

ارزیابی اتلاف جیوه، روش‌ها و اقدامات غالب کاهش یا حذف آن ارزیابی در کارخانه‌های کلر آلکالی جهان و پتروشیمی بندر امام

مریم خوش‌طینت نیکو^۱ - خدیجه موسوی^۲ - فرشاد شیرزادی تبار^۳

بندر ماهشهر- پتروشیمی بندرامام- کدپستی ۱۳۸- مرکز پژوهش بندرامام- گروه کاتالیست و فرایند

m_k_nikoo@yahoo.com

چکیده

بر اساس طراحی واحد کلر آلکالی مجتمع پتروشیمی بندر امام، مصرف جیوه به ازای یک تن محصول ۱۰ گرم بوده در حالی که امروزه در واحدهای کلر آلکالی اروپا از جمله سوئد مصرف جیوه به کمتر از ۰/۲ گرم به ازای تن محصول کاهش یافته است. در میان سه تکنولوژی مختلف تولید کلر (الکترولیز محلول‌های کلریدی، الکترولیز در سلول‌های دیافراگمی و الکترولیز در سلول‌های غشایی) فرایند دارای سلول جیوه‌ای، خطر آلودگی جیوه را به وجود می‌آورد. این روش در ژاپن تا سال ۱۹۸۷ از رده خارج شد، در حالی که در کارخانه تولید کلر آلکالی در ایران با استفاده از سلول جیوه‌ای پایه ریزی شده است. دو فرایند دیگر که عاری از جیوه هستند، دارای هزینه‌ی کمتر و بازدهی انرژی بالاتر بوده و خطرات کمتری را برای محیط زیست به همراه دارند. براساس روش پیشنهادی (OHSAS NIOSH) نمونه برداری توسط پمپ‌های نمونه برداری فردی، پمپ نمونه‌داری پیستونی از وینیل کلراید بصورت قرائت مستقیم و آنالیز نمونه‌ها به روش گاز-گروماتوگرافی جهت ارزیابی محیط کار دارای گازها و بخارات شیمیایی صورت گرفته است. باتوجه به کنترل مداوم نشتی‌ها از طریق آرایه پیشنهادها و دستورالعمل‌هایی که به تعدادی از آنها در این مقاله اشاره شده است درسایت عملیاتی واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندرامام و اندازه‌گیری روتین مطابق استاندارد OSHA متد ID140، کلیه نتایج اندازه‌گیری طولانی مدت در ناحیه تنفسی کارکنان در نقاط مختلف سایت کمتر از حد مجاز می‌باشد. از آنجایی که غلظت جیوه خون کارکنان در معرض متیل مرکوری یک شاخص مناسب می‌باشد در طول سال‌های ۸۳ تا ۸۵ آزمایش خون بر روی تعدادی از کارکنان واحد کلر آلکالی انجام شد. درصد افراد دارای نتایج غیر نرمال از ۲۵/۲۹٪ در سال ۱۳۸۳ به ۲/۱٪ در سال ۱۳۸۵ رسیده است. در این مقاله به انواع اتلاف جیوه در کارخانه کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام، روش‌های حذف جیوه (روش‌های فیزیکی و شیمیایی مانند ترسیب شیمیایی، فیلتراسیون غشایی و...)، بررسی مزایا و معایب از رده خارج کردن سلول‌های جیوه‌ای (استفاده مجدد از آن، ذخیره‌سازی موقت و ذخیره‌سازی همیشگی)، مزایای تبدیل تکنولوژی سلول‌های جیوه‌ای به تکنولوژی‌های جدید و انتخاب جایگزین مناسب برای آن، اقدامات انجام شده برای کاهش آن در کشورهای مختلف و نیز واحد CA پتروشیمی بندر امام، برنامه‌های آینده و پیشنهادها کارآمد توسط انستیتوهای مختلف حامی ممانعت از کاربرد جیوه در صنایع اشاره شده است.

واژه‌های کلیدی: حذف جیوه، کلر آلکالی، سلول جیوه‌ای، غلظت مجاز جیوه.

۱- مقدمه

جیوه توسط هندی‌ها و چینی‌های باستان شناخته شد و از اولین استفاده‌های آن می‌توان به ساخت گنبد‌های مصری در ۱۵۰۰ سال پیش اشاره کرد [۱]. جیوه فلزی است به رنگ نقره‌ای، بی بو و بسیار فرار که در دمای اطاق مایع و بسیار چگال است. خواصی مانند قابلیت آلیاژ شدن با بیشتر فلزات، مایع بودن در دمای اطاق، سادگی در تبخیر و منجمد کردن و رسانایی الکتریکی باعث

شده که جیوه یک فلز پرکاربرد و معروف صنعتی باشد [۲]. استخراج جیوه در جهان محدود به ۱۰ کشور (بیشترین مقادیر در اسپانیا و قرقیزستان) است. طبق تخمینی در طول ۱۰ سال گذشته استخراج سالانه جیوه به طور متوسط ۲۵۰۰ تن بوده است [۳].

