طریق لبه ها وارد شود).
- سایر ماسک ها یا دستگاه های تنفسی که مخصوص برای جیوه طراحی شده است.
- در صورت عدم وجود ماسک مخصوص: ماسک صورت با فیلتر ۰/۳ میکرون HEPA برای گرفتن ذرات آمالگام و گرد و غبار جیوه (متأسفانه ، ماسک های معمولی از بخار جیوه محافظت نمی کنند).
- روتختی ، پیش بند و سایر لباس های محافظ
- روکش کفش یکبار مصرف

- **ظروف:**

- کیسه های پلاستیکی قابل حمل ، محکم و نفوذناپذیر نسبت به هوا (اندازه های کوچک و بزرگ ، ضخامت: ۲ تا ۶ میل یا ۵۰ تا ۱۵۰ میکرون)
- ظروف پلاستیکی کوچک، محکم و نفوذناپذیر نسبت به هوا با مقداری آب یا بخار سرکوب کننده برای جمع آوری جیوه عنصری
- پلاستیک محکم و مقاوم در برابر سوراخ شدن یا استیل ، یا ظروف استیل با دهانه ی باز برای جمع آوری شیشه های شکسته آلوده به جیوه
- سینی پلاستیکی
- کیسه های پسماند پلاستیکی (ضخامت: ۲ تا ۶ میل یا ۵۰ تا ۱۵۰ میکرون)

- **ابزار برداشتن جیوه:**

- چراغ قوه (مشعل برقی) برای دیدن دانه های براق جیوه
- کارت های بازی با روکش پلاستیکی یا تکه های نازک پلاستیکی برای هدایت دانه های جیوه به داخل یک قاشق یا کفگیر پلاستیکی. اگر این موارد در دسترس نبود، از کارت ها، تکه های مقوا یا کاغذ سفت استفاده کنید.
- بیلچه پلاستیکی کوچک برای گرفتن دانه های جیوه
- انبرک را برای جدا کردن قطعات کوچک شیشه های شکسته
- قطره چکان یا سرنگ (بدون سوزن) برای جمع آوری دانه های بزرگ جیوه
- نوار چسبنده برای برداشتن قطرات ریز جیوه
- تیغه یا چاقوی ابزار

- **عوامل سرکوب کننده بخار جیوه:**

- پودر گوگرد (موجود در داروخانه ها) برای جذب جیوه با تشکیل سولفید جیوه
- تکه های روی یا مسی (موجود در فروشگاه های سخت افزار) برای جذب جیوه با تشکیل آمالگام

- پدهای جاذب تجاری یا سرکوب کننده های بخار
- از قلم مو استفاده کنید تا پودر یا تکه های آن جدا شود

● مواد آلودگی زدا

- سرکه ، پراکسید هیدروژن و سواب پنبه ای جهت تمیز کردن نهایی
- محلول ضد عفونی کننده یا آلودگی زدای تجاری
- تکه ای از صابون و حوله های کاغذی

● برچسب های "خطر: پسماند حاوی جیوه" را روی ظروف پسماند قرار دهید.

هر وقت از کیت ریخت و پاش جیوه استفاده می شود ، ارشد کارکنان درگیر در پاکسازی باید مسئولیت اطمینان از تجهیز کردن کیت و جایگزینی مجدد مواد استفاده شده را در اسرع وقت به عهده بگیرد. کلیه کیت های ریخت و پاش جیوه باید دارای یک برگه باشد که هنگام استفاده از آنها را نشان می دهد و تأیید می کند که لوازم مصرفی جایگزین شده اند. برگه باید توسط کارکنان مسئول امضا و تاریخ گذاری شود.

توصیه: مراکز بهداشتی و درمانی که با نشت مکرر جیوه سروکار دارند باید از یک ظروف پلاستیکی بزرگ ، محکم، سفت و سخت و یا فلاسک استیل با مقداری آب یا خنثی کننده بخار جیوه برای جمع آوری ابتدایی و همچنین یک ظرف پلاستیک بزرگ ، مقاوم در برابر سوراخ شدن یا ظروف فولادی با دهانه گشاد با یک خنثی کننده بخار جیوه یا آب برای جمع آوری شیشه های شکسته آلوده به جیوه استفاده کنند. هنگام استفاده از آب ، آب باید جیوه یا شیشه آلوده را کاملاً بپوشاند هر یک از این ظروف اولیه باید برچسب زده شده و در یک ظرف ثانویه (کیسه های پلاستیکی ضخیم و قابل مهر و موم) قرار داده شده و در کنار آن یا نزدیک به کیت قرار داده شوند. محل نگهداری کیت فقط باید برای پرسنل مجاز در دسترس باشد. در حالت ایده آل ، محل نگهداری باید خارج از تأسیسات و به دور از مناطق شلوغ باشد.

● روش پاکسازی لکه های جیوه

در اینجا به یک روش دقیق پاکسازی جیوه از بسیاری از منابع اقتباس شده و به عنوان یک راهنما برای کمک به توسعه روش های خاص در نظر گرفته شده است اشاره می شود، اما هر مرکز بهداشتی درمانی باید مطابق روشی که برایش عملی و در دسترس است و ضمن رعایت حداکثری رفاه بیماران و کارکنان بهداشتی خود ، روش های خاص خود را استفاده نماید.

توصیه: پس از بررسی و اصلاح این روش ها برای رفع نیازهای یک مرکز بهداشتی ، در صورت لزوم به زبان محلی یا گویش ترجمه شود. علاوه بر این ، نقشه ها یا تصاویر گرافیکی می توانند هم برای آموزش و هم به عنوان یادآوری مرحله به مرحله در هنگام حوادث مورد استفاده قرار گیرند.

مرحله (۱) میزان نشت را به سرعت مشخص کنید: تعیین کنید که جیوه در چه سطحی ریخته و تا چه اندازه قطرات جیوه حرکت کرده است.

مرحله (۲) بلافاصله عبور و مرور را محدود و ممنوع کنید: به کسی اجازه ندهید که در محل آلوده قدم بزند یا به مناطقی که جیوه در آن پخش شده رفت و آماده داشته باشد. اگر وسعت نشت کوچک بود و بلافاصله قابل تشخیص نبود ، عبور و مرور را برای شعاع حدود ۲ متر در اطراف مرکز نشت مسدود کنید.

مرحله ۳) مسیرهای پخش شدن جیوه را برای جلوگیری از فرورفتن جیوه در ترک ها با دستمال یا مواد غیر قابل نفوذ مسدود کنید. بررسی کنید که آیا پوست ، کفش یا لباس کسی با جیوه آلوده شده است یا خیر. اگر کفش یا قسمت هایی از لباس آلوده بود ، قبل از اینکه شخص اجازه ترک محل را داشته باشد باید آنها را جدا کرده و در همان محل نشت بگذارد. پوستی که در تماس با جیوه بوده باید با صابون قلیایی شسته شود.

مرحله ۴) تخلیه منطقه: از همه بخواهید که از اتاق یا منطقه خارج شوند و اولویت را به زنان باردار و کودکان اختصاص دهید. برای ارائه کمک های اولیه به هر کسی که به مراقبت فوری پزشکی نیاز دارد ، کمک کنید. (به پیوست الف مراجعه کنید)

مرحله ۵) به حداقل رساندن پخش بخارات به مناطق داخلی: کلید درب های داخلی را ببندید. سیستم های تهویه مرکزی ، گرمایشی یا تهویه مطبوع که هوا را از محل نشت به سایر نواحی داخل ساختمان منتقل می کند را خاموش کنید.

مرحله ۶) غلظت بخار در محل نشت را در صورت امکان کاهش دهید: با بازکردن پنجره ها و درهای بیرونی (در قسمت های بیرونی که به دور از رفت و آمد مردم است) ، غلظت بخارات در اتاق را کاهش دهید. با قرار دادن علائم از ورود به منطقه جلوگیری کرده و سپس منطقه را برای پاکسازی ترک کنید.

مرحله ۷) آماده سازی برای پاکسازی: جواهرات ، ساعت ، تلفن های همراه و سایر وسایل فلزی را که دارید خارج کنید. کیت ریخته پاش جیوه را دریافت کنید.

مرحله ۸) تجهیزات حفاظت شخصی (PPE) را استفاده کنید: در صورت امکان لباس ها را تعویض کنید. قبل از ورود مجدد به محل حادثه پیش بند ، روکش کفش یکبار مصرف ، دستکش لاستیکی یا نیتریل ، عینک و ماسک صورت استفاده نمایید. اطمینان حاصل کنید که وسایل فلزی مانند فریم عینک توسط وسایل حفاظت فردی پوشانده شده اند.

مرحله ۹) دانه های جیوه قابل مشاهده و شیشه های شکسته را بردارید: شیشه ها را روی سینی پلاستیکی قرار دهید. با شروع حرکت از قسمت های خارجی محل نشت به سمت مرکز آلودگی، قطرات جیوه قابل مشاهده تر هستند و شیشه های شکسته را با دقت جمع آوری نمایید. برای از بین بردن قطعات شیشه شکسته شده از انبر استفاده کنید و آنها را درون ظرف یا شیشه یا سینی قرار دهید. با استفاده از کارت بازی یا تکه های پلاستیکی ، دانه های جیوه را از روی سطوح متخلخل مثل فرش و ... جمع آوری نمایید. برای جلوگیری از انتشار قطرات جیوه از حرکات آهسته، کوتاه و آرام استفاده کنید. دانه های جیوه را با دقت داخل ظرف پلاستیکی قرار دهید که تا حدی پر از آب یا خنثی کننده بخار جیوه است. این کار را روی سینی انجام دهید تا هرگونه ریخت و پاش جلوگیری شود. می توانید از قطره چکان یا سرنگ مخصوص برای جمع آوری قطرات ریز جیوه استفاده کنید. قطره چکان یا سرنگ را تقریباً به موازات کف نگه دارید تا قطرات را جمع آوری و هنگام انتقال قطرات به ظرف پلاستیکی ، قطره چکان یا سرنگ را به صورت افقی نگه دارید تا از ریزش جیوه جلوگیری شود.

مرحله ۱۰) قطرات جیوه ای کوچک و شیشه های شکسته را جستجو کرده و از بین ببرید: با درخشش چراغ قوه با زاویه پایین به کف ، قطرات و قطعات شیشه ای باقی مانده را جستجو کنید و به دنبال بازتاب هایی از قطرات و شیشه های براق باشید. قطرات بسیار ریز را با استفاده از نوار چسب که آسان تر است بردارید، اما مراقب باشید زیرا همیشه ممکن است قطرات نچسبیده وجود داشته باشند. نوار چسبنده را درون کیسه پلاستیکی قابل آب بندی قرار دهید.

مرحله ۱۱) پاک کردن ترک ها و سطوح سخت: پودر گوگرد را روی ترک ها و شکاف ها و روی سطوح سخت (کاشی ، مشمع کف اتاق ، چوب و غیره) که با جیوه تماس گرفته است بپاشید. تغییر رنگ پودر از زرد به قهوه ای مایل به قرمز نشان می دهد که جیوه هنوز هم وجود دارد و به پاکسازی بیشتری نیاز است. در این صورت ، ورقه های روی یا تکه های مسی را برای جداسازی جیوه باقیمانده روی سطوح قرار دهید. با استفاده از برس یا جارو کوچک پودر و تکه های فلزی را برداشته و در کیسه پلاستیکی قابل آب بندی قرار دهید. به جای استفاده از پودر گوگرد می توان از سواب های پنبه ای سرکه و سپس سواب های آغشته به پراکسید هیدروژن استفاده کرد. سواب ها را در یک کیسه پلاستیکی قابل آب بندی قرار دهید.

مرحله ۱۲) وسایل و بافت های نرم آلوده را از بین ببرید: فرش ، کفپوش فرش ، اثاثه یا لوازم داخلی ، پرده ، ملافه و سایر مواد نرم قابل تمیز کردن نیستند. برای بریدن تکه های فرش ، بالشک و سایر مواد نرم آلوده به جیوه از چاقو استفاده کنید. مواد آلوده را در یک کیسه پلاستیکی قابل آب بندی قرار دهید.

مرحله ۱۳) پاک کردن زهکش های آلوده: اگر جیوه بر روی آبراهه و سینک ریخته شد ، با مسئول تاسیسات بیمارستان مشورت کنید تا مسیرهای "L" ، "U" یا "S" شکل که محل انباشت جیوه است را پاکسازی کند. حین تمیز کردن سینک یک سینی پلاستیکی را در زیر محل کار قرار دهید تا جیوه ای که ممکن است سرریز شود جمع شود، ظروف جمع آوری را به عنوان پسماند خطرناک دور بیندازید.

مرحله ۱۴) مواد تمیز کننده و یا ضد عفونی کننده را از بین ببرید: کلیه مواد آلوده مورد استفاده در طول تمیز کردن (شامل کارت ، قطعات پلاستیکی ، مقوا ، کاغذ ، پارچه ، پنبه ، حوله کاغذی ، نوار چسبیده ، تکه های صابون ، برس یا جارو) را در یک کیسه پلاستیکی ضد آب قرار دهید. وسایل تیز و برنده (انبر، اسکوپ پلاستیکی ، سینی ، چاقوی ابزار ، و غیره) را در کیسه پلاستیکی قابل آب بندی دیگری قرار داده و یا با محلول ضد عفونی کننده کاملاً تمیز کنید.

مرحله ۱۵) برچسب زدن و مهر و موم کردن تمام مواد آلوده: اطمینان حاصل کنید که ظرف با آب کافی پر شده است تا جیوه و ظروف شیشه ای شکسته را پوشانده و درب ظرف را محکم ببندید ، برچسب بزنید و هرکدام را در کیسه پلاستیکی مجدد قرار دهید. کیسه های پلاستیکی با پسماند های آلوده به جیوه در داخل یک کیسه پلاستیکی دوم قرار دهید، کیسه بیرونی را با استفاده از نوارچسب مهر و موم کرده و برچسب "پسماند های خطرناک" را بر روی آن قرار دهید یا شرح مختصری از مطالب را بر روی آن درج کنید. ضایعات جیوه می تواند به طور موقت در بیمارستان ذخیره شود.

مرحله ۱۶) دور ریختن یا دفع آلودگی PPE: ابتدا PPE را در یک کیسه قابل آب بندی قرار دهید. برای خارج کردن دستکش ها ابتدا دستکش اول را خارج کرده و برای دستکش دوم انگشتان دست را در زیر دستکش در قسمت مچ قرارداده و بدون تماس دست ، دستکش های آلوده را خارج کرده و هر دو دستکش را در کیسه پلاستیکی قابل مهر و موم قرار دهید. در مرحله بعد ، عینک را همراه هدبند و گوش بند بردارید. پیش بند را بدون دست زدن به قسمت جلو جدا کرده و داخل هم بپیچید. در آخر ، ماسک صورت را بدون دست زدن به قسمت جلو جدا کنید. دستکش ، روکش کفش ، پیش بند و ماسک های یکبار مصرف را در کیسه پلاستیکی قابل آب بندی قرار دهید و همراه ضایعات جیوه دفع نمایید. با استفاده از محلول ضد عفونی کننده ، عینک و دستگاه تنفس و یا ماسک مخصوص صورت را ضد عفونی کنید.

مرحله ۱۷) شستن دست ها و همه ی قسمت های پوست بدن که در معرض جیوه قرار گرفته اند: از آب و صابون برای شستشوی تمام پوست استفاده کنید.

مرحله ۱۸) هوای محل نشت جیوه را تهویه کنید: فن اول را در کنار منطقه ریخته شده قرار دهید تا جیوه را فرار سازی کند و فن دوم را در یک پنجره نصب کنید تا هوای داخل را برای مدت حداقل ۴۸ ساعت بعد از حادثه به بیرون منتقل کند. اگر این امر به دلیل گرمایش مرکزی یا تهویه مطبوع امکان پذیر نیست، برای کاهش غلظت بخار جیوه، تا چند روز بعد از حادثه نرخ تبادل هوای ساختمان را افزایش دهید.

توجه: اگر مقدار جیوه ریخته شده بر روی کف چوبی یا مواد متخلخل بیش از مقداری بود که در یک دماسنج استفاده می شود، با استفاده از یک بخاری دمای اتاق را تا حدود ۳۰ درجه سانتیگراد گرم کنید و همزمان با یک فن هوا را به سمت خارج از اتاق هدایت کنید.

مرحله ۱۹) اقدامات پزشکی: در صورت بروز نشت جیوه و مواجهه ی حاد بیماران یا کارکنان بهداشتی، آزمایشات خون و ادرار، تست عملکرد دستگاه تنفسی و قلبی عروقی را انجام دهید، اگر فرد علائم مسمومیت حاد با جیوه را نشان داد، مراحل درمان را شروع کنید.

مرحله ۲۰) تهیه گزارش و مستندات حادثه: از این گزارش می توان برای بهبود ایمنی در حوادث مشابه استفاده کرد.

• کارهایی که نباید در صورت بروز حادثه و نشت جیوه انجام داد:

- برای جمع آوری جیوه و موارد آلوده به جیوه از جاروبرقی معمولی استفاده نکنید. جیوه از طریق آگروز خلاء به هوا منتقل می شود و آلودگی را گسترش می دهد. علاوه بر این، جاروبرقی آلوده خواهد شد و باید به عنوان پسماند های خطرناک دفع شود.
- لباس های آلوده به جیوه، فرش ها یا پارچه ها را نشویید، چراکه ماشین لباسشویی و فاضلاب ممکن است آلوده شود.
- برای جمع آوری جیوه از جارو استفاده نکنید. این عمل می تواند جیوه را به تکه های کوچکتر شکسته و آنها را پخش کند.
- جیوه را در سیستم جمع آوری فاضلاب نریزید. چراکه ممکن است لوله کشی، سیستم سپتیک یا تصفیه خانه فاضلاب آلوده شود.
- جیوه ای را که روی کفش هایتان قرار گرفته است، پخش نکنید. در صورت امکان، کفش ها را با محلول ضد عفونی کننده تمیز کنید (به بخش ۲،۰، صفحه ۵ مراجعه کنید). اگر نمی توانید کفش را ضد عفونی کنید، آنها را در یک کیسه پلاستیکی بپیچید و به درستی آنها را دور بیندازید.