این میزان در حال کاهش است و در سال ۱۹۹۹ تقریباً ۱۶۳۰ تن و در سال ۲۰۰۰ تقریباً ۱۶۴۰ تن تخمین زده شده است. در ایران، چالدران از شهرستان‌های استان آذربایجان غربی دارای معادن جیوه است. استفاده از جیوه در اروپای غربی و آمریکای شمالی به خاطر محدودیت‌های فراوان بر روی مصرف محصولات دارای جیوه که ناشی از اثرات زیان‌آور و خطرناک آن بر محیط زیست و انسان است کاهش یافته است. برای مثال صنعت تولید کلر آلکالی (از مصرف کنندگان عمده جیوه) دیگر مهمترین مصرف کننده جیوه نخواهد بود. همزمان، عرضه جیوه کار کرده و بازیافتی به خاطر قوانین زیست محیطی افزایش یافته است. این امر باعث شده تا بیشتر کشورهای توسعه یافته به عنوان صادر کننده جیوه عمل کنند و در نتیجه قیمت جیوه کاهش یابد [۳]. اما این سیاست در مورد فروش جیوه به کشورهای در حال توسعه صادق نیست و کشورهای توسعه یافته برای جلوگیری از آلودگی جیوه در کشورهای در حال توسعه قیمت جیوه را افزایش داده‌اند.

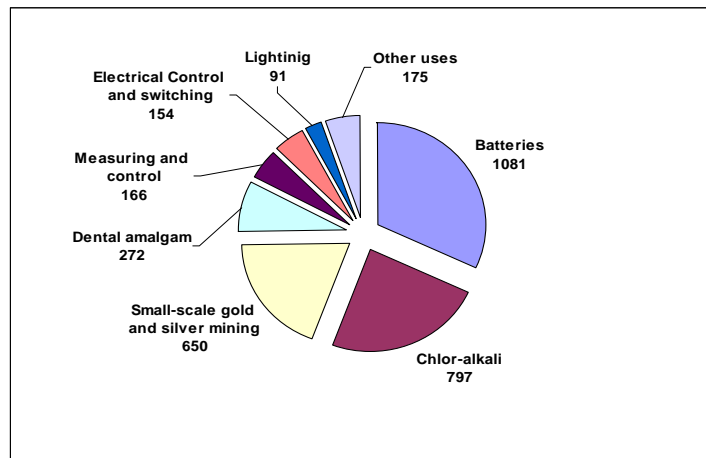
در این مقاله به کاربردها و میزان مصرف جیوه به ویژه در صنعت کلر آلکالی، جایگزین مناسب برای سلول‌های جیوه‌ای مورد نیاز این صنعت، بررسی‌های انجام شده بر روی غلظت جیوه در نقاط مختلف جهان و واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام و اقدامات انجام شده برای کاهش آن در کشورهای مختلف و نیز واحد CA پتروشیمی بندر امام و برنامه‌های آینده و پیشنهاد های کارآمد توسط انستیتوهای مختلف حامی ممانعت از کاربرد جیوه در صنایع اشاره می شود.

۲- صنایع آلوده کننده محیط زیست توسط جیوه

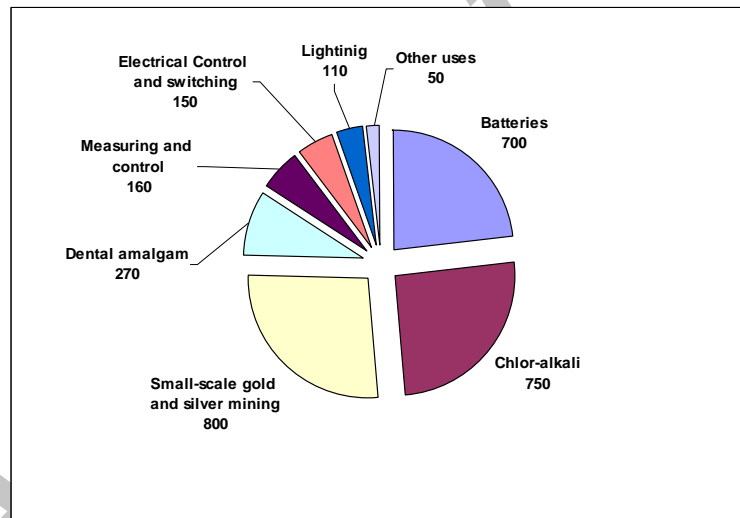
در میان ۳۰۰۰ استفاده صنعتی از جیوه [۲]، مهمترین استفاده‌های آن به قرار زیرند:

- ❖ نیروگاه‌های برق که توسط سوزاندن زغال عمل می‌کنند بیشترین تراکم آلودگی را دارند (۴۰٪ از انتشارات جیوه در آمریکا در سال ۱۹۹۹ مربوط به این نوع نیروگاه‌هاست).
- ❖ معادن بزرگ طلا
- ❖ فرایندهای صنعتی تولید کلر، فولاد، فسفر و طلا
- ❖ تصفیه فلزات از طریق گداختن
- ❖ ساخت و تعمیر وسایل الکترونیکی و هواشناسی
- ❖ کاربردهای پزشکی شامل واکسیناسیون، دندانپزشکی و داروسازی
- ❖ وسایل آزمایشگاهی که با ترکیبات جیوه‌دار سرو کار دارند مانند دماسنج و مانومتر باطری‌ها و لامپ‌های فلورسنت [۱].