• درمان مسمومیت با جیوه

قطع فوری تماس، درمان های حمایتی و درمان با ترکیبات کلیتور(شالتور)، راه های اصلی درمان مسمومیت با جیوه می باشند. جیوه فلزی با کلیتورها واکنش نمی دهد، معذک حدود ۸۰٪ جیوه فلزی در بدن به Hg^{2+} اکسید شده و به کلیتورها جواب می دهد. در مقایسه با سایر فلزات سنگین، استفاده از اتیلن دی آمین تترا استیک اسید (EDTA) در درمان مسمومیت با جیوه، نسبت به ترکیبات دارای گروه سولفیدریل از اهمیت کمتری برخوردار است. ترکیبات منوتیول مانند گلوکاتیون، سیستئین، پن یسیلامین و مشتقات N-استیله آن ها قادر به حذف جیوه از پروتئین ها و مولکول های زیستی می باشند. ترکیبات دی

تیول مانند دیمرکاپرول (BAL) یا دی مرکاپتو سوکسینیک اسید (DMSA) با ایجاد یک ساختار ۵ ضلعی محکم، به عنوان کلیتورهای مؤثر در درمان مسمومیت با جیوه کاربرد دارند..

• گزارش دهی حوادث

حوادث مربوط به مدیریت پسماند باید به کارشناس بهداشت محیط گزارش شود. این گزارش باید حاوی مطالب زیر باشد:

- نوع حادثه
 - زمان و مکان رخداد حادثه
 - افراد مسئول حادثه
 - سایر توضیحات و جزئیات لازم
- کارشناس بهداشت محیط باید علل بروز حوادث را بررسی کرده و روش های پیشگیری از حوادث مشابه در آینده را ارائه دهد. حوادث مذکور، اقدامات اصلاحی انجام شده، بررسی های صورت گرفته و روش های پیشگیری باید ثبت گردد.

فصل دوازدهم :

سمیت و مخاطرات جیوه برای انسان

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

جیوه عنصری Hg^0

بررسی اثرات بهداشتی بخار جیوه بر سلامت، حاکی از ایجاد آسیب وابسته به دوز در سیستم عصبی، مخاط دهان و کلیه ها می باشد. اثرات بر سیستم عصبی به صورت لرزش و نشانه هایی از اختلالات روانی و اختلال در حافظه کوتاه مدت، تحریک پذیری شدید و کناره گیری از روابط اجتماعی آشکار می گردد. درگیری سیستم عصبی محیطی نیز به صورت کاهش سرعت هدایت عصبی بروز می کردند. اثر بر سیستم عصبی خصوصاً در عملکرد خودکار، معمولاً برگشت پذیر است.

ایجاد خیلی آهسته اختلالات شناختی و تغییر عواطف، مضرترین اثرات ناشی از مواجهه شغلی می باشد. بخار جیوه می تواند سندرم نفروتیک ایجاد نماید که باعث از دست دادن بیش از حد پروتئین (عمدتاً آلبومین) در ادرار و ایجاد ادم می گردد، که حساسیت های فردی سبب ایجاد تفاوت های قابل توجهی در این مورد می شود. مواجهه با سطوح پایین بخار جیوه فقط با مشاهده مقادیر جزئی پروتئین و آنزیم در ادرار همراه است. اثرات کلیوی زودرس جیوه به طور کلی پس از قطع مواجهه ایجاد می گردد.

عوامل مربوط به میزان اهمیت ویژه ای در ایجاد سندرم نفروتیک در کارگران در معرض بخار جیوه یا ترکیبات جیوه غیرآلی دارد. افزایش گردش آنتی گلوبولین در غشای پایه آنتی بادی ها در ۸ مورد از ۱۳۱ کارگر مرد در مواجهه شغلی مشاهده شده است. در مطالعه دیگر ارتباط بین مواجهه با جیوه غیرآلی 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 $13 \mu\text{g/g}$ هیچ گونه اثر بر روی گویچه های سفید خون، ایمونوگلوبولین ها یا آنتی بادی ها نشان نداده است. با این حال مطالعات حیوانی حاکی از وجود اثرات ایمونولوژیکی است که به طور ژنتیکی تعیین می شود، با توجه به محدود بودن تعداد کارگران در مواجهه مورد بررسی، اثر سمیت ایمنی ناشی از مقادیر کم جیوه معدنی در افراد مستعد را نمی توان نادیده گرفت.

اخیراً یک مطالعه بر روی میمون ها نشان داده که مواجهه با آمالگام می تواند باعث غنی سازی فلور روده با گونه های باکتریایی مقاوم به جیوه گردد، که خود می تواند به نوع مقاوم به آنتی بیوتیک تبدیل گردد. در حال حاضر ما برداشت مشخصی از این مشاهدات در میمون ها نداریم، اما مقاومت به آنتی بیوتیک ها، به طور کلی یک مشکل فزاینده در پزشکی است. به نظر می رسد مواجهه با بخار جیوه سبب تجمع جیوه در غده هیپوفیز می گردد. در حالیکه 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 نمی باشد. برای ارزیابی سربار بدن در افراد در مواجهه مزمن با جیوه، اغلب از شاخص های موجود در ادرار استفاده می شود. غلظت جیوه نمونه های ادرار افراد بدون مواجهه مشخص با جیوه، در حدود ۹۸٪ موارد، کم تر از $5 \mu\text{g/litre}$ است. مواجهه شغلی مزمن با جیوه می تواند در افراد بالغ حساس با مقادیر جیوه ادرار $50-100 \mu\text{g/litre}$ ، سبب ایجاد پروتئینوری

گردد. لرزش و اختلالات روانی معمولاً در مقدار جیوه ادرار ۳۰۰ مشاهده می گردد، اما هیچ آستانه معینی منتشر نشده است (جدول ۷). در افراد حساس، اثرات ممکن است در مقادیر جیوه ادرار حدود ۱۰۰ نیز دیده می شود. بیش تر اثرات بخار جیوه، معمولاً چند ماه پس از خاتمه مواجهه از بین می روند.

استنشاق حاد بخار جیوه ممکن است علائم مسمومیتی شبیه به تب بخار فلزی از جمله لرز، تهوع، ضعف عمومی، احساس فشار در قفسه سینه، درد قفسه سینه، تنگی نفس، سرفه، التهاب لته، سیلان بزاق و اسهال ایجاد نماید. استنشاق مقادیر زیاد بخار جیوه در یک زمان کوتاه، به سرعت سبب ایجاد مسمومیت می گردد. علائم با سرفه، درد قفسه سینه، مشکل در تنفس و ناراحتی معده آغاز شده، و به پنومونی شیمیایی و برونشیت نکروزان، که می تواند کشنده باشد، منجر خواهد شد. کودکان بیش تر از بالغین مستعد ابتلا به مسمومیت بوده و جیوه موجود بر روی لباس، پوست و موی آنان خطرناک است. مواجهه کودکان با مقادیر قابل توجهی از جیوه، م تواند سبب ایجاد بیماری صورتی با راش پوستی در سراسر بدن، لرزش، تورم و سوزش در دست، پا، گونه ها و بینی، حساسیت به نور، مشکلات خواب و عرق کردن زیاد گردد. بلع جیوه نیز سبب زخم و سوراخ در جدار دستگاه گوارش و خونریزی شدید و گاهی کشنده می شود. استنشاق بخار جیوه در طول زمان، بر مغز انسان، نخاع، چشم ها، و کلیه ها و همچنین سیستم ایمنی بدن اثر سوء دارد. مواجهه مزمن با بخار جیوه ممکن است باعث ضعف، خستگی، بی اشتها، کاهش وزن، ناتوانی در تمرکز، لرزش، احساس سوزن سوزن شدن، یا از دست دادن حس لمس در دست، زبان یا پلک، تغ بیر رنگ قرنیه و عدسی چشم، اختلالات بینائی و اختلال در عملکرد دستگاه گوارش گردد. لرزش ممکن است ابتدا از انگشتان، پلک و لب ها شروع شده و به لرزش تمام بدن و اسپاسم مزمن پیشرفت منتهی گردد. به همراه توسعه لرزش، ممکن است تغ بیرات رفتاری و شخصیتی از جمله افزایش تحری کپذیری، 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 لته، 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 در دناک پوست دستها و پاها به همراه تاول اشاره نمود.

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

- a. این اثرات با فراوانی کم در گروه دارای مواجهه شغلی ایجاد می گردد. اثرات دیگری نیز گزارش شده، ولی سطوح هوا و ادرار آنها موجود نبوده است.
- b. غلظت های هوا با استفاده از نمونه بردارهای محیطی به صورت متوسط وزنی- زمانی (TWA) با احتساب ۴۰ ساعت در هفته در مواجهه طولانی مدت (در حداقل ۵ نیمه عمر بیولوژیکی، معادل ۲۵۰ روز) 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.

ترکیبات معدنی جیوه II

این تر یکبات 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 تر یکبات معدنی جیوه نشان می دهد که کلیه ارگان هدف این تر یکبات است و آسیب هایی از جمله نکروز حاد توبولی، گلوومرولونفریت و سندرم نفروتیک در مواجهه با این تر یکبات دیده می شود. 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 تر یکبات 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.

متیل جیوه

بعد از بخار جیوه، متیل جیوه خطرناک ترین شکل جیوه است. استفاده از متیل جیوه به عنوان قارچ کش برای محافظت دانه ها سبب کاهش قابل ملاحظه پرندگانی شد که از این دانه ها مصرف کرده بودند و همچنین صدها مرگ در عراق و آمریکا از مصرف نانی که دانه های گندم آن با متیل جیوه در تماس بوده گزارش شده است. ورود سمی ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان، بیماری میناماتا ایجاد می کند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در خلیج میناماتا ژاپن مشاهده شد. بروز این بیماری در انسان با عوارض گوناگون عصبی از جمله اختلال در حواس پنجگانه، بروز آلزایمر در سنین پیری و در موارد حاد با مرگ بیمار، همراه است. متیل جیوه نسبت به نمک های Hg^{2+} سم قوی تری است، زیرا علاوه بر انحلال پذیری در بافت چربی، قابلیت تجمع و بزرگ نمایی زیستی دارد. همچنین می تواند از سد خونی- مغزی و جفت جنین عبور کند. فرایند متیل دار شدن جیوه در شرایط ناهواری در رسوبات گل آلود رودخانه ها، توسط متیل کوبالامین صورت می گیرد. جیوه موجود در بدن انسان، بیش تر به صورت متیل جیوه بوده و اغلب از طریق خوردن ماهی وارد بدن انسان می شود.

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

از جمله این اختلالات: آتاکسی، پاراستزی، لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، دمانس پیش رونده، نکروز کانونی، تخریب سلول های گلیال، اختلالات حرکتی و مرگ می باشد. دوره پیش از تولد، مرحله ای از زندگی است که انسان بیش تر مستعد مواجهه با متیل جیوه است. این نوع مسمومیت در طول دهه های گذشته در ژاپن و عراق رخ داده است. به دنبال این مسمومیت، اثرات شدیدی مانند فلج مغزی در فرزندان مادران در مواجهه ای که این اثرات در آن ها حداقل

بوده و یا وجود نداشت، مشاهده شد. در گزارشی از ایسن ۱ و همکاران پیشنهاد شد که اثرات خفیف مواجهه قبل از تولد مانند 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. داد 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 جلسروم ۲ و همکاران در نیوزیلند انجام شده، حاکی از آن است که در گروهی از کودکان که مادران آن ها غلظت جیوه مو $15-16 \mu\text{g/g}$ داشته اند، تغییرات اندکی در آزمون عملکرد (آزمون دنور ۳) 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 رای ج ترین پارامترهای مورد استفاده برای نشان دادن جیوه سر بار بدن به دنبال مواجهه با ترکیبات متیل جیوه می باشند، سطح متیل جیوه با مصرف ماهی مرتبط است. سطوح خونی جیوه بیش از $200 \mu\text{g/litre}$ 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 آن جا که راه خوراکی مسیر اصلی مواجهه با متیل جیوه است (جدول ۶)، این جنبه در مسمومیت های شغلی مورد بحث قرار نمی گیرد.

تأثیر جیوه بر سلامتی:

کلیات

خطرات استفاده از جیوه توسط مصریان باستان که از بردگان جهت کار در معادن جیوه استفاده می کردند، کشف شده بود. احتمالاً به خاطر سمیت ملغمه جیوه در استخراج طلا، بردگانی که در معادن (HGS) رومی ها کار می کردند، بعد از ۶ ماه می مردند. از اوایل قرن هجدهم میلادی توجه دانشمندان به احتمال مواجهه شغلی و مواجهه افراد عادی با جیوه جلب شد. انواع ترکیبات جیوه، سمیت متفاوتی دارند، ترکیباتی مانند فنیل مرکور و الکوکسی الکیل، کمترین میزان سمیت، و ترکیبات الکیل جیوه بیش ترین سمیت را دارند. جیوه از راه تنفس، گوارش و نیز از طریق پوست قابل جذب می باشد، بخار جیوه به سیستم اعصاب مرکزی تمایل دارد، اما هدف اصلی Hg^{2+} کلیه ها و کبد است. تا کنون مدارک محدودی در ارتباط با سرطانزا بودن جیوه ارائه شده است.

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

استنشاق 31mg/m^3 بخار جیوه به ریه ها، کلیه ها و سیستم عصبی آسیب زده و باعث تحریک پذیری شدید، بی ثباتی احساسی، لرزش، کاهش وزن، ورم لثه، سردرد، کاهش رشد، التهاب ریه و آماس پوست می شود. این عوارض ممکن است در جمعیت های عمومی در مواجهه با 0.1mg/m^3 نیز مشاهده گردد.

بعد از بخار جیوه، متیل جیوه خطرناک ترین شکل جیوه است. استفاده از متیل جیوه به عنوان قارچ کش برای محافظت دانه ها سبب کاهش قابل ملاحظه پرنده گانی شد که از این دانه ها مصرف کرده بودند و همچنین صدها مرگ در عراق و آمریکا از مصرف نانی که دانه های گندم آن با متیل جیوه در تماس بوده گزارش شده است. ورود سمی ترین شکل جیوه یعنی متیل جیوه به بدن انسان، بیماری میناماتا ایجاد میکند. این بیماری اولین بار در دهه ۱۹۵۰ در خلیج میناماتا ژاپن مشاهده شد.

بروز این بیماری در انسان با عوارض گوناگون عصبی از جمله اختلال در حواس پنج گانه، بروز آلزایمر در سنین پیری و در موارد حد با مرگ بیمار، همراه است. متیل جیوه نسبت به نمک های Hg^{2+} سم قوی تر است، زیرا علاوه بر انحلال پذیری در بافت چربی، قابلیت تجمع و بزرگ نمایی زیستی دارد. همچنین می تواند از سد خونی-مغزی و جفت جنین عبور کند. فرایند متیل دار شدن جیوه در ته نشست های گل آلود رودخانه ها و به ویژه در شرایط ناهوازی توسط متیل کوبالامین صورت می گیرد. بیش تر جیوه موجود در بدن انسان به صورت متیل جیوه بوده و اغلب از طریق خوردن ماهی وارد بدن انسان می شود. متیل جیوه از راه دستگاه گوارش به خصوص در سیستم عصبی مرکزی و کلیه ها توزیع شده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری ظاهر می کند. از جمله این اختلالات: آتاکسی، پاراستزی، لرزش، کاهش بینایی، شنوایی، بویایی و چشایی، از دست دادن حافظه، دمانس پیش رونده، نکرور کانونی، تخریب سلول های گلیال، اختلالات حرکتی و مرگ می باشد. سیستم عصبی احتمالاً حساسترین ارگان در برابر تماس با بخارات جیوه است. طیف وسیعی از اختلالات تنفسی، روانی، قلبی عروقی، معده ای روده ای، تولید مثلی، کبدی، کلیوی، خونی، پوستی، اسکلتی-عضلانی ایمونولوژیکی، حسی و ادراکی و ژنوتوکسیک از اثرات جیوه می تواند باشد.

نشانه های اولیه مواجهه با جیوه:

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

نشانه های ثانویه مواجهه با جیوه:

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

گروههای در معرض خطر بیشتر:

- کودکان و به ویژه در دوران جنینی
- جمعیت هایی که مرتب ماهی و غذاهای دریایی مصرف می کنند
- دندانپزشکان
- کارگران کارخانه هایی که در محل کار با جیوه مواجهه دارند

درمان مسمومیت با جیوه:

قطع فوری تماس، درمان های حمایتی و درمان با ترکیبات کلپتور (شلاتور)، راه های اصلی درمان مسمومیت با جیوه می باشند. جیوه فلزی با کلپتورها واکنش نمی دهد، معذک حدود ۸۰٪ جیوه فلزی در بدن به Hg^{2+} اکسید شده و به کلپتورها جواب

می دهد. در مقایسه با سایر فلزات سنگین، استفاده از EDTA در درمان مسمومیت با جیوه، نسبت به ترکیبات دارای گروه سولفیدریل از اهمیت زیادی برخوردار نیست. ترکیبات منو تیول مانند گلوکاتایون، سیستئین، پنی سیلامین و مشتق N-استله آنها قادر به حذف جیوه از پروتئین ها و مولکول های زیستی می باشند. ترکیبات دی تیول مانند BAL (۳۰۲ دی مرکاپتوپروپانول) یا DMSA (دی مرکاپتوسوکسینیک اسید) با ایجاد یک ساختار ۵ ضلعی محکم، به عنوان کلیتورهای مؤثر در درمان مسمومیت با جیوه کاربرد دارند.