در شکل ۱ مصرف جیوه در جهان در سال ۲۰۰۰ و در شکل ۲ مصرف جیوه در جهان در سال ۲۰۰۴ نشان داده شده است.



شکل ۱- مصرف جیوه در جهان در سال ۲۰۰۰



شکل ۲- مصرف جیوه در جهان در سال ۲۰۰۴

در پتروشیمی بندر امام تنها منبع عمده تولید کننده جیوه کارخانه کلر آلکالی با ظرفیت تولید ۲۵۰۰۰۰ تن در سال کاستیک می باشد. مصرف جیوه در سال های ۱۳۷۳ تا ۱۳۸۳ در کارخانه کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام در شکل ۳ نشان داده شده است.

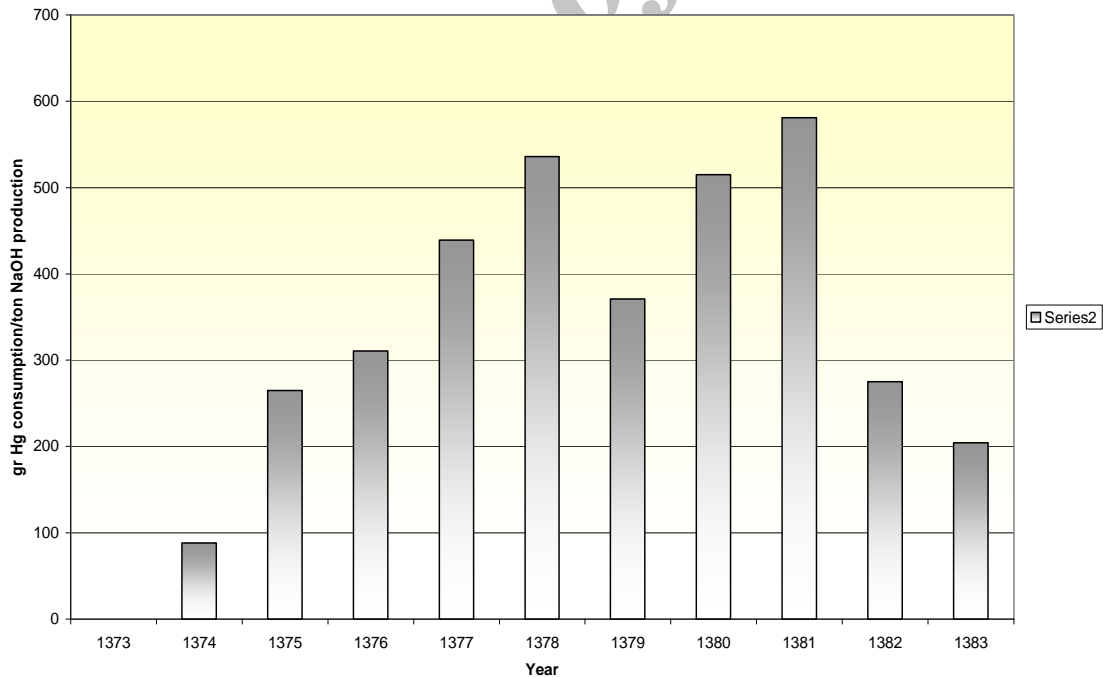
۳- اثرات جیوه و ترکیبات آن بر بدن موجودات زنده و آبزیان

در معرض جیوه بودن (استنشاق، جذب پوستی و بلعیدن) چه به صورت کوتاه مدت شدید و چه به صورت بلند مدت سیستم عصبی مرکزی و کلیه های انسان را با خطر مواجه می سازد. در معرض بودن شدید و کوتاه عوارضی از قبیل تهوع، تارشدن دید،

تنفس همراه درد، ترشح زیاد از غدد بزاق دهان و ذات الریه را به دنبال خواهد داشت [۲]. از علائم مسمومیت کوتاه مدت افزایش ترشح بزاق و ریزش بزاق جیوه ای، طعم نامطبوع تلخ و فلزی دهان، یک خط سیاه رنگ سولفور جیوه روی لثه های متورم بوده و دندان ها اسنحکام خود را از دست می دهد. از عوارض در معرض بودن بلند مدت می توان اختلال ذهنی، هیجان زدگی، مشکلات دید، رعشه و لرزش بدن، توهم و تغییرات شخصیتی را نام برد.

تجمع و رشد ترکیبات جیوه به صورت بیولوژیکی از مشخصه های مهم غیر قابل کنترل بودن جیوه هستند. استنشاق گرد و غبار و بخارات جیوه در فشار و دمای اتاق (۲۵ °C) نیز می تواند از طریق ریه به راحتی جذب شود. همچنین بخارات جیوه از طریق پوست جذب نمی شوند، ولی ترکیبات محلول و غیر محلول در هر دو نوع فلزی و آلی در میزان مشابه از طریق پوست جذب می شوند. جذب از این طریق آهسته تر از آن است که بیمار را به سوی مسمومیت حاد بکشاند. و ممکن است مسمومیت مزمن ایجاد کند. از آنجایی که ترکیبات جیوه بویژه جیوه آلی می تواند از طریق مسیره های خون رسانی به مغز رسیده و رشد و تکامل مغز را مختل کند اثرات آن بر روی زنان باردار و نوزادان نگران کننده است.

رایج ترین راه در معرض جیوه قرار گرفتن، خوردن خوراک حاوی جیوه و پس از آن هوا و آب است. میزان سمیت و اثر گذاری جیوه به ترکیب شیمیایی جیوه و راه در معرض آن قرار گرفتن بستگی دارد. سمی ترین نوع ترکیب جیوه متیل جیوه (CH_3Hg) است که پیوند محکمی با بافت های پروتئینی ماهی ها ایجاد می کند [۲]. ذرات جیوه از طریق هوا وارد دریاها، رودخانه ها و دریاچه ها شده، در آنجا به وسیله باکتری ها به متیل جیوه تبدیل می شوند که در بدن ماهی ها و آبزیان تجمع یافته و از این طریق وارد زنجیره غذایی می شود [۴]. ترکیبات جیوه ای آلی معمولاً آسان تر از نوع جیوه ای فلزی از طریق روده جذب می شوند. معمولاً ۰.۰۱٪ از جیوه بلع شده جذب بدن می شود. البته جذب ترکیبات آلی جیوه معمولاً به سرعت و کامل



شکل ۳- مصرف جیوه در کارخانه کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام

صورت می گیرد. نیمه عمر ترکیبات جیوه در بدن حدود ۶۰ تا ۷۰ روز بوده و بنابراین جذب این ماده آهسته بوده و این مساله زمینه ذخیره سازی در بدن را فراهم می آورد.

در مقایسه با موجوداتی که در معرض جیوه نیستند، آبزیان و موجوداتی که در آبهای آلوده به جیوه زندگی می کنند دارای اندازه‌ی کوچک‌تر (هم طول و هم وزن)، تغییر شکل فیزیکی و تولید مثل ناقص و عمر کوتاه‌تری هستند. سلنیم که یک ماده غذایی بنیانی است، می‌تواند به‌طور جزئی اثرات منفی جیوه در بدن را خنثی کند [۵]. پختن نمی‌تواند در کاهش متیل جیوه موجود در ماهی‌ها کمک کند [۲]. در اوایل سال ۱۹۵۰ ماموران ساحل میناماتا در جزیره کیوشو در ژاپن متوجه رفتارهای عجیبی در حیوانات آن منطقه شدند. گربه‌ها حرکات عصبی از خود نشان می‌دادند و پرندگان از آسمان سقوط می‌کردند. علائم بیماری در ماهی‌ها هم مشاهده شد. علائم این بیماری مرموز در انسان‌ها در سال ۱۹۵۶ شروع شد و در سال ۱۹۵۷ ماهیگیری به طور رسمی ممنوع اعلام شد. پس از تحقیقات، علت آن وجود ترکیبات زاید سنگین مانند جیوه که توسط شرکت چیزو (کمپانی پتروشیمی و تولیدکننده وینیل کلراید) به دریا خالی می‌گردید مشخص شد. بیش از ۱۴۰۰ نفر کشته و حدود ۲۰۰۰۰ نفر مسموم شدند. بنابراین با توجه به وجود کارخانه‌های کلرآلکالی در ایران بویژه کارخانه کلر آلکالی بندر امام نیز برای جلوگیری از چنین فجایعی لزوم قوانین مدون و لازم‌الاجرا که مصرف جیوه را توسط مصرف کنندگان واحد بهره برداری کاملاً محدود کرده و تولید و بازیابی آن را تحت کنترل در آورد، بسیار ضروری و فوری می‌نمایاند.

۴- صنعت کلر آلکالی

۴-۱- معرفی صنعت کلر آلکالی

حدود ۹۵٪ کلر تولیدی در جهان توسط صنعت کلرآلکالی تولید می‌شود. در این صنعت گاز کلر می‌تواند بوسیله‌ی الکترولیز محلول آبی کلرید سدیم (NaOH) تولید شود. در شرکت کیمیا در واحد کلر آلکالی از آب نمک اشباع در حضور آند (تیتانیوم) و کاتد (جیوه) و جریان برق مستقیم DC با عمل الکترولیز محصولات زیر تولید می‌شود.