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

کینتیک و متابولیسم جیوه

کینتیک جیوه که شامل مراحل جذب، انتشار، متابولیسم و دفع آن می باشد، به میزان زیادی به فرم جیوه (جیوه عنصری، ترکیبات غیر آلی، آریل، الکوسیل و آلکیل) جذب شده بستگی دارد. به طور مثال آمالگام که حاوی ۶۰-۴۵ درصد جیوه و ۳۰ درصد نقره بوده و به عنوان ماده ی ترمیمی در دندان پزشکی به کار می رود، یک سم است اما نمی تواند برای ما خطرناک باشد، زیرا اتم های نقره به سختی اتم های جیوه را نگاه می دارند. همچنین کلرور مرکورو که هر مولکول آن دو اتم جیوه و دو اتم کلر دارد، یک دارو است.

در حالی که کلرور مرکوریک که مولکول آن یک اتم جیوه و دو اتم کلر دارد یک سم است. فولمینات جیوه که هر مولکول آن یک اتم جیوه، یک اتم اکسیژن، یک اتم ازت و یک اتم کربن دارد، خطرناک بوده و خیلی زود منفجر می شود. همچنین هر مولکول مرکورکروم که برای معالجه زخم ها به کار می رود نیز دارای یک اتم جیوه است.

جیوه از طریق دستگاه تنفس، دستگاه گوارش و پوست می تواند وارد بدن شود. اصلی ترین راه جذب جیوه در مواجهات شغلی، استنشاق هوای آلوده یا تماس پوستی در محیط کار دندان پزشکی، خدمات بهداشتی، صنایع شیمیایی و غیره می باشد. در حالی که خوردن ماهی و حلزون های صدف دار آلوده به متیل مرکوری، استنشاق بخارات موجود در هوا، کوره های زباله سوز و صنایعی که سوخت حاوی جیوه را می سوزانند و رها شدن جیوه در اثر امور دندان پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی، راه های مهم مواجهه جمعیت های عمومی با جیوه می باشند. جیوه غیر آلی (جیوه فلزی و ترکیبات غیر آلی جیوه) از طریق ته نشست طبیعی، زباله ها و فعالیت های انفجاری، وارد آب یا خاک، و از طریق سنگ معدن، سوزاندن زغال سنگ و زباله و پساب صنایع وارد آب می شود. فرم آلی جیوه نیز از طریق فضولات بعضی کارخانجات وارد محیط زیست شده و توسط میکروارگانیسم های آب و خاک به متیل مرکوری تبدیل می شود، سپس وارد بدن ماهی و سایر آبزیان می گردد و نهایتاً توسط انسان مصرف می شود. این ترکیبات به علت حلالیت در چربی زیاد، در مقایسه با ترکیبات معدنی آن سمی تر می باشند.

مهم ترین راه مواجهه شغلی با جیوه، استنشاق بخار جیوه می باشد. در حالی که پر کردن دندان با آمالگام، منبع اصلی مواجهه در جمعیت های عمومی است. ریه ارگان هدف اصلی در طی تماس حاد با بخار جیوه بوده و تماس به مدت چند ساعت می تواند ایجاد برونشبولیت و پنومونیت کند، جیوه از شش ها به جریان خون نفوذ کرده، سپس از سد خونی- مغزی گذشته و آسیب شدیدی به سیستم اعصاب مرکزی می رساند. جیوه از تمام فلزات، فرآرتر و بخار آن کاملاً سمی است. فرم فلزی جیوه محلول در چربی است و بعد از استنشاق به آسانی از طریق آئوتول ها وارد جریان خون می شود. بلع املاح غیرآلی جیوه به صورت حاد در طی چند ساعت با علائم گاستروانتریت، کلاپس قلبی- عروقی، نکروز حاد توبولی و مرگ تظاهر می کند. حدود ۱۰٪ نمک

های غیرآلی جیوه از دستگاه گوارش جذب می شود و با ایجاد HgS در روده، باعث کندهوشی می گردد، این مورد سابقا جهت بیمارانی که برای درمان یبوست از بلعیدن جیوه استفاده می کردند، مصداق داشته است. استنشاق راه مهمی برای مواجهه با Hg⁰ محسوب می شود، به طوری که حدود ۸۰٪ از بخار جیوه استنشاق شده در جریان خون باقی مانده و از این طریق در بافت ها توزیع می شود. اهمیت جذب پوستی Hg⁰ ناچیز بوده و بخار جیوه با سرعت متوسط ۰/۲۴ μg/m² در دقیقه جذب می شود.

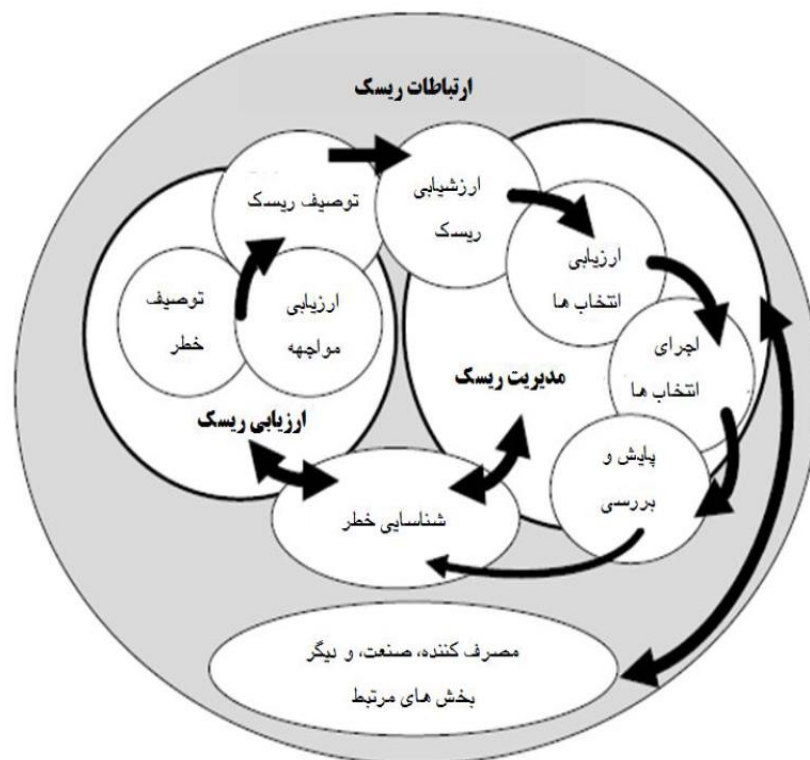
این مقدار فقط ۲٪ جذب جیوه هم زمان با جذب ریوی را تشکیل داده و فقط نیمی از جیوه جذب شده از راه پوست، می تواند مانند جیوه سیستمیک رفتار کند. بخار جیوه مکررا در تمام بدن توزیع شده و به آسانی از سد خونی-مغزی و جفت عبور کرده و در شیر و سایر مایعات بیولوژیک ظاهر می گردد.

مکانیسم بیولوژیکی انجام این اکسیداسیون، آنزیم کاتالاز در حضور پراکسید هیدروژن می باشد. البته در حیوانات واکنش احیای Hg²⁺ به Hg⁰ نیز دیده می شود. Hg⁰ تمایل زیادی جهت تبدیل شدن به متیل جیوه دارد، که در این صورت به راحتی از غشا سلولی و سد خونی-مغزی عبور نموده و سپس در حد وسیعی به Hg²⁺ اکسید شده و اعمال سمیت می کند. ادرار و مدفوع مسیرهای اصلی دفع جیوه می باشند که در صورت مواجهه زیاد، ادرار مسیر دفع غالب است. نیمه عمر جیوه در ادرار حدود ۲ ماه بوده و از آن جایی که مقادیر جیوه ادرار ارتباط نزدیکی با سطوح سطح جیوه در کلیه ها دارد، اندازه گیری جیوه ادرار به طور گسترده ای برای ارزیابی مواجهه با جیوه غیر آلی (عمدتا بخار جیوه) کاربرد دارد. مطالعه کلیرانس بخار جیوه رادیو اکتیو، حاکی از دفع ۷٪ جیوه استنشاق شده با یک نیمه عمر ۱۸ ساعته می باشد. نیمه عمر جیوه کل در کلیه ۶۴ روز می باشد که با میزان اکسید شدن به Hg²⁺ متناسب است.

فصل سیزدهم:

روش های ارزیابی ریسک جیوه

پیشگیری از خطرات جیوه به خصوص در محل کار مستلزم به کارگیری اقدامات کنترلی است. این امر باید بر اساس اصول سلسله مراتب کنترل (حذف، جایگزینی، اقدامات فنی مهندسی، اقدامات مدیریتی و تجهیزات حفاظت فردی) صورت گیرد. بهترین راه کنترل جیوه، حذف کامل مواجهه با آن است، که این کار باید به وسیله درخت آنالیز ریسک (شامل مدیریت ریسک، ارزیابی ریسک، ارتباطات ریسک) صورت می‌گیرد. به این منظور پیشگیری از خطرات جیوه یکی از راه‌های مهم دیگر جایگزینی جیوه با مواد بی‌خطر یا کم‌خطرتر است که خوشبختانه برای بسیاری از محصولات جیوه چنین جایگزینی وجود دارد. در هنگام مدیریت ریسک ناشی از جیوه پیش از هر چیز نیاز به ارزیابی ریسک ناشی از آن داریم. ارزیابی ریسک نوعی ارزشیابی اطلاعات علمی به عنوان پایه‌ای برای تخمین و ارزشیابی اثرات بالقوه بر سلامتی است که فرد یا یک جمعیت ممکن است در اثر مواجهه با مواد خطرناک تجربه کنند. ارزیابی ریسک معمولاً می‌تواند شامل ارزشیابی ریسک سرطان و پتانسیل توسعه اثرات بهداشتی غیر سرطانی مثل اختلال عملکرد عصبی گردد. برای حصول ریسک یا احتمال اثرات نامطلوب بهداشتی، اطلاعات کمی در مورد مواجهه با اطلاعات مربوط به سمیت ترکیب می‌گردد.



شکل ۳- پارادایم (انگاره/الگو) آنالیز ریسک

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

خطر: پتانسیل ایجاد آسیب را گویند.

ریسک: احتمال ایجاد آسیب را گویند.

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

شناسایی خطر:

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

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

ارزیابی مواجهه:

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

توصیف ریسک:

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

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

ارزیابی مواجهه با جیوه:

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

بهترین شاخص ارزیابی، اندازه گیری جیوه کل در خون و ادرار می باشد. مطالعات نشان می دهد که اندازه گیری جیوه ادرار عملی ترین و حساس ترین روش برای نشان دادن مواجهات شغلی با غلظت های پایین جیوه غیر آلی می باشد. اندازه گیری جیوه در خون را می توان در دو بخش خون کامل و پلاسما انجام داد و به این ترتیب می توان مواجهه شغلی با جیوه فلزی و مواجهه غیر شغلی ناشی از غذاهای دریایی را مشخص کرد. در صورتی که جیوه ادرار فقط نمایانگر مواجهه با جیوه غیر آلی است. بعد از مواجهه، حداکثر غلظت جیوه در ادرار حاصل شده و در خون به آرامی کاهش می یابد. حداکثر غلظت خونی ۲-۴ روز پس از مواجهه اتفاق می افتد. لذا آنالیز خون پس از مدت های طولانی، فاقد جیوه در خون، اطلاعات مفید می باشد. به طور کلی غلظت جیوه ادرار ناشی از مواجهه با بخار جیوه، به جهت اکسید شدن به Hg^{2+} کاهش می یابد. دفع Hg^0 ممکن است به دنبال تماس حاد با آمالگام، یا از طریق امکان احیا Hg^{2+} در بدن ایجاد گردد. تجزیه مو به سبب وجود همبستگی بین جیوه خون و مو دارای اهمیت است. با توجه به رشد مو (حدود mm^3 در هفته) می توان سیر پیشرفت مسمومیت را با تجزیه اجزاء مو بررسی نمود. تجزیه مو خصوصاً در بررسی مواجهه با متیل جیوه که با ترکیبات مو پیوستگی دارد، حائز اهمیت است. مطالعات نشان می دهد که ادرار افراد دارای بیش از ۳۶ ترمیم دندانی، به طور متوسط دارای $nmol/l$ ۳۰ جیوه در مقایسه با گروه کنترل $nmol/l$ ۶ فاقد ترمیم با آمالگام می باشد. گزارشات WHO حاکی از افزایش دفع ادرار جیوه بیش از $nmol/l$ ۳۰ ناشی از مواجهه شغلی با غلظت $50 \mu g/m^3$ هوا می باشد.

همچنین مقادیر Hg^0 در هوای بازدم افراد بدون پرکردگی های آمالگام برابر با $8/2 \mu g/m^3$ می باشد، که ۱۰۰ برابر سطوح جیوه در هوای بازدم افراد بدون پرکردگی های آمالگامی است. افرادی که تعداد ترمیم آمالگامی زیادی دارند، روزانه حدود ۱۰- $12 \mu g$ جیوه جذب می کنند. وجود جیوه در بدن شمشیر ماهی های دور از منابع صنعتی، به جیوه حاصل از فعالیت های آتشفشانی نسبت داده می شود. مقدار جیوه در آب های غیر آلوده $1 ng/l$ و میانگین برداشت روزانه جیوه کل جمعیت های عمومی در آمریکا از هوا $0/04 \mu g/day$ و از آب $0/05 \mu g/day$ برآورد شده است. برداشت جیوه از غذاهای فاقد ماهی، $3/6 \mu g/day$ و در صورت مصرف ماهی $6/6 \mu g/day$ گزارش شده است. همچنین نشان داده شده است که جذب جیوه فلزی از آمالگام می تواند به بیشتر از $21 \mu g/day$ نیز افزایش یابد.

مقادیر حدود مجاز جیوه:

سازمان های OSHA، ACGIH، EPA و مقادیر حدود مجاز تماس با جیوه فلزی و غیر آلی

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

مراحل ارزیابی :

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

- نظارت بر انجام ارزیابی های ارزیابی مواجهه
- تعیین سطح ریسک گروههای در خطر

بررسی راه کارهای به حداقل رساندن مواجهه با جیوه و اثرات مضر آن در بدن بسیار با اهمیت می باشد. جیوه نیز مانند سایر فلزات سنگین تمایل به تجمع در ارگانسیم های زنده را دارد. لذا باید بتوان با استفاده از روش های گوناگون آن را تحت کنترل قرار داد، این روش های مختلف در واقع روش های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی هستند که در نهایت باعث حذف جیوه موجود در محیط زیست خواهد شد.

ارزیابی جیوه با تشکیل جلسه کمیته کارشناسان FAO/WHO در ۴-۱۲ آوریل ۱۹۷۲ در Genera آغاز شد. مطالعات حاکی از آن است که تنها هزینه های ناشی از کاهش بهره بهوشی کودکان و به تبع آن کاهش هزینه وری مربوطه در سال ۲۰۰۰، سالانه نزدیک به $8/7$ میلیارد دلار (با دامنه $2/2$ تا $43/8$ میلیارد دلار) برآورد شده است که بخش اعظم آن مدبوط به کارخانجات تولید برق آمریکا ست. مطالعه هزینه های زیست محیطی آلودگی جیوه نشان داد که برای جبران آلودگی ناشی از هر کیلوگرم جیوه در محیط زیست، به طور میانگین باید نزدیک به 2500 تا $1/1$ میلیون دلار هزینه کرد. در صورتی که اگر هزینه های مستقیم و غیر مستقیم ناشی از بیماری های مربوط به جیوه و همچنین هزینه های اجتماعی مرتبط را نیز مدنظر قرار دهیم، آنگاه اهمیت موضوع مشخص تر می گردد.

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

طبق بررسی ها و برنامه جامع سازمان جهانی UNEP⁵ دو رویکرد برای حذف و کاهش جیوه و مواد حاوی جیوه، تحت عناوین لیست مثبت و لیست منفی پیشنهاد شده است. لیست مثبت بدین معنی است که تولید، مصرف و حمل و نقل کلیه مواد و

⁵ United Nation Environment Programme

ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که طی این لیست مشخص شده، اجازه استفاده دارند. لیست منفی نیز بدین معناست که تولید، مصرف و حمل و نقل کلیه مواد و ترکیبات حاوی جیوه، به جز مواردی که در طی این لیست اعلام شده، ممنوع است. رویکردی که به نظر می رسد با توجه به شرایط کشور در قالب برنامه عملیاتی قابل اجرا باشد، رویکرد لیست مثبت می باشد. در این راستا مرکز سلامت بهداشت محیط و کار وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، در قالب یک طرح پژوهشی تحت عنوان کاهش و حذف جیوه و جایگزینی آن با مواد بی خطر یا کم خطر به منظور حفظ و ارتقاء سلامت عموم جامعه تا پایان سال ۹۵، استراتژی و فعالیت های زیر را پیشنهاد نموده است:

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

ارزیابی ریسک جیوه در انسان

ارزیابی مواجهه

محاسبه جذب اشکال مختلف جیوه از جو و سایر محیط ها ضروری است. در مناطق دور از صنعت، سطح جیوه جوی، حدود ۲-۴ ng/m³ و در مناطق شهری حدود ۱۰ ng/m³ می باشد. این بدان معنی است که روزانه حدود ۶۴-۳۲ ng در مناطق دور افتاده و حدود ۱۶۰ 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 حالیکه رژیم غذایی منبع اصلی مواجهه با ترکیبات متیل جیوه است. سطح فعلی جیوه در هوای خارج، به استثنای مناطق بحرانی، معمولاً ۰/۰۰۵ - ۰/۰۱۰ μg/m³ 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 ۱۷۰۰۰-۳۰۰۰ ng برآورد شده، ناچیز است. انتظار می رود مواجهه با این سطوح از جیوه در هوای خارج، اثرات مستقیمی بر سلامت انسان نداشته باشد.