۱- گاز کلر Cl_2

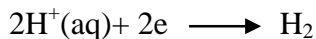
۲- کاستیک سود $NaOH$

۳- اسید کلریدریک HCl

۴- اتیلن دی کلراید EDC

۵- آب ژاول $NaOCl$

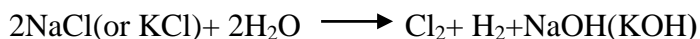
در این واحد نمک استحصالی از حوضچه های تبخیر آب دریا به روش الکترولیز تجزیه شده و به سدیم و گاز کلر تبدیل می‌شود که سدیم حاصله در مراحل بعدی در اثر ترکیب با آب به سود سوزآور (NaOH) و هیدروژن (H_2) تبدیل می‌شود. گاز کلر در مراحل بعدی برای تولید اتیلن دی کلراید (EDC) و اسید کلریدریک (HCL) مصرف می‌شود. سه روش صنعتی برای تولید کلر بوسیله‌ی الکترولیز محلول‌های کلریدی وجود دارد که بر اساس واکنش‌های زیر عمل می‌کنند [۶]:



واکنش در کاتد:



واکنش در آند:



واکنش کلی:

۴-۲- روش‌های تولید کلر از الکترولیز محلول‌های کلریدی

سه روش صنعتی برای تولید کلر وجود دارد: ۱- الکترولیز در سلول‌های جیوه‌ای، ۲- الکترولیز در سلول‌های دیافراگمی و ۳- الکترولیز در سلول‌های غشایی [۷]. در پتروشیمی بندرامام از روش اول برای تولید کلر استفاده می‌کنند.

۴-۲-۱- الکترولیز در سلول‌های جیوه‌ای

این روش که به روش کستنر-کلنر (Castner-Kellner) نیز مشهور است، اولین روش صنعتی برای تولید کلر بود که برای اولین بار در اواخر قرن نوزدهم بکار گرفته شد. در سلول‌های الکتروشیمیایی آندهای تیتانیومی (که قبلاً گرافیتی بودند) در محلول کلرید سدیم (یا کلرید پتاسیم) قرار داده می‌شوند. این محلول بر روی کاتدی از جنس جیوه‌ی مایع جاری است. وقتی یک اختلاف پتانسیل به سلول اعمال و جریان برقرار می‌گردد، کلر در آند آزاد شده و سدیم (یا پتاسیم) در کاتد جیوه‌ای حل شده و ایجاد ملقمه می‌کند و به داخل راکتور جداکننده (که سلول ثانویه نامیده می‌شود) جریان می‌یابد و در آن بوسیله‌ی واکنش با آب به جیوه، هیدروژن و هیدروکسید سدیم (یا هیدروکسید پتاسیم) با غلظت تجاری ۵۰ درصد وزنی تبدیل می‌شود. سپس جیوه به فرایند بازگردانده می‌شود. در حال حاضر در اروپا ۱۵۰۰۰-۱۲۰۰۰ تن جیوه در سلول‌های جیوه‌ای برای تولید کلر وجود دارد. کارخانه‌های تولید کلر آلکالی با سلول جیوه‌ای ۲۰۰-۱۷۵ تن در سال جیوه مصرف می‌کنند که حدود ۵۰-۴۰٪ از کل مصرف جیوه در اروپا را به خود اختصاص داده است [۶]. کارخانه پتروشیمی بندرامام سالانه با تولید حدود ۲۵۰۰۰۰ تن کاستیک در سال حدود ۴۲ تن جیوه برای الکترولیز آب نمک مصرف می‌کند. این علاوه بر رقمی است که به صورت سیکل بسته در کارخانه بازیابی و مورد مصرف قرار می‌گیرد.

۴-۳- توزیع جغرافیایی صنعت کلر آلکالی و فرایندهای مربوطه در جهان

رشد استفاده از کلر بخاطر رشد صنعت PVC و پلی یورتان است. ۶۵ درصد کل تولید کلر در جهان در سه نقطه متمرکز شده است: اروپای غربی، آمریکای شمالی و ژاپن.

- اروپای غربی غالباً ۵۵٪ از روش سلول‌های جیوه‌ای استفاده می‌کند.
- آمریکای شمالی غالباً ۷۵٪ از روش سلول‌های دیافراگمی استفاده می‌کند.
- ژاپن غالباً بیش از ۹۰٪ از روش سلول‌های غشایی استفاده می‌کند [۷].

هم‌اکنون حدود صد کارخانه‌ی تولید کلر که بر اساس روش سلول‌های جیوه‌ای کار می‌کنند در سراسر جهان در حال کار است. این روش در ژاپن تا سال ۱۹۸۷ از رده خارج شد (بجز دو واحد کلرید پتاسیم که در سال ۲۰۰۳ متوقف شدند). در آمریکا تا سال ۲۰۰۸ تنها پنج کارخانه‌ی دارای سلول جیوه‌ای باقی خواهد ماند. در اروپا سلول‌های جیوه‌ای ۴۳ درصد کارخانه‌های کلر آلکالی را به خود اختصاص داده‌اند و تولیدکنندگان اروپای غربی متعهد به بستن یا تغییر روش به روش‌های غیر جیوه‌ای شده‌اند [۶].

بر طبق گزارش اتحادیه‌ی سازندگان قلیا در هند (در سال ۲۰۰۵) ۳۲ واحد کلر آلکالی با ظرفیت نصب ۲/۰۷ میلیون متریک تن در سال در حال فعالیت هستند. از این ۳۲ واحد تولیدی، هفت واحد به‌طور کامل از فرایند سلول‌های جیوه‌ای و چهار واحد از هر دو فرایند سلول‌های جیوه‌ای و سلول‌های غشایی استفاده می‌کنند. بنابراین فرایند سلول‌های غشایی ۸۲٪ و سلول‌های جیوه‌ای حدود ۲۸٪ از کل تولید کلر در کشور هند را به خود اختصاص داده‌اند [۲]. در حالی که در کارخانه‌های تولید کلر آلکالی در ایران همگی با استفاده از سلول جیوه‌ای پایه ریزی شده‌اند.

۵- غلظت‌های مجاز جیوه در محیط زیست و صنایع مصرف کننده جیوه

مسئله آلودگی محیط زیست و انسان‌ها به جیوه به حدی جدی بوده که در دنیا موسسات مختلفی به‌طور اختصاصی روی جیوه و خطرات آن در حال تحقیق و پژوهش می‌باشند که نمونه‌ای از آنها انستیتوی میناماتای ژاپن می‌باشد. در ایران متاسفانه سازمان یا نهادی که روی جیوه و خطرات آن کاری انجام داده باشد وجود نداشته و اگر هم باشد بسیار جزئی صورت گرفته‌است. بر اساس طراحی واحد کلرآلکالی مجتمع پتروشیمی بندر امام، مصرف جیوه به ازای یک تن محصول ۱۰ گرم بوده در حالی‌که امروزه در واحدهای کلرآلکالی اروپا از جمله سوئد مصرف جیوه به کمتر از ۰/۲ گرم به ازای تن محصول کاهش یافته‌است.

در سال ۱۹۹۸، در اروپای غربی ۹/۵ میلیون تن جیوه (۰/۲-۳ g/ton chlorine) از صنعت کلر آلکالی وارد محیط شد [۸]. میزان ورود جیوه به آب و هوا از طریق کارخانه‌های کلرآلکالی پتروشیمی بندر امام به طور دقیق مشخص نیست. ولی واقعیت امر این است که مصرف جیوه در واحدهای کلرآلکالی ایران ده‌ها برابر بیشتر از مقدار مصرف برای غلظت مجاز جیوه در هوایی که انسان به مدت طولانی در معرض آن قرار بگیرد، می‌باشد.

دو مرجع برای مقایسه مقدار مجاز جیوه با جیوه هوای قابل تنفس قابل ذکرند: یکی آژانس حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA) که این حد را ۳۰۰ نانوگرم در متر مکعب و دیگری آژانس ثبت مواد و بیماری‌ها (ATSDR) است که این حد را ۲۰۰ نانوگرم در متر مکعب بیان کرده‌است. بنابر پیشنهاد موسسه‌ی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (NIOSH)، متوسط زمانی غلظت مجاز جیوه در هوای کارخانه‌های کلرآلکالی باید کمتر از ۵۰۰۰۰ نانوگرم در متر مکعب باشد. کنفرانس آمریکایی بهداشت صنعتی دولتی (ACGIH) نیز یک حد آستانه‌ی متوسط زمانی برای بخار جیوه به میزان ۲۵۰۰۰ نانوگرم در متر مکعب تعریف کرده‌است. در سطح اروپا هیچ استاندارد برای مقدار جیوه در هوا وجود ندارد [۴]. در ایران نیز استاندارد و کنترل سختگیرانه‌ای برای مقدار جیوه در هوای مورد تنفس انسان بویژه در اطراف کارخانه‌های آلکالی و مسرف کنندگان جیوه وجود ندارد.

۶- ارزیابی محیط کار در واحد CA پتروشیمی بندر امام (مانیتورینگ محیط کار)

حد تراکم مجاز گازها و بخارات شیمیایی برای ۸ ساعت کار در محیط‌های صنعتی و یا ۴۰ ساعت کار در طول هفته بوده و این مقدار از مواد تراکمی است که تقریباً تمام کارکنان می‌توانند بدون اثرات زیان آور بطور مکرر در معرض آنها قرار بگیرند. در اثر فرآیندهای تولید، گازها و بخارات مواد شیمیایی پراکنده شده و در غلظت‌های خاصی فاقد اثرات سوء بر کارکنان می‌باشند و آن غلظت‌ها آستانه مجاز مواجهه می‌باشند. بهترین روش جهت ارزیابی محیط کار گازها و بخارات شیمیایی، نمونه‌برداری در منطقه تنفسی افراد در معرض می‌باشد. براساس روش پیشنهادی دی (OHSAS -NIOSH) نمونه برداری توسط پمپ‌های نمونه برداری فردی (Personal Sampling Pump)، پمپ نمونه داری پیستونی از وینیل کلراید بصورت قرائت مستقیم و آنالیز نمونه‌ها به روش گازگروماتوگرافی (Gas Chromatography) سنجش صورت گرفته است. لازم به یادآوری است که عواملی چون دقت در نمونه برداری و شرایط محیطی نظیر درجه حرارت، رطوبت و غیره تأثیر قابل توجهی در نتایج حاصل از سنجش دارد که باید در اندازه گیری‌ها مد نظر قرار بگیرد.