Hg⁰ گونه غالب جیوه موجود در هوا می باشد که نه جه شزا بوده و نه سرطان زا است. مواجهه با متیل جیوه هوا برد ۲-۳ بار از میزان برداشت روزانه از مواد غذایی کمتر 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 مقدور است. سطوح کمترین اثر زیان آور مشاهده شده (LOAELs) پیشنهادی برای بخار جیوه حدود ۳۰-۱۵ μg/m³ استفاده از یک ضریب عدم اطمینان ۱۰ 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 مشاهده (NOAEL) برای بخار جیوه غیرآلی، مقادیر پیشنهادی 1 μg/m³ 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 کلیدی 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 پائین را نمی توان نادیده گرفت. افزایش سطوح هوای محیطی، سبب افزایش جیوه در بدن آبریزان طبیعی، و در نتیجه منجر به افزایش احتمالی غلظت متیل جیوه در بدن ماهی های آب شیرین می گردد. چنین احتمالی نقش مهمی در تعین سطوح قابل قبول جیوه در جو دارد. متأسفانه به علت عدم آگاهی کامل از چرخه جهانی و مسیرهای متیلاسیون و تجمع در زنجیره غذایی آبریزان، هیچ گونه برآورد کمی از ریسک های ناشی از پروسه های رسوب گذاری امکان پذیر نمی باشد. بنابراین یک راهنمای یکفیت 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.

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، شناسایی 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 ۰/۰۰۶ / نشان داده است. بنابراین به ازای هر یک میلیون نفر جمعیت، تقریباً ۴۰ - ۳۰ نفر به طور کامل فاقد فعالیت کاتالاز (هموزیگوت) و ۱/۲٪

هتروزینگوت با کاهش ۶۰٪ در میزان فعالیت آنزیم کاتالاز می باشند. در خصوص سایر آنزیم های موجود در خون که قادر به انجام عمل اکسیداسیون باشند، اطلاعاتی وجود ندارد.

ایجاد اثرات کلیوی 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 ای نحال مشخص نیست این زیرگروه 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 استثنا که حساسیت کلیه رت در حال رشد به جیوه معدنی، از بافت رشد کرده آن نسبتاً م 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.

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 کمتر 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 برداری های 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 حالیکه 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 های از هوا که در آن اثری با فراوانی کم رخ میدهد نمی باشد. از آنجائی که ایجاد چنین اثراتی در کارگران در مواجهه شغلی با غلظت های کم به میزان نصف مقادیر آمده در جدول ۷ بعید به نظر می رسد، استفاده از یک ضریب عدم اطمینان ۲۰ مناسب به نظر می رسد. بنابراین، دستورالعمل غلظت جیوه در هوا $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ برآورد می گردد.

ترکیبات معدنی

ماندگاری اشکال کاتیونی جیوه معدنی استنشاق شده در ریه ها، 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 می شود.

متیل جیوه

به نظر می‌رسد مجموعه دستورالعمل‌های یکفیت 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.

فصل چهاردهم:

راه های جلوگیری از انتشار جیوه در محیط و کاهش تماس انسان

آنچه EPA برای کاهش آلودگی جیوه انجام می دهد ، محدود کردن مقدار جیوه:

- از منابع خاص که جیوه به هوا منتقل می شود
- از منابع خاص که جیوه به آب منتقل می شود
- جیوه در آب آشامیدنی
- دفع زباله های حاوی جیوه

همچنین:

- درک اینکه چه سطحی از آلودگی جیوه ممکن است بر سلامت انسان تاثیر بگذارد
- اندازه گیری و نظارت بر جیوه
- تمیز کردن سایت های آلوده به جیوه
- ارائه راهنمایی برای کاهش مواجهه برای مصرف کنندگان، ایالات متحده و سایر کشورها
- توسعه و نشان دادن فناوری های جلوگیری از انتشار جیوه به هوا
- شرکت در پروژه های بین المللی
- ترویج مشارکت مصرف کنندگان برای کاهش داوطلبانه در استفاده از جیوه و انتشار آن

محدود کردن مقدار جیوه از منابع خاص که جیوه به هوا منتقل می شود:

در سال ۲۰۱۱، EPA استانداردهای Mercury و Air Systards (MATS) را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای سمی از نیروگاه های زغال سنگ و نفتی صادر کرد. تاریخ انطباق MATS در سال ۲۰۱۵ بود و نیروگاه ها اقداماتی را در خصوص کاهش انتشار گازهای گلخانه ای مانند نصب کنترل کننده ها و یا به روز رسانی عملیات ها با توجه به استانداردها را انجام داده اند. استانداردها همچنین مزایای بهداشتی قابل توجهی را ارائه می دهند. پیش بینی شده است که MATS تا ۱۱۰۰۰ مرگ و میر زودرس، ۴۷۰۰ حمله قلبی و ۱۳۰،۰۰۰ حمله آسم جلوگیری خواهد کرد.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- Recent regulatory actions on the MATS rule
- MATS home page

زباله های آمالگام دندانپزشکی می تواند در فاضلاب وجود داشته باشد، که در مواردی که فاضلاب را می سوزاند انتشارات جیوه در طول فرآیند سوزاندن اتفاق خواهد افتاد. برای کاهش انتشار جیوه به محیط زیست، در سال ۲۰۱۱، EPA قانون محدود کردن انتشار گازهای گلخانه ای خاص، از جمله جیوه، از کوره های سوزاندن فاضلاب، منتشر کرد.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- EPA published a rule limiting specific pollutant emissions, including mercury, from public incinerators that burn sewage.

در ۶ سپتامبر ۲۰۱۳، EPA یک قاعده ای را که تمام میزان انتشار گازهای گلخانه ای از جمله انتشار جیوه از زباله های پزشکی را شامل می شود، را منتشر کرد.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- EPA's air emission regulations for hospital/medical/infectious waste incinerators (HMIWI).

همچنین این سازمان استانداردهای نهایی جیوه در تولید کلر قلیایی را صادر نمود، تکنولوژی مورد استفاده برای تولید کلر، در سال ۲۰۰۳، میزان انتشار جیوه از صنایع کلر قلیایی تقریباً ۸۸ درصد کاهش داده است. در سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۱، EPA پیشنهاد اصلاحات این استانداردهای نهایی را پیشنهاد کرد.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- EPA's mercury emission regulations for mercury cell chlor-alkali plants.

مقررات نهایی برای زباله سوزهای بزرگ مواد زائد شهری (MWCS) در سال ۱۹۹۵ و برای MWC های کوچک در سال ۲۰۰۰ توسط EPA صادر شد. اجرای مقررات MWC، میزان انتشار جیوه را به میزان ۸۸ درصد از سال ۱۹۹۰ کاهش داد. زباله سوزهای های بزرگ شهری قادر به سوزاندن بیش از ۲۵۰ تن زباله های شهری در روز هستند و که زباله خانوارها و ضایعات تجاری را در خود جای می دهد. زباله سوزهای شهری از زیر شاخه های برنامه های تبدیل زباله به انرژی است که تولید برق یا بخار را از زباله های سوختگی امکان پذیر می نماید. زباله سوز های کوچک شهری ۳۵ تا ۲۵۰ تن زباله را در روز می سوزانند.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- Rule and implementation information for large MWCs.
- Rule and implementation information for small MWCs

در گذشته جیوه در بسیاری از رنگ ها به عنوان یک قارچ کش برای جلوگیری از رشد باکتری ها استفاده می شد. در سال ۱۹۹۰، EPA ممنوعیت استفاده از جیوه را در رنگ ها اعلام کرد.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- Boilers and process heaters (2012)
- Commercial and industrial solid waste incinerators (2011)
- Sewage sludge incinerators (2011)
- Portland cement plants (2010)
- Gold mine ore processing and production facilities (2010)
- Electric arc furnaces at steelmaking facilities (2007)

- دیگ های بخار و بخاری فرآیند (۲۰۱۲)

- زباله های زباله های تجاری و صنعتی (۲۰۱۱)

- زباله های لجن فاضلاب (۲۰۱۱)
- گیاهان سیمان پرتلند (۲۰۱۰)
- سنگ معدن سنگ معدن و امکانات تولید (۲۰۱۰)
- کوره های الکتریکی قوس الکتریکی در امکانات فولاد سازی (۲۰۰۷)

محدود کردن مقدار جیوه از منابع خاص که جیوه به آب منتقل می شود:

دستورالعمل های فاضلاب EPA ، استانداردهای نظارتی ملی برای تخلیه فاضلاب به آب های سطحی و برنامه های تصفیه فاضلاب است. EPA این مقررات را در صنایع، تابع عملکرد فناوری های تصفیه و کنترل مسائل مربوط به آن را می داند.

دستورالعمل های پساب دندانپزشکی:

EPA استانداردهای پیش پردازش نهایی را برای کاهش تخلیه جیوه از دفاتر دندانپزشکی به تصفیه خانه های فاضلاب شهری صادر کرده است. در این قانون دفاتر دندانپزشکی ملزم به نصب جداکننده آمالگام در سیستم جمع آوری فاضلاب خود هستند، به طوری که جیوه در آن بتواند به راحتی بازیافت شود. این سازمان انتظار دارد با اجرای این قانون هر ساله ۱/۵ تن تخلیه جیوه در شبکه جمع آوری فاضلاب کاهش یابد.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- Dental effluent guidelines

دستورالعمل های پساب لوازم و تجهیزات الکتریکی :

در سپتامبر ۲۰۱۵، EPA یک قانون را برای صنایع الکتریکی نهایی کرد. صنایع الکتریکی از سوخت های هسته ای یا فسیلی (مانند ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی) برای گرم کردن آب در دیگ های بخار استفاده می کنند. بخار برای حرکت توربین های متصل به ژنراتورهای الکتریکی استفاده می شود. این صنایع فاضلابی با آلودگی های شیمیایی و آلودگی حرارتی (آب گرم) از تولید می کنند.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- Steam Electric Power Generating Effluent Guidelines
- Information about the 2015 final rule

جیوه در آب آشامیدنی

EPA در سال ۱۹۹۱، قانون آب آشامیدنی سالم، را تنظیم و حداکثر سطح آلودگی جیوه معدنی را در این قانون (MCL)، در 0.02 mg / L یا 2 ppb تعیین نمود. در شبکه های عمومی آب باید اطمینان حاصل شود که MCL برای جیوه از این مقدار تجاوز نمی کند.

MCLS متناسب با هزینه ها، مزایا، توانایی شبکه عمومی آب عمومی و فناوری های تشخیص و حذف آلاینده موجود تنظیم شده اند. EPA به طور دوره ای این استاندارد را بررسی می کند تا اطمینان حاصل شود که MCL همچنان از سلامت انسان محافظت می کند.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

- EPA regulations to limit mercury in drinking water

دفع زباله های حاوی جیوه

باقی مانده های احتراق زغال سنگ، که معمولاً به عنوان خاکستر ذغال سنگ شناخته می شود، زمانی ایجاد می شود که زغال سنگ توسط نیروگاه ها برای تولید برق سوزانده شود. خاکستر ذغال سنگ حاوی آلاینده هایی مانند جیوه، کادمیوم و آرسنیک است EPA مقررات مربوط به دفع ایمن خاکستر زغال سنگ در دفن زباله ها تعیین نموده است.

رهنمودها و قوانین EPA در این زمینه :

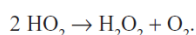
- 2015 Final Rule: Disposal of Coal Combustion Residuals from Electric Utilities

فصل پانزدهم:

ارائه مدل ثبت اطلاعات زیست محیطی و شغلی مرتبط با جیوه

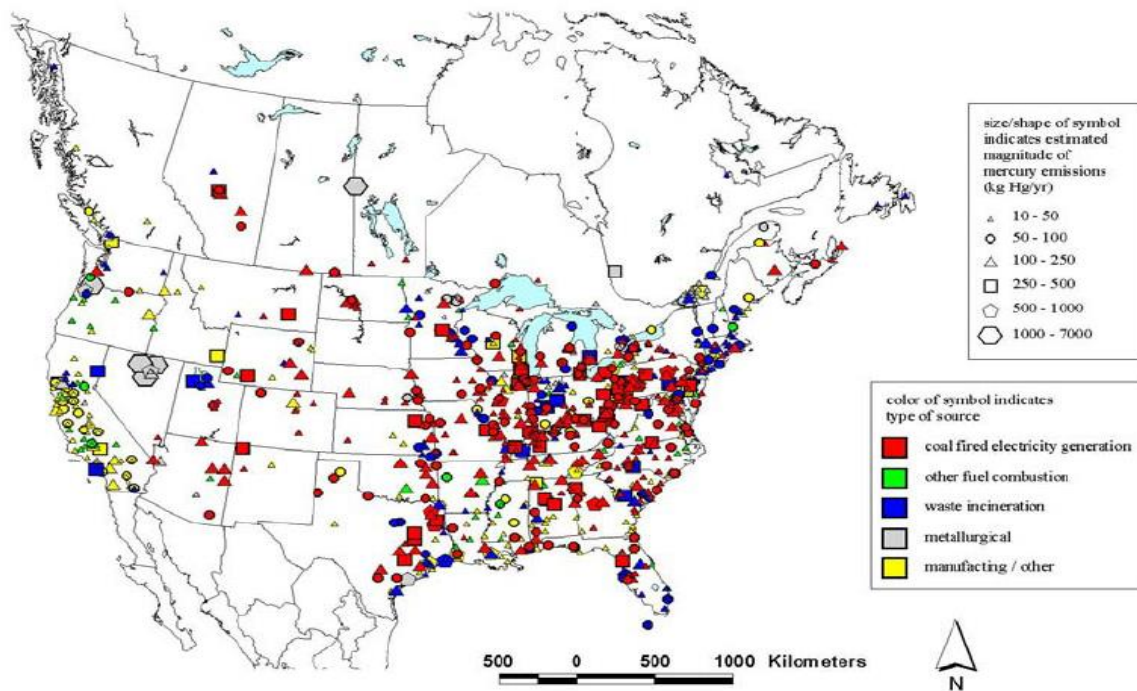
واکنش های شیمیایی و انتقال جیوه در جو و سایر محفظه های محیطی بسیار پیچیده است و هنوز کاملاً درک نشده است. مدل سازی بارهای جوی و میزان رسوب گونه های جیوه هنوز نیاز به تحقیقات بیشتری در این زمینه دارد. با توجه به اینکه هنوز در سینتیک شیمیایی و شناسایی محصول گاز شناخته شده و واکنش های فاز آبی جیوه و همچنین واکنش های ناهمگن مطالعات کافی انجام نشده است، لذا عدم قطعیت های زیادی در این زمینه وجود دارد، به همین دلیل عملکردهای غیر قابل پیش بینی مدل تعجب آور نیست. علاوه بر این، عدم قطعیت در داده های میدانی جیوه وجود دارد (۵۳،۶۹). به منظور افزایش عملکرد قابل اعتماد مدل های جیوه، عدم قطعیت ها در متغیرهای مدل تا آنجا که ممکن است باید از طریق اندازه گیری های عمیق و قابل اعتماد و مطالعات دقیق آزمایشگاهی انجام گیرد.

اثرات تغییرات آب و هوایی بر چرخه جیوه پیچیده خواهد بود و امکان افزایش عدم قطعیت در پیش بینی های مدل را دارد. افزایش دما باعث انتشار مجدد گونه های فرار جیوه، عمدتاً جیوه عنصری، از سیستم های آبی و خاکی می شود. تغییر در پوشش گیاهی و استفاده از زمین همچنین انتشار از سطح خاک را تغییر می دهد. تغییر دما ممکن است سرعت واکنش را نیز تغییر دهد و بر چرخه جیوه از راه هایی که پیش بینی آنها بدون سینتیک وابسته به دما دشوار است، تأثیر بگذارد. افزایش سریع دما در مناطق قطبی و ذوب شدن یخ ها در قطب شمال می تواند منجر به آزاد شدن مخازن بزرگ جیوه شود. افزایش دما همچنین منجر به افزایش انتشار ترپنوئیدها از پوشش گیاهی می شود که باعث افزایش سطح HULIS در آب ابر می شود. پیش بینی شده است که افزایش دما و طولانی تر شدن فصول رشد باعث افزایش آتش سوزی می شود که باعث افزایش انتشار HULIS نیز می شود. همین آتش سوزی ها مقادیر قابل توجهی از فرمالدئید و سایر آلدئیدها را تولید می کنند که می توانند برای افزایش غلظت های رادیکال HO_2 در توده های هوای منطقه ای، اکسید شوند. افزایش تشکیل HO_2 باعث تشکیل پراکسید هیدروژن از واکنش می شود



این واکنش به شدت به سطح HO_2 وابسته است زیرا سینتیک واکنش در HO_2 مرتبه دوم است. همچنین در غلظت های کم اکسید نیتریک معمول در جو منطقه مورد علاقه است. بنابراین، تغییرات آب و هوایی ممکن است منجر به افزایش اکسیداسیون فاز آبی جیوه عنصری توسط پراکسید هیدروژن و همچنین HULIS شود که می تواند برای اتصال جیوه اکسید شده عمل کند. این ممکن است منجر به افزایش رسوب نوری و یا رسوب مرطوب این اشکال پیچیده جیوه شود. قدرت کمپلکس HULIS با جیوه اکسید شده و همچنین پتانسیل های کاهش فتوشیمیایی برای تعیین تأثیرات کلی این تغییرات بر روی سطح جیوه اتمسفر باید تعیین شود. پس از ارزیابی، این مکانیسم های بالقوه باید در مدل ها گنجانده شوند تا توانایی بهتری برای پیش بینی و تعیین طول عمر جیوه ایجاد کنند.