بر مبنای استاندارد ACGIH، حد مجاز TLV، 0.25 mg/m^3 در TWA در نظر گرفته شده است. سوخت و ساز و نحوه عمل جیوه در بدن انسان عمده ترین راه ورود آن به داخل بدن انسان، استنشاق جیوه است. نیمه عمر جیوه در بدن ۶۰ تا ۷۰ روز است.

نتایج حاصل از نمونه برداری در تاریخ های ۸۶/۹/۲۴ و ۸۵/۱۱/۲۴ و ۸۵/۱۲/۱ به ترتیب در جداول ۱ و ۲ و ۳ آورده شده اند: باتوجه به کنترل مداوم نشتی ها در سایت عملیاتی واحدکلرآلکالی پتروشیمی بندرامام و اندازه گیری روتین مطابق استاندارد ACGIH کلیه نتایج اندازه گیری قرائت مستقیم در ناحیه تنفسی کارکنان در نقاط مختلف سایت کمتر از حد مجاز می باشد (جدول ۱ و ۲).

باتوجه به کنترل مداوم نشتی ها در سایت عملیاتی واحدکلرآلکالی پتروشیمی بندرامام و اندازه گیری روتین مطابق استاندارد OSHA متد ID140 کلیه نتایج اندازه گیری طولانی مدت در ناحیه تنفسی کارکنان در نقاط مختلف سایت کمتر از حد مجاز می باشد.

جدول ۱- اندازه گیری گازها و بخارات شیمیایی در کارگاه کیمیا ۸۶/۹/۲۴

| ردیف | محل و شرایط نمونه برداری | نوع آلاینده | متد اندازه گیری | واحد | میزان آلاینده | استاندارد TLV/TWA |
|------|------------------------------|-------------|-----------------|------|---------------|-------------------|
| ۱ | CA ضلع شمال غربی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۷ | ۰/۲۵ |
| ۲ | CA ضلع شمال شرقی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۹ | ۰/۲۵ |
| ۳ | CA ضلع جنوب غربی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۷ | ۰/۲۵ |
| ۴ | CA ضلع جنوب شرقی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۵ | ۰/۲۵ |
| ۵ | CA طبقه پائین Cellroom - وسط | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۸ | ۰/۲۵ |

جدول ۲- اندازه گیری گازها و بخارات شیمیایی کارگاه کیمیا - تاریخ: ۸۵/۱۲/۱

| ردیف | محل و شرایط نمونه برداری | نوع آلاینده | متد اندازه گیری | واحد | میزان آلاینده | استاندارد TLV/TWA |
|------|------------------------------|-------------|-----------------|------|---------------|-------------------|
| ۱ | CA ضلع شمال غربی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۵ |
| ۲ | CA ضلع شمال شرقی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۵ |
| ۳ | CA ضلع جنوب غربی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۵ |
| ۴ | CA ضلع جنوب شرقی Cellroom | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۵ |
| ۵ | CA طبقه پائین Cellroom - وسط | جیوه | قرائت مستقیم | ppm | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۵ |

جدول ۳- اندازه گیری گازها و بخارات شیمیایی در کارگاه کیمیا - تاریخ: ۸۵/۱۱/۲۴

| ردیف | محل و شرایط نمونه برداری | نوع آلاینده | متد اندازه گیری | واحد | میزان آلاینده | استاندارد TLV/TWA |
|------|-----------------------------|-------------|-----------------|------|---------------|-------------------|
| ۱ | Cellroom - ضلع شمال غربی | جیوه | OSHA-ID140 | ppm | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۵ |
| ۲ | Cellroom - ضلع شمال شرقی | جیوه | OSHA-ID140 | ppm | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۵ |
| ۳ | Cellroom - ضلع جنوب غربی | جیوه | OSHA-ID140 | ppm | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۵ |
| ۴ | Cellroom - ضلع جنوب شرقی | جیوه | OSHA-ID140 | ppm | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۵ |
| ۵ | Cellroom - طبقه پائین - وسط | جیوه | OSHA-ID140 | ppm | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۵ |

۷- ارزیابی بیولوژیک کارکنان در واحد CA پتروشیمی بندر امام (مانیتورینگ بیولوژیکی)

در طول سال های ۸۳ تا ۸۵ آزمایش خون بر روی تعدادی از کارکنان واحد کلر الکالی انجام شد که نتایج آن در جداول ۴ و ۵ آورده شده است. تست آزمایشگاهی مفید برای تشخیص نوع مزمن وجود ندارد، اما یافتن جیوه در ادرار یا خون کسانی که با جیوه المنتال و یا ترکیبات ارگانیک و غیر ارگانیک در تماس بودند تأیید این نکته خواهد بود که جذب صورت گرفته است. غلظت جیوه خون کسانی که در معرض متیل مرکوری بودند یک شاخص مناسب می باشد. اگر مسمومیت رخ دهد ممکن است جیوه خون به بالای ۹۵ mmol/lit و سطح جیوه ادرار بالای ۱۲۰ mmol/lit کراتینین (برای ترکیبات غیر ارگانیک) و ۱۵ نانومول کراتینین برای ترکیبات ارگانیک برسد.