در نهایت، برای ارزیابی مناسب اثرات افزایش سطح جیوه تحت تغییرات آب و هوایی، مقایسه نتایج مدل با اندازه گیری های میدانی جامع و فرآیند کاملاً متمرکز و مطالعات مکانیکی مورد نیاز خواهد بود. این امر به مطالعات آزمایشگاهی متمرکز برای شناسایی واکنشها و محصولات، مدل‌های بهبود یافته که از پیچیدگی روزافزون منابع جوی، دگرگونیها و غرقها و ابزار دقیق تحلیلی برای تعیین کمیت گونه های مربوط به جیوه در جو، استفاده می کنند و به اعتبار مدل ها کمک می کند.



دانشمندان در آزمایشگاه منابع هوایی (ARL) NOAA این چالش را پذیرفته اند. محققان ARL با همکاری EPA و سایر دانشمندان ایالات متحده از توانایی اندازه گیری خود در سه سایت اصلی نظارت بر جیوه استفاده می کنند: بلتسوویل، مریلند، Grand Bay می سی سی پی؛ و دره کنعان، ویرجینیا غربی. این سایت ها بخشی از یک شبکه ملی نظارت چند آژانس جدید است که برای رسیدگی به رسوبات جیوه در کل کشور طراحی شده است.

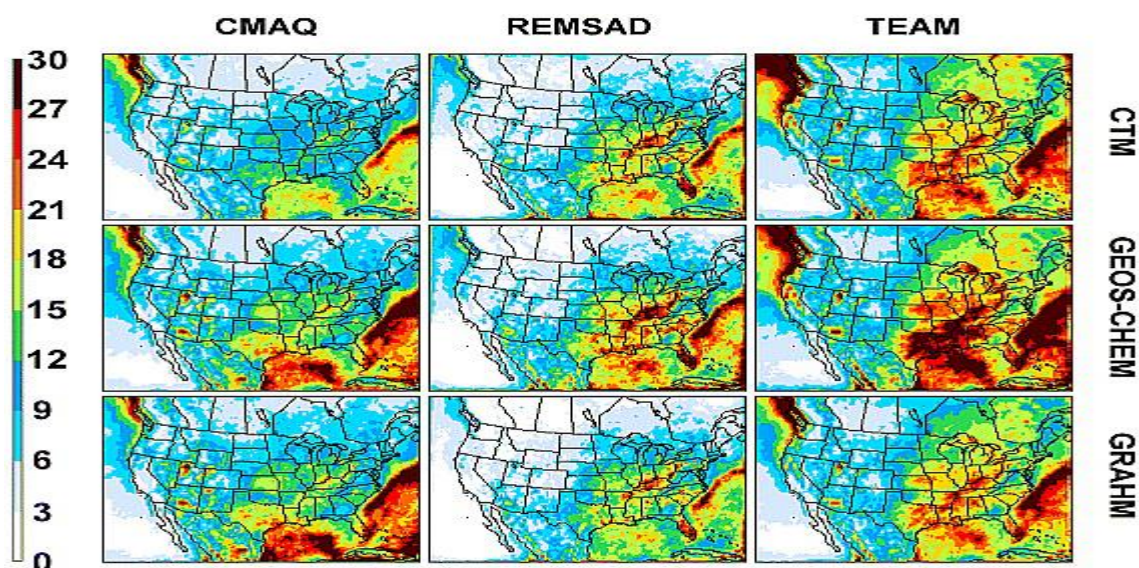


در سمت چپ: یک برج نمونه پیاده روی با ارتفاع ۱۰ متر در بلتسوویل، سایت مریلند ابزارهای جیوه ای و حسگرهای هواشناسی را در خود جای داده است. در سمت راست: نمای سیستم تخلص Tekran برای جمع آوری جیوه ذره ای (جعبه فوقانی) و جیوه گازی واکنش پذیر (جعبه پایین)

از طریق ادغام ابزارهای نظارتی و مدلسازی، دانشمندان ARL قادر به ارائه توانایی در ملت برای شناسایی منابع مهم موثر در جیوه به اکوسیستم ها و برآورد پیامدهای سیاست های بالقوه جایگزین برای کاهش انتشار جیوه هستند. سیاست گذاران و برنامه

ریزان کیفیت هوا به این اطلاعات نیاز دارند تا هم از سلامت عمومی و هم از سلامت محافظت کند یک اقتصاد پر جنب و جوش را حفظ کنید.

محصولی برای ارزیابی EPA در هنگام ارزیابی C lean Air Mercury Rule تولید شده است. نقشه رسوب کل جیوه برای سال را به تصویر می کشد در سال ۲۰۰۱ با استفاده از مدل C MAQ با استفاده از غلظت مرز جانبی برای جیوه و سایر آلاینده ها از مدل سجاغ GEOS-C شبیه سازی شده است



روند تغییرات غلظت جیوه در اتمسفر

از آنجا که منابع گسیل طبیعی زیادی وجود دارد، جیوه به طور طبیعی در سراسر جهان یافت و منجر به ایجاد جیوه زمینه ای در محیط می شود. سطح پایینی از جیوه به عنوان جیوه زمینه ای از قبل از تاریخ ثبت شده است. با این حال ، سوابق تاریخی به دست آمده از اندازه گیری های انجام شده در هسته های یخ ، رسوبات دریاچه و ذغال سنگ نارس نشان می دهد که سطح جیوه محیطی از ابتدای عصر صنعتی به طور قابل توجهی افزایش یافته است.

اندازه گیری های رسوب طولانی مدت جیوه در یخچال های فوقانی Fremont در وایومینگ که در شکل ۵ نشان داده شده است ، نشان دهنده روند تاریخی جیوه در جو طی ۲۷۰ سال است.

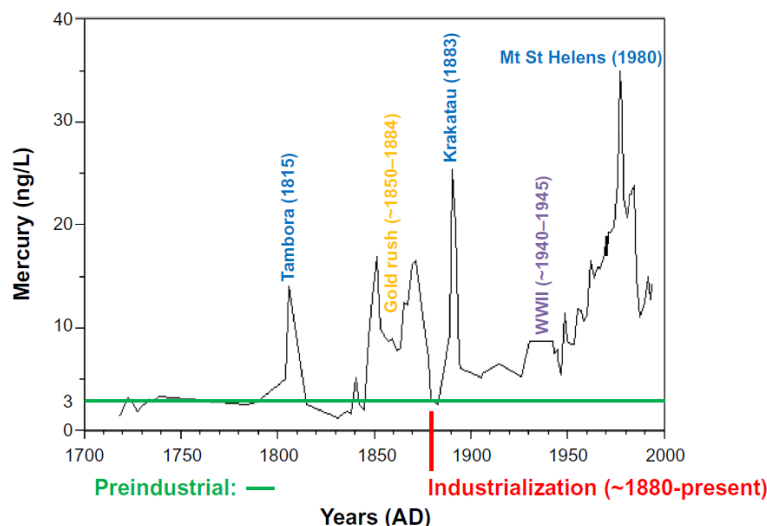


Figure 5 Mercury concentrations measured in ice cores obtained from the Upper Fremont Glacier in the Wind River Mountain Range of Wyoming.
Notes: Preindustrial background concentrations indicated with green line. Volcanic emissions indicated by blue text. Data from Schuster et al.²² and Schuster PF et al. 2002. Fremont Glacier Atmospheric Mercury Data, IGBP PAGES/World Data Center for Paleoclimatology. Data Contribution Series # 2002-038. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder, CO, USA.²³
Abbreviation: WWII, World War II.

اندازه گیری های از راه دور این ارتفاعات، نشان می دهد که غلظت پس زمینه قبل از صنعت ۳-۴ نانوگرم در لیتر (بدون لحاظ انتشار کوتاه مدت (۲ سال) فعالیت آتشفشانی) بوده است. از سال ۱۸۴۸ تا به امروز همزمان با افزایش فعالیت های انسانی افزایش قابل توجهی در سطح زمینه ای جیوه در نمونه های گرفته شده از یخچال ها گزارش شده است. برای مثال همزمان با افزایش استفاده از جیوه در عملیات استخراج هیدرولیک طلا در سراسر غرب ایالات متحده آمریکا، رسوب جیوه اتمسفری از ۱۸۴۸ به حدود ۱۸۸۵ افزایش یافت. این عملیات استخراج مهمترین منبع انسانی جیوه در ۱۷۰ سال اول بود و در حدود سال ۱۸۶۰ و حدود ۱۸۷۷ به اوج خود رسید. استفاده از جیوه در استخراج طلا در سال ۱۸۸۴ استفاده از استخراج هیدرولیک را به دلیل آلودگی و آسیب های زیست محیطی ناشی از آن ممنوع کرد و استفاده از آن پایان یافت. پایان استخراج هیدرولیک طلا با کاهش غلظت جیوه در نمونه های یخچال طبیعی Fremont تقریباً به سطح پس زمینه همراه بود.

SERAFM Conceptual Model

SERAFM یک مدل چرخه حیات جیوه مبتنی بر "حالت دائمی" است که به طور اختصاصی برای کمک به یک محقق در ارزیابی میزان غلظت جیوه در آب، رسوبات و موجودات زنده (انسان ها، ماهی و...) طراحی شده است. SERAFM غلظت جیوه را در این محیط ها برای پایه اشکال مختلف جیوه Hg^0 ، $Hg II$ و $MeHg$ پیش بینی می کند.

این مدل سه سناریو همزمان را اجرا می کند. یک سناریو مربوط به آلودگی رسوبات در گذشته است، جایی که غلظت کل جیوه در رسوبات شناسایی شده است. در سناریو اول، غلظت کل جیوه در رسوبات به عنوان یک پارامتر شناخته شده وارد مدل می شود. سناریوی دوم پیش فرضی یا شرایط مرجعی است که به عنوان شرایطی تعریف می شود که گویی هیچ بارگذاری تاریخی

⁵ steady-state

جیوه در این سایت رخ نداده است. بنابراین ، غلظت جیوه در آب و رسوب بدون غلظت رسوب جیوه شناخته شده محاسبه می شود ، بیشتر رسوب غلظت جیوه به طور مستقیم توسط مدل محاسبه می شود.

بارهای جیوه ورودی به منبع آب ناشی از نشست های جوی ، فرسایش ها و رواناب حوضه آبریز است و در این سناریو رسوبات آب به جای یک منبع احتمالی برای سیستم ، به عنوان یک سینک عمل می کنند. با استفاده از نتایج محاسبه شده این دو سناریو ، سناریوی سوم با استفاده از یک درون یابی خطی از غلظت محاسبه شده در رسوبات ، غلظت جیوه در آب و بافت بدن ماهی ، شاخص های خطر را برای حیات وحش و انسان محاسبه می کند. زیر مدل های SERAFM عبارتند از: بارگذاری جیوه (حوضه آبریز و نشست های جوی)، تعادل جامدات غیر زنده و بیوتیک (فرسایش خاک ، ته نشینی ، دفن و احیا مجدد) ، تقسیم تعادل ؛ فرآیندهای جیوه در آب ؛ و ارزیابی خطرات حیات وحش.

SERAFM با استفاده از یک فرض حالت دایمی حل می شود ، بنابراین تمام معادلات حاکم با تنظیم صفر دیفرانسیل حل می شوند. به عنوان یک مدل CSTR ، هیچ محدودیت و شرایط اولیه وجود ندارد. برای حل سیستم معادلات خطی تابعی با استفاده از Visual Basic for Applications (VBA) در Microsoft Excel 2003 © نوشته شد. تابع خاص ، LINEAR_SOLVE نامیده می شود ، برای حل معادله جبر خطی داده شده از تجزیه L-U استفاده می کند: $A * x = b$ ، جایی که A ماتریس $m \times n$ ، x ماتریس $n \times 1$ و b ماتریس $m \times 1$ است. با استفاده از یک تابع VBA ، هر زمان پارامتری تغییر کند ، پیش بینی های مدل بلافاصله به روز می شوند. این عملکرد برای چندین مورد آزمایشی با راه حل های تحلیلی مقایسه شد تا اعتبار عملکرد به درستی تأیید شود.

برنامه ها و کاربردها

- پیش بینی و ارزیابی چرخه حیات جیوه در حالت پایدار در یک اکوسیستم آبرزی متشکل از یک رودخانه یا دریاچه و حوزه آبخیز مربوط به آن.
- پیش بینی خطر (شاخص های خطر) برای حیات وحش در معرض آب با رسوبات آلوده به جیوه (مانند انتشار صنعتی صنعتی).
- بررسی تأثیر رسوبات جیوه بر منابع آب
- بررسی حساسیت فرایندها و پارامترهای مدل

تاریخچه مدل

SERAFM در ابتدا در پاسخ به درخواست شماره ۱۰ ERASC در سال ۲۰۰۳ با به هدف ارزیابی خطر حیوانات وحشی در معرض جیوه در رسوبات سایت های آلوده Superfund ، ساخته شد.

SERAFM به گونه ای طراحی شده است که برای استفاده در سناریوهای مختلف مدل سازی انعطاف پذیر باشد و دارای زیر مدل هایی است که هر کدام در صفحات کاری جداگانه اما متصل به هم قرار دارند.

این مدل در حال حاضر به منظور مدلسازی آلودگی جیوه در پنج اکوسیستم در سراسر ایالات متحده استفاده شده است و برای ارزیابی پاسخ زمانی تغییرات غلظت جیوه در حمایت از قانون هوای پاک سازگار شده است.

تضمین کیفیت / کنترل کیفیت

SERAFM هم از نظر خارجی و هم از نظر داخلی مورد بازبینی قرار گرفته است. SERAFM توسط فدرال USEPA و همچنین بازرسان علمی بررسی شده است.

منابع برنامه های کاربردی منتشر شده SERAFM

- C.D. 2007. Knights, توسعه و کاربرد آزمایشی مدل در غربالگری و ارزیابی خطر حیات وحش در معرض رسوبات آلوده به جیوه آبهای سطحی (SERAFM نرم افزار و مدل سازی محیط زیست. ۲۳: ۴۹۵-۵۱۰).
- M. 2007. Gustin, C.D., Knights, L., Saito, S., Brown هوا و خاک یک جریان غربی و تالاب ساخته شده ۱۸۲ (۴-۱): ۲۷۵-۲۹۰.
- C.D. 2006. Knights, توسعه یک روش ارزیابی خطر زیست محیطی برای ارزیابی خطر حیات وحش مرتبط با رسوبات آلوده به جیوه در سیستم های دریاچه و رودخانه. آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، آتن، GA. شماره انتشار EPA/600/R-06/073.
- EPA آمریکا ۲۰۰۵. تحلیل تأثیر نظارتی قانون جیوه هوای پاک. دفتر برنامه ریزی و استاندارد کیفیت هوا، بخش استراتژی ها و استانداردهای کیفیت هوا. فصل ۳: مدل سازی مقیاس اکوسیستم برای تجزیه و تحلیل جیوه و ضمیمه A: تجزیه و تحلیل و پاسخ کاهش بار جیوه. EPA-452/R-05-003 ماس.
- C.D. SERAFM: Knights ابزاری برای ارزیابی خطر زیست محیطی برای ارزیابی خطر قرار گرفتن در معرض حیات وحش مرتبط با رسوبات آلوده به جیوه در سیستم های دریاچه و رودخانه. ارائه شده در EPA Science Forum 2005، واشنگتن دی سی، ۱۶ تا ۱۸ مه ۲۰۰۵.
- دفتر پسماندهای جامد و واکنش اضطراری. ۲۰۰۵. پروتکل ارزیابی خطر انسانی برای تاسیسات احتراق زباله های خطرناک. سپتامبر. فصل ۲: توصیف انتشار آلاینده ها. EPA530-R-05-006.
- براون، اس. ۲۰۰۶. مدلسازی رفتار جیوه در جریان و تالاب ساخته شده آلوده. پایان نامه. دانشگاه نوادا، رنو. ۱۴ فوریه

فصل شانزدهم:

معرفی کنوانسیون میناماتا

ضوابط و روش های اجرایی مدیریت محیط زیستی و بهداشتی پسماندهای جیوه(در چارچوب قانون مدیریت پسماند، کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه و کنوانسیون بازل)

ضوابط اجرایی مدیریت زیست محیطی پسماندهای حاوی جیوه به استناد ماده ۱۱ قانون مدیریت پسماندها مصوب مورخ ۱۳۸۳/۲/۲۰ مجلس شورای اسلامی و مفاد کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه و به منظور کاهش خطرات زیست محیطی و بهداشتی ناشی از پسماندهای حاوی جیوه، تهیه و تدوین و در جلسه مورخ ۹۲/۳/۵ کمیته فرعی مواد زائد و شیمیایی خطرناک کمیته ملی توسعه پایدار به تصویب اعضاء رسید.

هدف :

حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست در مقابل اثرات سوء ناشی از پسماندهای جیوه و ترکیبات آن از طریق :

- کاهش میزان پسماند ناشی از مصرف جیوه و استفاده از این ماده و مشتقات آن تنها در فرآیندها و کالاهایی که جایگزین مناسبی برای آنها پیدا نشده است.
- جلوگیری از انتشار آلودگی جیوه به منابع آب ، خاک و هوا
- کاهش مصرف منابع و استفاده از مواد یا فرآیندهای جایگزین (مطابق جدول ۱ در پیوست)

مواد :

ماده ۱- در این ضوابط تعاریف زیر در معانی مشروح به کار میروند:

الف- آیین نامه: منظور آییننامه اجرایی قانون مدیریت پسماندها مصوب ۱۱۳۱ است.

ب- اداره کل: اداره کل حفاظت محیط زیست استان محل استقرار واحد صنعتی پردازش کننده

پ- پردازش: کلیه فرایندهای مکانیکی، شیمیایی، بیولوژیکی که منجر به تسهیل در عملیات دفع گردد.

ت- پسماند جیوه: شامل کلیه پسماندهای جیوه، حاوی و یا آلوده به جیوه و ترکیبات آن است.

ث- قانون: منظور قانون مدیریت پسماندها مصوب ۱۱۳۱ است.

ج- کنوانسیون: منظور کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه است.

چ- سازمان: منظور سازمان حفاظت محیط زیست است.

ح- مدیریت صحیح محیط زیستی: به معنی حصول اطمینان از رعایت کلیه مراحل مدیریت پسماند به منظور حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست و در مقابل آثار زیانار ناشی از این پسماندها است.

خ- مدیریت اجرایی پسماند: شخصیت حقیقی یا حقوقی است که مسئول برنامه ریزی، ساماندهی، عملیات اجرایی مربوط به تولید، جمع آوری، ذخیره سازی، جداسازی، حمل و نقل، بازیافت، پردازش و دفع پسماندها و همچنین آموزش و اطلاع رسانی در این زمینه میباشد.

د- واحد مدیریت اجرایی پسماند : عبارت است از واحدهای صنعتی که عملیات بازیافت، تصفیه و دفع پسماند جیوه را انجام میدهند.

بر اساس ماده ۲ ضوابط و روش های اجرایی مدیریت محیط زیستی و بهداشتی پسماندهای جیوه، در فهرست برداری منابع ایجاد پسماندهای جیوه موارد زیر به عنوان محتمل ترین محل تولید پسماندها جیوه تلقی خواهند شد:

بیمارستان ها، مراکز دارویی، مراکز دندانپزشکی، آزمایشگاه ها، موسسات تحقیقاتی-پژوهشی و آموزشی، واحدهای صنعتی تولید سودسوزآور و کلرین و تولید ونیل کلراید با استفاده از روش های قدیمی سل جیوه ای، باتری سازی، واحدهای تولید لوازم برقی، الکترونیک، لوازم و دستگاه های اندازه گیری مانند فشارسنج و دماسنج های جیوه ای، واحدهای تولید مواد شیمیایی و صنایع پتروشیمی، واحدهای تولید لامپ های فلورسنت و مهتابی ها و پسماندهای شهر که تفکیک از مبدا نشده اند. کلیه مراکز تولیدکننده پسماند موضوع این ضوابط مکلفند بر اساس برنامه خود اظهاری نسبت به اعلام میزان کمی و کیفی پسماندهای ایجاد شده به سازمان، وزارت بهداشت و اداره کل به صورت فصلی اقدام نمایند.

تبصره ۱: کلیه مراکز تولید کننده پسماند که تحت پوشش وزارت بهداشت می باشند، مکلفند براساس برنامه خود اظهاری نسبت به اعلام میزان کمی و کیفی پسماندهای ایجاد شده به دانشگاه های علوم پزشکی به صورت فصلی اقدام نمایند.

این اطلاعات باید شامل موارد: نام تولید کننده، آدرس، شخص مسئول، نوع شغل، مقدار پسماند جیوه تولید شده، نوع پسماند جیوه، طرح جمع آوری و دفع زیست محیطی پسماند جیوه، چگونگی تحویل پسماند جیوه ای به جمع آوری کننده ها یا توزیع کننده باشد.

تبصره ۲: کلیه مراکز بهداشتی درمانی می توانند بر اساس برنامه خود اظهاری نسبت به اعلام میزان کمی و کیفی پسماندهای ایجاد شده اقدام نمایند.

بر اساس ماده ۳ ضوابط و روش های اجرایی مدیریت محیط زیستی و بهداشتی پسماندهای جیوه، مسئولیت هرگونه نشت و آلودگی جیوه در محیط زیست تا زمان تحویل پسماند به مراکز خدماتی مدیریت اجرایی پسماندهای حاوی جیوه و امحای آن بر عهده تولید کننده پسماند است.

بر اساس ماده ۴ این ضوابط، پسماند جیوه باید تنها توسط تأسیساتی که دارای مجوزات لازم از مراجع ذیربط مطابق قوانین و مقررات موجود در خصوص تاسیس، استقرار و بهره برداری و ... برای استحصال جیوه می باشند و مجوزهای لازم برای مدیریت محیط زیستی پسماندهای حاوی جیوه نیز هستند پردازش شوند. کلیه مراکز خدماتی مدیریت اجرایی پسماندهای حاوی جیوه باید تمامی مراحل قانونی جهت اخذ مجور فعالیت را از دستگاه های ذیربط طی نمایند.

براساس ماده ۵: دستورالعمل اقدام در موارد اضطراری توسط سازمان و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و حسب نیاز با همکاری سایر دستگاه های اجرایی ذیربط مسئول به طور مستقل حداکثر ظرف ۶ ماه پس از تصویب این ضوابط تهیه و ارائه گردد.

براساس ماده ۶: مراکز خدماتی مدیریت اجرایی پسماندهای حاوی جیوه، موظف به ارائه گزارش ماهیانه حاوی اطلاعات و آمار بر اساس فرم اظهارنامه (پیوست شماره ۲ این ضوابط) به اداره کل میباشند.

ماده ۷: کلیه مراکز خدماتی مدیریت اجرایی پسماندهای حاوی جیوه باید توسط اداره کل و دانشگاه های علوم پزشکی استان ذیربط مورد انجام بازرسی های ارزیابی و نمونه برداری جهت اخذ اطلاعات زیر واقع شوند:

- شناسایی واحدهای تولید کننده، ذخیره و پردازش پسماند جیوه
- جزئیات فعالیت ها و فرآیندهای مورد کاربرد در واحد
- شناسایی انواع پسماندهای جیوه
- بررسی وضعیت و تشخیص میزان تماس جیوه با سلامت انسان و محیط زیست
- بازبینی گزارش های ثبت شده
- اسناد و برنامه های محل سایت

ماده ۸: لازم است واحدهای کلر آلکالی پتروشیمی ها نسبت به جمع آوری تجهیزات به کار برنده جیوه (سل های جیوه ای) و (فرآیند استیلن) و استفاده از جایگزین های مناسب و بروز با تایید این سازمان حداکثر ۱ سال پس از تصویب این ضوابط اقدام نمایند.

ماده ۹: دستگاه های ذیربط موظفند جهت حذف و به حداقل رساندن آلودگی های محیط زیستی و بهداشتی ناشی از کاربرد جیوه و پسماندهای آن اقدام نمایند.

تبصره: لازم است دستورالعمل فنی مرتبط با ماده مذکور ظرف مدتی، سوال پس از تصویب ضوابط تهیه گردد.

ماده ۱۰: واحدهای صنعتی استفاده کننده جیوه مسئولیت رعایت کلیه قوانین و مقررات فعالیت های مربوط به به کارگیری جیوه و ترکیبات آن با رعایت کلیه ملاحظات محیط زیستی و بهداشتی را بر عهده دارند.

ماده ۱۱: پایش مستمر انبارهای نگهداری پسماند جیوه توسط مدیریت اجرایی پسماند جهت اطمینان از عدم نشت جیوه ضروری بوده و رعایت ملاحظات زیست محیطی و بهداشتی در چارچوب طرح خود اظهاری به دستگاه های ذیربط ارائه گردد.

ماده ۱۲: اقدامات پیشگیرانه، مقابله و رفع آلودگی های احتمالی ناشی از انتشار ناگهانی جیوه (وقوع حادثه و ریزش های اتفاقی) لازم است توسط مدیریت اجرایی پسماند، جهت به حداقل رساندن اثرات سوء ناشوی از حادثه به محیط زیست و سلامت جوامع تحت تاثیر بر اساس روش های فنی معتبر انجام گیرد.

ماده ۱۳: کلیه واحدها و کلینیک های دندانپزشکی، موظف می باشند، با استفاده از تجهیزات مناسب مانند صافی ها و جداکننده ها از تخلیه آمالگام در لوله فاضلاب و همچنین از شستشوی آنها و سایر وسایل و مواد مصرفی حاوی و یا آغشته به آمالگام در سینک، خودداری نمایند.

تبصره: جداکننده آمالگام باید با استاندارد ملی ۱۱۶۳۴ "دندانپزشکی - جداکننده های آمالگام مطابقت داشته" باشند.

ماده ۱۴: کلیه واحد ها و کلینیک های دندانپزشکی، موظف می باشند، مدیریت صحیح محیط زیستی و ملاحظات بهداشت و سلامت در خصوص انبارش آمالگام، مصرف، پسماندهای تولید شده آمالگام شامل ظروف خالی، دندان های ترمیمی و مواد مصرفی آلوده را مطابق ضوابط و مقررات موجود در خصوص مدیریت محیط زیستی پسماندهای پزشکی را رعایت نمایند.

تبصره ۱: دستورالعمل و راهنماهای فنی در خصوص بهترین روش های مدیریت ضایعات آمالگام توسط سازمان و وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی ظرف مدت ۶ ماه پس از تصویب ضوابط تهیه گردد.

تبصره ۲: ضایعات آمالگام دندانی و پسماندهای آلوده به آن در صورت نبودن امکان بازیافت، برای بازیافت در زمان دیگر و یا انتقال به لندفیل های تأیید شده، مطابق با قوانین و مقررات سازمان و وزارت بهداشت، جمع آوری، انبار و سپس ارسال شوند.

ماده ۱۵: به منظور به حداقل رسانی و حذف آلودگی های محیط زیستی ناشی از تولید و استفاده از لامپ های جیوه ای ضرورت دارد ضوابط و روش های مدیریت اجرایی پسماندهای برقی و الکترونی «مصوبه شماره ۴۴۶۱۷/۲۹۹۶۸۵ مورخ ۸۹/۱۲/۲۶ شورای عالی حفاظت محیط زیست در خصوص مدیریت صحیح محیط زیستی پسماند در لامپ های فلورسنت دقیقاً اجرا گردد.

مقررات عمومی:

ماده ۱۶: مدیریت اجرایی بخشی از پسماند جیوه که به عنوان پسماند صنعتی و ویژه محسوب می گردد، بر اساس ماده ۷ قانون بر عهده تولیدکننده پسماند میباشد.

ماده ۱۷: مدیریت بخشی از پسماند جیوه که در پسماندهای عادی و کشاورزی موجود میباشد بر اساس تبصره ۲ ذیل ماده ۴ آیین نامه بر عهده مدیریت اجرایی پسماند عادی می باشد.

ماده ۱۸: کلیه انتقالات برون مرزی پسماندهای جیوه باید بر اساس ماده ۱۴ قانون با رعایت مقررات کنوانسیون بازل و با نظارت مرجع ملی کنوانسیون در کشور که سازمان است صورت پذیرد.

تبصره: ماده ۴۶ آیین نامه اجرایی حمل و نقل جاده ای مواد شیمیایی و خطرناک شماره ۴۴۸۷۰/ت/۲۹۰۲۲ ه مصوب ۸۰/۱۲/۲۷ هیأت دولت در حمل و نقل این پسماندها رعایت شود.

ماده ۱۹: رعایت مفاد این ضوابط در مدیریت صحیح زیستمحیطی پسماندهای جیوه برای کلیه اشخاص حقیقی و حقوقی تولیدکننده این نوع پسماندها و همچنین واحدهای مدیریت اجرایی پسماندها حاوی جیوه الزامی است.

ماده ۲۰: سازمان، مسئول پیگیری و نظارت بر حسن اجرای این ضوابط میباشد.

جدول ۱- فهرست برخی از کالاهای حاوی جیوه به همراه معرفی برخی جایگزین های آن

جایگزینهای مناسب جیوه در محصول	محصول حاوی جیوه	
باتری لیتیومی، باتری هوا-روی، باتری قلبایی	باتریها	۱
دماسنج الکلی، حسگر الکترونیکی حرارت، دماسنج دیجیتال، دماسنج انبساطی و آنروئید	دماسنجها	۲
لامپهای معمولی، لامپ لوله ای بخار سدیم، فلورسنت فشرده	لامپهای فلورسنت، تخلیه شدت زیاد (HID)، ماورای بنفش	۳
فیبرهای نوری، دستگاههای حالت جامد، سوئیچهای فشار سنج خلاء الکترونیک، فشارسنج انبساطی و	تجهیزات الکترونیک (مانند ترموستات)	۴
فشارسنج جایگزین شده با فتالات یا یک مایع مناسب دیگر یا فشارسنج آنروئید الکترونیک	دستگاه سنجش فشار خون	۵
	فشارسنجها	۶
جایگزین با ترکیبات شیمیایی مجاز	محلولهای رنگی و نگاهدارنده ها: تیمروسال (thimerosal)، ایموسال، رنگ کربول فوشین (carbolfuchsin) محلول فوشین در مخلوط فنل- الکل- آب، رنگ آمیزی گرم، جیوه فنلیک (Mercury Phenolic)، استات، آلوم، همتوکسیلین) «محلول A» (مورد استفاده در نساجی و ... (haematoxylin)	۷
کاتالیست مس	اکسید جیوه (II)	۸
کلرید منیزیم، اسید سولفوریک	کلرید جیوه (II)	۹
نیترات نقره، سولفات پتاسیم، سولفات کرم (III)	سولفات جیوه (II)	۱۰
روش فئات	یدید جیوه	۱۱
سولفات مس، سولفات آمونیم	نیترات جیوه (برای خوردگی آلیاژ مس)	۱۲
متد الکتروود یون انتخابی	آنالیز رنگ سنجی کلرید	۱۳
روی فرمالین فرآیند خارج کردن رطوبت از نمونه یا قطعه منجمد شده	کلرید جیوه (II) محلول زنکر (zenker) - (نوعی فیکساتیو) فیکساتیوهای بافتها	۱۴

Technical Guidelines for the Environmentally Sound Management of Waste consisting of Elemental Mercury and Wastes containing or Contaminated with Mercury

سازمان حفاظت محیط زیست
دفتر بررسی آلودگی آب و خاک
اطهار نامه جیوه

واحد تولید کننده پسماند	شماره پرونده		۱- کد شناسایی واحد تولید کننده		اطهار نامه جیوه
			۳- نام و آدرس تولید کننده		الف- شماره پرونده
			۴- تلفن تولید کننده		ب- کد شناسایی تولید کننده
			۵- شرکت حمل و نقل کننده اول		ج- کد شناسایی واحد حمل و نقل کننده
			۶- کد شناسایی واحد حمل و نقل کننده		د- تلفن واحد حمل و نقل کننده
			۷- شرکت حمل و نقل کننده دوم		ه- کد شناسایی واحد حمل و نقل کننده
			۸- کد شناسایی واحد حمل و نقل		و- تلفن واحد حمل و نقل کننده
			۹- نام و آدرس واحد پذیرنده پسماند جهت تصفیه		ز- کد پستی واحد تصفیه
			۱۰- کد شناسایی واحد تصفیه		ح- تلفن واحد تصفیه
	ط- شماره پسماند		۱۴- چگالی	۱۳- تعداد کلی	۱۲- کانتینرها نوع تعداد
					الف-
					ب-
					ج-
					د-
		ی- توضیحات تکمیلی در خصوص پسماندهای فوق		ک- کدهای نگهداری برای پسماندهای فوق	
۱۵- دستورالعمل ویژه جهت جابجایی پسماند ها و سایر اطلاعات مورد نیاز					
۱۶- تعهدات واحد تولید کننده: بدینوسیله متعهد می شوم که تمامی اطلاعات مربوط به محتویات محموله پسماند حاوی جیوه را در این بارنامه ذکر کرده و کلیه برچسب ها و علائم شناسایی و هشدار دهنده لازم را بر روی بسته بندیها نصب کرده باشم و نیز تعهد می کنم که شرایط محموله به منظور حمل و نقل در جاده ها و بزرگراهها، بر اساس قوانین و ضوابط ملی باشد. در صورتی که تولید کننده عمده پسماند باشم متعهد می شوم که یک برنامه کاهش میزان پسماند تولیدی یا کاهش سمیت پسماند تولیدی را تا حدی که قابل اجرا و اقتصادی باشد، در محل تولید پسماند اجرا کرده و یک مدیریت صحیح زیست محیطی برای پسماندهایی که در حال حاضر یا در آینده به انسان و محیط زیست آسیب می رساند را انتخاب کرده باشم. در صورتیکه تولید کننده جزئی پسماند باشم تمام تلاش خود را به کار خواهم گرفت تا میزان پسماند تولیدی را کاهش و بهترین روش مدیریتی موجود را انتخاب و بکار برم.					
		نام:		امضا	
				سال/ ماه/ روز	
واحد حمل و نقل	۱۷- واحد حمل و نقل کننده اول تایید محموله دریافتی				
			نام:		امضا
				سال/ ماه/ روز	
۱۸- واحد حمل و نقل کننده دوم تایید محموله					
		نام:		امضا	
				سال/ ماه/ روز	
واحد تصفیه	۱۹- تناقضات موجود در اظهار نامه				
	۲۰- صاحب یا کاربر واحد تصفیه: تایید دریافت محموله با مشخصات بالا به استثنای موارد پند				
		نام:		امضا	
				سال/ ماه/ روز	

ماده ۳۰ تا ۳۹ فصل ششم ضوابط و روش های مدیریت اجرایی پسماندهای برقی و الکترونیکی در خصوص مدیریت صحیح زیست محیطی پسماند در لامپ های فلورسنت است .

ماده ۳۰ : پیش از ورود لامپ های فلورسنت به واحد، از شکستن و انتشار محتویات آن از جمله جیوه به محیط زیست جلوگیری شود.

ماده ۳۱: کلیه لامپهای فلورسنت هنگام انتقال به واحد باید در ظروف با درپوش محکم قرار داده شوند.

ماده ۳۲ : ظروف حامل لامپهای فلورسنت باید مانع از شکستن لامپ ها در برابر ضربه گردند.

ماده ۳۳ : ظروف حامل لامپهای فلورسنت باید دارای برچسب خطرناک (حاوی جیوه) باشند.

ماده ۳۴ : در صورت شکستن لامپهای محتوی جیوه، موارد زیر رعایت شود:

الف) هنگام جمع آوری از ماسک و دستکشهایی از جنس لاستیک و یا نیتریل استفاده شود .

ب) خرده ها در کاغذهای ضخیم و یا مقوا پیچیده و به کیسه های پلاستیکی با ضخامت ۶-۲ میلی متر منتقل شوند.

ج) از شستشوی جیوه و اشیای آلوده به آن و ورود این ماده به فاضلاب ممانعت شود.

ماده ۳۵: هنگام وارد نمودن لامپها به دستگاه خردکن، تمهیدات لازم به منظور پیش گیری از انتشار جیوه به محیط به کار گرفته شود.

ماده ۳۶: برای پیش گیری از آلوده شدن فضای محیط واحد باید مجهز به سیستم جمع آوری غبار برای جذب جیوه و ترکیبات فسفره باشد.

ماده ۳۷: برای جداسازی بخارات جیوه در حین انجام کلیه مراحل بازیافت، وجود فیلتر کربن فعال یا نوع مشابه ضروری است.

ماده ۳۸ : فلزات ، شیشه، پلاستیک، جیوه و ترکیبات فسفره به طور کامل از یکدیگر جدا شده و مورد بازیافت واقع شوند.

ماده ۳۹ : در سایر لامپها نیز لازم است فرآیند خردکردن، جداسازی شیشه، پلاستیک، فلزات و سایر مواد غیر فلزی و احتمالا خطرناک از نظر زیست محیطی و هدایت آنها برای بازیافت با رعایت این ضوابط صورت پذیرد.

منابع:

1. Guidance on the Cleanup, Temporary or Intermediate Storage, and Transport of Mercury Waste from Healthcare Facilities
2. Guidelines on the environmentally sound interim storage of mercury other than waste mercury
3. Technical guidelines for the environmentally sound management of wastes consisting of elemental mercury and wastes containing or contaminated with mercury
4. Safe management of wastes from health-care activities: World Health Organization; 2014.

۵. راهنمای مواجهه با جیوه در محیط کار، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران

۶. راهنمای سرفصل ها و محتوای برنامه آموزشی مدیریت پسماند پزشکی، پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران

۷. ضوابط و روش های مدیریت اجرایی پسماندهای پزشکی و پسماندهای وابسته

۸. ضوابط و روش های اجرایی مدیریت محیط زیستی و بهداشتی پسماندهای جیوه (در چارچوب قانون مدیریت پسماند، کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه و کنوانسیون بازل)

پیوست

پیوست الف

کمک های اولیه در مواجهه با جیوه

اگر فردی مواجهه تنفسی با جیوه داشت چه باید کرد؟

قبل از اقدام به نجات ، برای اطمینان از ایمنی خود اقدامات احتیاطی مناسبی انجام دهید (به عنوان مثال از تجهیزات محافظتی مناسب استفاده کنید). منبع آلودگی را از بین ببرید یا قربانی را به هوای تازه منتقل کنید. اگر تنفس فرد دشوار بود، در صورت استفاده از پرسنل آموزش دیده ، ترجیحاً به توصیه پزشک ، اکسیژن رسانی مفید خواهد بود. اجازه ندهید که مصدوم بی جهت حرکت کند. علائم ادم ریوی می تواند تا ۴۸ ساعت پس از قرار گرفتن در معرض جیوه مشاهده شود. فوراً مصدوم را به یک مرکز مراقبت های اضطراری منتقل کنید.

اگر فردی مواجهه پوستی با جیوه داشت چه باید کرد؟

از تماس مستقیم خودداری کنید. در صورت لزوم از لباس محافظ شیمیایی استفاده کنید. به سرعت و با خونسردی مواد شیمیایی اضافی را پاک کنید یا مسواک بزنید. به آرامی و کاملاً با آب و صابون به مدت ۵ دقیقه یا تا زمانی که ماده شیمیایی از بین برود ، بشویید. لباس ، کفش و کالاهای چرمی (به عنوان مثال بند ساعت ، کمربند) آلوده را جدا کنید. آنها را یا دور انداخته و یا قبل از استفاده مجدد لباس ، کفش و کالاهای چرمی را کاملاً تمیز کنید. مشاوره پزشکی دریافت کنید.

اگر فردی مواجهه چشمی با جیوه داشت چه باید کرد؟

از تماس مستقیم خودداری کنید. در صورت لزوم از دستکش محافظ شیمیایی استفاده کنید. به سرعت و با خونسردی مواد شیمیایی اضافی را پاک کنید. در حالی که پلک (ها) را باز نگه دارید ، چشم ها را با ولرم و به آرامی با جریان آب به مدت ۵ دقیقه یا تا زمانی که مواد شیمیایی از بین برود ، شستشو دهید. بلافاصله مشاوره پزشکی بگیرید.

اگر فردی جیوه را بلعید چه باید کرد؟

اگر مصدوم بیهوش است یا تشنج می کند ، هرگز چیزی از طریق دهان به او ندهید. از مصدوم بخواهید دهان خود را کاملاً با آب بشویید. استفراغ را القا نکنید. بلافاصله مراقبت های پزشکی را دریافت کنید.

آیا مورد دیگری در خصوص کمک های اولیه در مواجهه با جیوه وجود دارد که باید بدانم؟

اقدامات حمایتی عمومی (راحتی ، گرما ، استراحت) را ارائه دهید.

برخی توصیه ها در بخش های فوق ممکن است در برخی از حوزه های قضایی اقدامات پزشکی تلقی شود. این توصیه ها باید در صورت لزوم با پزشک و تفویض اختیارات مناسب به دست آمده بررسی شود. تمام مراحل کمک های اولیه باید بصورت دوره ای باشد.

جیوه می تواند در بدن تجمع پیدا کرده و اثرات قابل توجهی برای سلامتی در دراز مدت ایجاد کند. به دنبال هرگونه مواجهه با یک پزشک مشاوره داشته باشید.

توجه: جهت اطلاعات بیشتر در خصوص علائم و معالجات پزشکی به منابع زیر مراجعه نمایید:

<http://emedicine.medscape.com/article/819872-overview>
<http://www.atsdr.cdc.gov/mhmi/mmg46.html>
http://www.wrongdiagnosis.com/m/mercury_poisoning/treatments.htm

پیوست ب

برخی اطلاعات مفید در خصوص جیوه

CAS # 7439-97-6

UN #2024 (جامد) 2025 (جیوه ترکیبی مایع) 2028 (جیوه ترکیبی جامد)

وزن مولکولی: ۲۰۰,۵۹ گرم در هر مول

نقطه ذوب: C۳۸,۸۷۰

نقطه جوش: C۳۵۶,۷۳۰

دانسیته: ۱۳,۵ گرم در سانتی متر مکعب در دمای ۲۵۰ درجه سانتیگراد

فشار بخار جیوه: Pa ۰,۲۶ در دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد یا 3۲-10 x میلی متر جیوه در ۲۵۰ درجه سانتیگراد

چگالی نسبی بخار جیوه: ۶,۹۳ (هوا = ۱)

حد مواجهه شغلی: 0.02 (EU) میلی گرم در متر مکعب در هوا

مقدار حد آستانه: 0.025 (ACGIH) میلی گرم در متر مکعب در هوا (روز ۸ ساعت، ۴۰ ساعت هفته در هفته)

عوامل تبدیل بخار جیوه در هوا: $18/8 \text{ ppm (v/v) = 1}$ میلی گرم در متر مکعب؛ $1 \text{ میلی گرم در متر مکعب} = 0,1۲۲ \text{ ppm}$

حلالیت در آب: ۶۲ میکروگرم در لیتر در STP

ضریب پارتیشن بندی: Kow 5.95

حجم مربوط به ۲۳,۵ کیلوگرم: ۱,۷۵۲ لیتر جیوه (بدون احتساب وزن ظرف)

تراکم آمالگام دندان: ۱۱ گرم در سانتی متر مکعب

مقدار جیوه در دماسنج حدود: ۱ گرم (دامنه: ۰,۵ تا ۱,۵ گرم)

ابعاد معمول دماسنج تب: طول ۱۱۰ میلی متر x قطر ۴,۳ میلی متر

وزن معمول دماسنج تب: حدود ۵ گرم

⁵ Original recommended NIOSH weight limit for manual lifting under ideal conditions.

مقدار جیوه در یک فشار سنج: ۸۰ تا ۲۰۰ گرم

ابعاد نمونه فشار سنج: ۵ سانتی متر در ۱۲ سانتی متر در ۳۵ سانتی متر است

مقدار جیوه در لامپ های فلورسنت:^{۵۳}

۱۰ - ۵۰ میلی گرم (لامپ های خطی غیر جیوه ای کاهش یافته)

۴,۴ - ۱۰ میلی گرم (۴ فوت خطی ، T12 ، راندمان پایین)

۱,۴ - ۵ میلی گرم (۴ فوت خطی ، T5 و T8 ، راندمان بالا)

۱۰ - ۱۵ میلی گرم (دایره ای ، T9 ، راندمان پایین)

۵ - ۹ میلی گرم (دایره ای ، T5 ، راندمان بالا)

۱ - ۵ میلی گرم ، تا ۲۵ میلی گرم (لامپهای کم مصرف فلورسنت)

۲۵ میلی گرم (۷۵ وات) و ۲۲۵ میلی گرم (۱۵۰۰ وات) با شدت زیاد لامپ های تخلیه ، لامپهای بخار جیوه یا سدیم

حداکثر ۵۰۰ میلی گرم / ۴ فوت (علائم نئون)

ضریب تبدیل ضخامت کیسه های پلاستیکی ۱ میل = ۲۵ میکرون

معادله ای برای تخمین حداکثر ارتفاع جیوه در یک ظرف^{۵۴}

تا از حد مقاومت ظرف فراتر نرود:

$$\sigma t / D > 3400h$$

جایی که h (سانتی متر) باید حداکثر ارتفاع جیوه در ظرف باشد ، σ (MPa) برابر است با مقاومت کششی ماده ای که ظرف از آن ساخته شده است ، t (سانتی متر) ضخامت دیواره ظرف و D (سانتی متر) قطر ظرف است. مقاومت کششی معمولی برای پلاستیک ها عبارتند از: ۴۷ - ۷۹ مگاپاسکال برای PET یا پلی اتیلن ترفتالات ، حدود ۶۵ مگاپاسکال برای پلی کربنات ؛ ۲۶ - ۵۳ مگاپاسکال برای HDPE ، ۱۲ - ۴۳ مگاپاسکال برای پلی پروپیلن و ۸/۶ - ۲۷ برای LDPE. مقاومت کششی برای فولاد ۲۵۰ MPa برای فولاد ساختاری و ۵۰۲ MPa برای فولاد ضد زنگ است.

⁵ "Mercury in Lighting Equipment," Alicia Culver (Green Purchasing Institute, Berkeley, CA), presented at the EEB Conference, Brussels, Belgium, June 27, 2008; Environment Canada, "Fluorescent Lamps" website: <http://www.ec.gc.ca/mercure-mercury/default.asp?lang=En&n=2486B388-1>

⁵ Based on calculating the hoop stress⁴ assuming a thin walled cylinder and using the von Mises criterion



شبکه آزمایشگاه‌های علمی ایران (شنا)
Iran Scientific Laboratories Net



وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
سازمان پژوهش و فناوری

SAFETY DATA SHEET
جیوه (Mercury)

بخش ۱: هویت ماده

۱.۱ شناسایی ماده

نام ماده	جیوه (Mercury)
CAS-No	7439-97-6
EC number	231-106-7
Index number	080-001-00-0

بخش ۲: خطرات شناسایی شده

۱.۲ طبقه‌بندی ماده یا مخلوط

طبقه‌بندی براساس (OHSA HCS) 29CFR 19140

GHS06



Acute Tox.2

H330: در صورت تنفس، کشنده است.



GHS08

Repr.1B

H360: ممکن است سبب آسیب به باروری یا جنین شود.

STOT RE 1

H372: از طریق مواجهه طولانی مدت یا تکراری سبب آسیب به سیستم اعصاب مرکزی، کلیه‌ها، سیستم تولید مثل و مغز می‌شود. روش مواجهه: خوراکی، تنفسی.
سایر خطرات طبقه‌بندی نشده: اطلاعات دیگری وجود ندارد.

۲.۲ اجزای برچسب

اجزای برچسب GHS

این ماده براساس (OHSA HSC) 29CFR 1910 طبقه‌بندی و برچسب‌گذاری شده است.

نماد خطر




GHS08 GHS06

عبارت نماد

عبارات خطر (Hazard statement(s))

H330	تنفس این ماده، کشنده است.
H360	ممکن است به باروری یا جنین آسیب برساند.
H372	از طریق مواجهه طولانی مدت یا تکراری سبب آسیب به سیستم اعصاب مرکزی، کلیه‌ها، سیستم تولید مثل و مغز می‌شود. روش مواجهه: خوراکی، تنفسی.



عبارات احتیاط (s) Precautionary statement(s)	
P260	گرد و غبار، فیوم، گاز، میست، بخار و اسپری این ماده را استنشاق نکنید.
P281	در صورت نیاز از تجهیزات حفاظت فردی استفاده شود.
P284	در صورت کافی نبودن تهویه از حفاظت تنفسی استفاده شود.
P320	درمان ویژه ضروری است (این برچسب را ببینید).
P405	به صورت قفل شده انبار شود.
P501	ماده یا ظرف محتوی آن را مطابق با قوانین ملی، بین‌المللی و یا منطقه‌ای، دفع کنید.
	D1A: ماده بسیار سمی که سبب اثرات سمی جدی و فوری می‌شود. D2A: ماده بسیار سمی که سبب سایر اثرات سمی می‌شود. E: ماده خورنده
	طبقه‌بندی براساس استاندارد کانادا (WHMIS)
	
دسته‌بندی HMIS (درجه‌بندی ۴-۰)	سلامتی (اثرات حاد) - ۳ قابلیت اشتعال - ۰ خطر فیزیکی - ۱
نتایج ارزیابی vPvB.PBT	۳،۲ سایر خطرات کاربردی ندارد.
بخش ۳: اطلاعات در مورد ترکیب / اجزاء	
ویژگی شیمیایی	مواد
CAS#Description	7439-97-6 Mercury
EC-No	231-106-7
Index number	080-001-00-0

بخش ۴: اقدامات کمک‌های اولیه	
۱،۴ تشریح اقدامات کمک‌های اولیه	
توصیه‌های عمومی: فوراً همه لباس‌های آلوده شده به ماده را درآورید. فقط پس از این که لباس آلوده را به صورت کامل در آورده‌ید، وسایل تنفسی را بردارید. در صورت تنفس نامنظم یا ایست تنفسی، تنفس مصنوعی فراهم شود.	
در صورت تنفس: هوای تازه تامین کنید. در صورت نیاز، به مصدوم تنفس مصنوعی بدهید. او را گرم نگه دارید. فوراً به پزشک مراجعه کنید.	
در صورت مواجهه پوستی: فوراً پوست را به‌طور کامل با آب و صابون شسته و آب‌کشی کنید. فوراً به پزشک مراجعه کنید.	
در صورت مواجهه چشمی: چشم‌های باز را برای چند دقیقه زیر آب جاری شستشو دهید. سپس با پزشک مشورت کنید.	
در صورت خوردن: درمان پزشکی را دریافت کنید.	
اطلاعات برای پزشک	
۲،۴ مهم‌ترین علائم و اثرات حاد و تاخیری: اطلاعات بیش‌تری در دسترس نیست.	
۳،۴ شاخص مراقبت پزشکی فوری و درمان‌های خاص مورد نیاز: اطلاعات بیش‌تری در دسترس نیست.	
بخش ۵: روش‌های اطفاء حریق	
۱،۵ ماده‌ی خاموش‌کننده	
ماده‌ی خاموش‌کننده‌ی مناسب: ماده قابل اشتعال نیست. از روش‌های مبارزه با حریق که برای محصور کردن حریق مناسبند، استفاده شود.	
۲،۵ خطرات خاص ناشی از ماده یا مخلوط: در صورت حریق این ماده، مواد زیر آزاد می‌شوند: اکسید جیوه	
۳،۵ توصیه برای آتش‌نشانی: رسیپراتور (تجهیزات تنفسی) خودتامین پوشیده شود. لباس کامل حفاظتی غیرقابل نفوذ پوشیده شود.	

بخش ۶: اقدامات لازم در زمان نشت و ریزش تصادفی
۱,۶ احتیاط‌های فردی، تجهیزات حفاظتی و رویه‌های اضطراری: تجهیزات حفاظت فردی پوشیده شوند. افراد فاقد تجهیزات حفاظت فردی را از محل دور نگه‌دارید. تهویه کافی را برای محیط فراهم کنید.
۲,۶ احتیاط‌های زیست محیطی: اجازه ندهید ماده وارد سیستم فاضلاب یا مسیر آب شود.
۳,۶ روش‌ها و وسایل برای رفع آلودگی و پاکسازی: ماده را با شن، دیاتومه، چسب‌های اسیدی و خاک اره جذب نمایید. برای دفع مناسب ماده به عنوان ماده زائد، براساس بخش ۱۳ اقدام کنید. تهویه کافی تأمین شود.
۴,۶ پیشگیری از خطرات ثانویه: روش خاصی مد نظر نیست.
۵,۶ منابع برای سایر بخش‌ها: برای اطلاع از حمل ایمن ماده، بخش ۷ را ببینید. برای اطلاع از وسایل حفاظت فردی، بخش ۸ را ببینید. برای اطلاع از نحوه دفع، بخش ۱۳ را ببینید.
بخش ۷: حمل و انبار
۱,۷ احتیاطات برای حمل ایمن: ظرف را به‌صورت محکم مهر و موم شده نگهداری کنید. ظرفی که در آن‌ها محکم بسته شده را در محیط سرد و خشک ذخیره کنید. در محیط کار تهویه مناسب را برقرار کنید. ظرف با دقت حمل و باز شود.
۲,۷ اطلاعاتی درباره‌ی حفاظت در برابر انفجار یا آتش: این ماده قابل اشتعال نیست.
۳,۷ شرایط انبار ایمن شامل مواد ناسازگار: الزامات برای ظروف و اطاق‌ها: الزام خاصی مد نظر نیست. اطلاعات برای انبار نمودن ماده در انبار مشترک: دور از هالوژن‌ها انبار شود. دور از فلزات انبار شود.
۴,۷ سایر اطلاعات درباره‌ی شرایط انبار: ظروف را به‌صورت مهر و موم شده نگهداری کنید. ظروف به خوبی مهر و موم شده را در شرایط سرد و خشک انبار کنید.
بخش ۸: کنترل‌های مواجهه/حفاظت فردی
۱,۸ اطلاعات بیش‌تر درباره‌ی طراحی سیستم تهویه: تهویه موضعی باید متناسب با مواد شیمیایی خطرناک طراحی و متوسط سرعت دهانه‌ی هود حداقل 100 ft/min در نظر گرفته شود.
۲,۸ عوامل کنترل حدود مجاز بر اساس الزامات ایران (۱۳۹۱): اشکال معدنی و عنصری: (پوست) $\text{OEL-TWA} = 0.025 \text{ mg/m}^3$ ترکیبات آلیکیل: (پوست) $\text{OEL-TWA} = 0.01 \text{ mg/m}^3$ (پوست) $\text{OEL-STEL} = 0.03 \text{ mg/m}^3$ پایش بیولوژیکی: شاخص بیولوژیکی: جیوه غیر آلی کل در ادرار (زمینه) $\text{BEI} = 35 \mu\text{g/gcr}$ زمان نمونه‌برداری: ابتدای شیفت
شاخص بیولوژیکی: جیوه غیر آلی کل در خون (زمینه) $\text{BEI} = 15 \mu\text{g/L}$ زمان نمونه‌برداری: انتهای شیفت در آخر هفته
۳,۸ کنترل‌های مواجهه: تجهیزات حفاظت فردی روش‌های بهداشتی و حفاظتی عمومی: باید اقدامات پیشگیرانه معمول برای استفاده از مواد شیمیایی دنبال شود. ماده را دور از مواد غذایی و آشامیدنی نگهداری کنید. فوراً تمامی لباس‌های آلوده و کتیف را بردارید. لباس حفاظتی جدا نگهداشته شود. دست‌ها را قبل از استراحت و در پایان کار بشوئید. شرایط محیط کار ارگونومیک را فراهم سازید. تجهیزات تنفسی: وقتی غلظت‌های زیادی از این ماده در محیط وجود دارد، از وسیله‌ی حفاظت تنفسی مناسب استفاده نمایید.

<p>فیلتر توصیه شده برای استفاده کوتاه مدت: به‌عنوان پشتیبانی برای کنترل‌های مهندسی از رسپراتور دارای کارتریج ترکیبی چند منظوره (US) یا نوع (ABEK(EN 14387 استفاده نمایید. برای مشخص شدن نیاز به استفاده از رسپراتورها باید ارزیابی ریسک انجام شود. فقط از وسایل حفاظتی آزمایش شده و مورد تایید استانداردهایی مانند CEN(EU) یا NIOSH(USA) استفاده نمایید.</p>	
<p>حفاظت دست‌ها: استفاده از دستکش‌های غیرقابل نفوذ. قبل از استفاده از دستکش‌های حفاظتی، مناسب بودن آن‌ها را بررسی کنید. انتخاب دستکش‌های مناسب نه تنها به جنس آن‌ها، بلکه به کیفیت آن‌ها نیز بستگی دارد. اختلاف کیفیت دستکش سازندگان متفاوت را باید مد نظر داشت. جنس دستکش: لاستیک نیتریلی، NBR مدت زمان نفوذ دستکش: ۴۸۰ دقیقه ضخامت دستکش: 0.11 mm</p>	
<p>حفاظت چشم: عینک ایمنی</p>	
<p>حفاظت بدن: لباس کار حفاظتی</p>	
<p>تذکر: در زمینه انتخاب، تهیه و استفاده از وسایل حفاظت فردی، رعایت کلیه موارد مندرج در "بین‌نامه وسایل حفاظت فردی" مصوب ۱۳۹۰/۳/۲۱ شورای عالی حفاظت فنی و بهداشت کار ایران، الزامی است.</p>	
<p>بخش ۹: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی</p>	
<p>۱,۹ اطلاعات اساسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی</p>	
ظاهر	مایع
رنگ	نقره‌ای رنگ
بو	بدون بو
حد آستانه‌ی بو	مشخص نشده است.
pH	کاربردی ندارد.
نقطه‌ی ذوب	-38.87 °C(-38°F)
نقطه‌ی جوش	356.73°C(674°F)
دمای تصعید	مشخص نشده است.
نقطه‌ی اشتعال	مشخص نشده است.
قابلیت اشتعال(جامد، گاز)	مشخص نشده است.
دمای آتش‌گیری	مشخص نشده است.
دمای تجزیه	مشخص نشده است.
دمای خود اشتعالی	مشخص نشده است.
خطر انفجار	مشخص نشده است.
محدوده‌ی قابل انفجار	حد پایین: مشخص نشده است. حد بالا: مشخص نشده است.
فشار بخار در دمای 20°C	0.00163hpa
دانسیته در دمای 20°C	13.534 g/cm ³ (112.941 lbs/gal)
دانسیته‌ی نسبی	مشخص نشده است.
دانسیته‌ی بخار	کاربردی ندارد.
نسبت تبخیر	کاربردی ندارد.
حلالیت در آب	به سختی مخلوط می‌شود یا غیر قابل حل
ضریب تفکیک (n-Octanol/Water)	مشخص نشده است.
ویسکوزیته	Kinematic: کاربردی ندارد. Dynamic: کاربردی ندارد.

بخش ۱۰: پایداری و واکنش پذیری	
۱،۱۰ واکنش پذیری: اطلاعاتی وجود ندارد.	
۲،۱۰ پایداری شیمیایی: تحت شرایط توصیه شده برای انبار، پایدار است.	
۳،۱۰ تجزیه‌ی حرارتی/شرایطی که باید از آن دوری شود:	
اگر تحت شرایط مورد توصیه، انبارشده و مورد استفاده قرار گیرد، تجزیه‌ی حرارتی اتفاقی نمی‌افتد.	
۴،۱۰ واکنش‌های احتمالی خطرناک: واکنش خطرناکی شناخته نشده است.	
۵،۱۰ شرایط اجتناب: اطلاعاتی موجود نیست.	
۶،۱۰ مواد ناسازگار: هالوژن‌ها، فلزات	
۷،۱۰ محصولات خطرناک حاصل از تجزیه: اکسید جیوه	
بخش ۱۱: اطلاعات سم‌شناسی	
۱،۱۱ اثرات سم‌شناسی	
سمیت حاد: در صورت تنفس، کشنده است.	
RTECS شامل اطلاعاتی درباره‌ی سمیت حاد ترکیبات این محصول است.	
LD50 / LC50: داده‌ای وجود ندارد.	
تحریک یا خوردگی پوست: ممکن است سبب تحریک شود.	
تحریک یا خوردگی چشم: ممکن است سبب تحریک شود.	
حساسیت: اثرات حساسیت‌زا شناخته شده نشده است.	
اثر موتاژن بر سلول جنسی: RTECS شامل اطلاعاتی درباره‌ی جهش‌زایی این ماده است.	
سرطان‌زایی (Carcinogenicity):	
EPA-D: به عنوان سرطان‌زای انسانی طبقه‌بندی نشده است. مدرک انسانی و حیوانی براس سرطان‌زایی ناکافی است یا داده‌ای وجود ندارد.	
IARC-3: به عنوان سرطان‌زای انسانی طبقه‌بندی نشده است.	
ACGIH-A4: به عنوان سرطان‌زای انسانی طبقه‌بندی نشده است.	
RTECS محتوی اطلاعاتی در زمینه سرطان‌زایی، تومورزایی و بدخیمی این ماده است.	
سمیت تولید مثل: RTECS ممکن است به باروری یا جنین آسیب برساند.	
شامل اطلاعاتی درباره‌ی سمیت دستگاه تولید مثل این ماده است.	
سمیت ارگان‌های خاص هدف - مواجهه‌ی تکراری:	
از طریق مواجهه طولانی مدت و یا تکراری سبب آسیب به سیستم عصبی مرکزی، کلیه‌ها، سیستم تولید مثل و مغز میشود. راه ورود: خوراکی، تنفسی.	
سمیت ارگان‌های خاص هدف - یک بار مواجهه: اثراتی، شناخته نشده است.	
خطر آسپیراسیون: اثراتی، شناخته نشده است.	
سمیت مزمن تا تحت حاد: RTECS شامل اطلاعاتی درباره‌ی سمیت دزهای متفاوت این ماده است.	
اطلاعات سم‌شناسی پیش‌تر: بر اساس اطلاعات ما در مورد سمیت حاد و مزمن این ماده به‌طور کامل تحقیق نشده است.	
بخش ۱۲: اطلاعات زیست محیطی	
۱،۱۲ سمیت	
سمیت برای آبزیان: اطلاعات تکمیلی بیش‌تری در دسترس نیست.	
۲،۱۲ مقاومت و تجزیه‌پذیری: اطلاعات تکمیلی بیش‌تری در دسترس نیست.	
۳،۱۲ احتمال تجمع زیستی: اطلاعات تکمیلی بیش‌تری در دسترس نیست.	
۴،۱۲ نفوذ در خاک: اطلاعات تکمیلی بیش‌تری در دسترس نیست.	
۵،۱۲ اثرات زیست محیطی	
توجه: برای موجودات آبی بسیار سمی است.	

<p>اطلاعات زیستی بیش تر</p> <p>نکات عمومی: اجازه ندهید ماده حتی در مقادیر کم به آب زیر زمینی، مسیر آب و سیستم فاضلاب برسد. نشت حتی مقادیر بسیار کم به درون زمین، برای آب آشامیدنی خطرناک خواهد بود. برای ماهی و پلانکتون سمی است. ممکن است سبب اثرات بلند مدت زیان آور بر زندگی آبزیان گردد. برای موجودات آبی بسیار سمی است. از انتقال این ماده به محیط زیست اجتناب کنید.</p> <p>۶،۱۲ نتایج ارزیابی PBT/PvB: کاربرد ندارد.</p>	
<p>بخش ۱۳: ملاحظات دفع</p>	
<p>۱،۱۳ روش‌های دفع مواد زائد</p> <p>توصیه: برای دفع صحیح با مراجع قانونی مشورت کنید.</p> <p>پسته‌بندی مواد آلوده: باید برطبق الزامات قانونی موجود انجام شود.</p> <p>عامل پاک کننده توصیه شده: آب، در صورت نیاز همراه با عوامل پاک کننده.</p> <p>"برای اطلاع از کلیه ضوابط و قوانین دفع مواد در کشور به قانون مدیریت پسماندها مصوبه ۱۳۸۳ مجلس شورای اسلامی و آئین‌نامه اجرایی قانون مدیریت پسماندها مصوبه ۱۳۸۴ هیات دولت مراجعه شود".</p>	
<p>بخش ۱۴: اطلاعات حمل و نقل</p>	
UN2809	UN number IMDG- IATA- DOT
MERCURY RQ Mercury	UN proper shipping name IMDG- IATA DOT
 <p>Class: 8 Corrosive substances Label :8+6.1 Class: 8(CT1) Corrosive substances Label :8+6.1</p>	Transport hazard class(es) DOT
 <p>Class: 8 Corrosive substances Label :8+6.1</p>	IMDG- IATA
III	Packaging group DOT- IATA- IMDG
ماده خطرناک محیطی، مایع	خطرات محیطی
هشدار: مواد خورنده F-A,S-B فلزات سنگین و نمک‌های آن‌ها(شامل سایر ترکیبات آلی فلزی)، جیوه و ترکیبات جیوه	احتیاط‌های خاص برای استفاده‌کننده EMS Number گروه‌های جداسازی
کاربردی ندارد.	حمل عمده‌ای براساس الزامات Annex II of MARPOL73/78 and the IBC code
- 1lbs,0.454 kg خیر	اطلاعات بیش تر حمل و نقل DOT ماده خطرناک آلاینده دریایی(DOT)
UN2809,Mercury,8(6.1), III	UN "Model Regulation"

بخش ۱۵: اطلاعات قانونی

۱،۱۵ قوانین خاص ایمنی، بهداشتی و زیست محیطی برای این ماده یا مخلوط:
اجزای برجسب GHS: این ماده بر اساس (OHSAS 1910) 29CFR طبقه بندی و برجسب گذاری شده است.
۲،۱۵ ارزیابی ایمنی شیمیایی: برای این ماده انجام نشده است.
۳،۱۵ اطلاعات در مورد محدودیت استفاده: این ماده باید فقط توسط افراد صلاحیت دار فنی مورد استفاده قرار گیرد.
۴،۱۵ تصاویر خطر



GHS08 GHS06

عبارت نماد: خطر

۵،۱۵ عبارات خطر

H330	تنفس این ماده، کشنده است.
H360	ممکن است به باروری یا جنین آسیب برساند.
H372	از طریق مواجهه طولانی مدت یا تکراری سبب آسیب به سیستم اعصاب مرکزی، کلیه‌ها، سیستم تولید مثل و مغز می‌شود. روش مواجهه: خوراکی، تنفسی.

۶،۱۵ عبارات احتیاط

P260	گرد و غبار، فیوم، گاز، میست، بخار و اسپری این ماده را استنشاق نکنید.
P281	در صورت نیاز از تجهیزات حفاظت فردی استفاده شود.
P284	در صورت کافی نبودن تهویه از حفاظت تنفسی استفاده شود.
P320	درمان ویژه ضروری است (این برجسب را ببینید).
P405	به صورت قفل شده انبار شود.
P501	ماده یا ظرف محتوی آن را مطابق با قوانین ملی، بین‌المللی و یا منطقه‌ای، دفع کنید.

بخش ۱۶: سایر اطلاعات

تاریخ تهیه	پاییز ۱۳۹۵
به سفارش	معاونت پژوهش و فناوری وزارت علوم، تحقیقات و فناوری - شبکه آزمایشگاه‌های علمی ایران (شاعا)
تهیه کننده	دکتر محمدعلی اسداللهی و مهندس مهدی کمالی (اعضاء هیات علمی دانشگاه اصفهان) و دکتر محمدصادق علیانی (عضو هیات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری)
تایید کننده	خانم مهندس شهلا طاهری (کارشناس ارشد بهداشت حرفه‌ای دانشگاه علوم پزشکی اصفهان)
کارشناس طرح	خانم مهندس هاجر عطاران
منابع و ماخذ	Alfa Aesar:2015 کتاب حدود مجاز مواجهه شغلی با عوامل زیان آور در ایران (ویرایش ۱۳۹۱)
نکات مهم	۱- اطلاعات ارائه شده در این سند با هدف اطلاع رسانی و افزایش آگاهی عمومی نسبت به خطرات استفاده از مواد شیمیایی تهیه و در دسترس عموم قرار گرفته است. ۲- اطلاعات موجود در این سند براساس برگه‌های اطلاعات ایمنی ارائه شده توسط شرکت‌های معتبر تولیدکننده در دنیا است که منابع اصلی آن در قسمت منابع و ماخذ آورده شده و در مواردی براساس استانداردهای موجود در داخل کشور، بومی سازی شده است. ۳- در تهیه این سند تلاش شده تا این اطلاعات با نهایت دقت از زبان اصلی به زبان فارسی برگردانده شود. ۴- تهیه کنندگان و تاییدکنندگان این سند هیچ گونه مسئولیتی را در خصوص عواقب احتمالی ناشی از استفاده از این اطلاعات نمی‌پذیرند. بدیهی است در صورت هرگونه تغییر در اطلاعات علمی این سند، لازم است از نسخه اصلاح شده به روز آن استفاده شود.

برگه‌ی اطلاعات ایمنی حاضر، به سفارش شبکه آزمایشگاه‌های علمی ایران (شاعا) در قالب طرح پژوهشی توسط دانشگاه

اصفهان تهیه شده است و کلیه‌ی حقوق مادی و معنوی آن متعلق به این دو نهاد می‌باشد.

اثرات جیوه و ترکیبات آن بر سلامت انسان و محیط زیست

راه های پیشگیری و کنترل آن در محیط