معیار سنجش و استاندارد جیوه فلزی مطابق استاندارد ACGIH که در نمونه بیولوژیکی ادرار انجام می شود و بایستی قبل از شروع کار یا آخر وقت کارتوسط کارکنان به آزمایشگاه تحویل داده شود ۳۵ میکروگرم جیوه فلزی به ازاء هر گرم کراتینین در ادرار می باشد. و استاندارد جیوه فلزی در نمونه بیولوژیکی خون مطابق استاندارد ACGIH بایستی قبل از شروع کار یا آخر وقت کارتوسط کارکنان به آزمایشگاه انجام شود ۱۵ میکروگرم جیوه فلزی در لیتر خون می باشد.

جدول ۴- نتایج آزمایش خون کارکنان رسمی واحد CA

| سال | کل کارکنان واحد CA | افراد معرفی شده | | افراد مراجعه نموده | | افراد دارای نتیجه | | افراد دارای نتایج غیر نرمال | | تعداد افراد خارج شده از واحد | |
|-----|--------------------|-----------------|-------|--------------------|------|-------------------|-------|-----------------------------|-------|------------------------------|------|
| | | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد |
| ۸۳ | ۹۸ | ۸۸ | ۸۸٫۷۸ | ۸۷ | ۱۰۰ | ۶۵ | ۷۴٫۷۱ | ۲۲ | ۲۵٫۲۹ | ۱۱ | ۱۱ |
| ۸۴ | ۱۰۴ | ۷۷ | ۷۴٫۰۳ | ۷۵ | ۹۷٫۴ | ۷۱ | ۹۴٫۶۷ | ۴ | ۵٫۳۳ | ۳ | ۰ |
| ۸۵ | ۱۰۱ | ۹۵ | ۹۴٫۰۵ | ۹۵ | ۱۰۰ | ۹۳ | ۹۷٫۹۰ | ۲ | ۲٫۱۰ | ۲ | ۰ |

جدول ۵- نتایج آزمایش خون کارکنان پیمانکار واحد CA

| سال | افراد معرفی شده | افراد مراجعه نموده | | افراد دارای نتیجه | | افراد دارای نتایج غیر نرمال | | تعداد افراد خارج شده از واحد | |
|-----|-----------------|--------------------|------|-------------------|-------|-----------------------------|-------|------------------------------|------|
| | | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد | تعداد | درصد |
| ۸۵ | ۶۳ | ۶۳ | ۱۰۰ | ۵۲ | ۸۲٫۵۳ | ۱۱ | ۱۷٫۴۶ | ۱۱ | ۰ |

پیشنهاد هایی برای ایمنی محیط کار کارکنان در معرض جیوه

- ۱- اندازه گیری جیوه بصورت لحظه ای و طولانی مدت در ناحیه تنفسی کارکنان در معرض تماس.
- ۲- مشخص کردن وضعیت کارگران براساس اندازه گیری جیوه ادرار می باشد.
- ۳- اصلاح سیستمهای تهویه صنعتی در اتاقهای کنترل جهت جلوگیری از ورود گازها و بخارات
- ۴- تهیه دستورالعملهای ایمنی و بهداشتی جهت بازدیدها از سایت و نمونه برداریها
- ۵- آموزش افراد و آشنایی آنها با خطرات مواد شیمیایی
- ۶- استفاده از لباس، ماسک و دستکش مناسب در سایت
- ۸- گردشی نمودن کار بین افراد و کاهش زمان مواجهه
- ۹- نصب تابلوهای هشدار در مناطق بحرانی
- ۱۰- تهیه دستورالعمل لازم و آموزش افراد جهت مواقع اضطراری
- ۱۱- انجام معاینات ادواری کارکنان

۹- تلاش ها و اقدامات انجام شده به منظور کاهش جیوه در محیط

در تاریخ اول اسفندماه ۱۳۸۵ روزنامه ایران در گزارشی با عنوان «مینامتای ایران» به آلودگی آب و خاک اشاره کرده بود. در آن گزارش آورده شده بود که وجود جیوه در آبهای ایران خطرناک است و می تواند ضربات جبران ناپذیری را به زیست انسانی وارد آورد. پتروشیمی بندر امام قدمت زیادی در منطقه دارد و مقداری از پساب آن ها وارد دریا می شود. بحث وجود فلزات سنگین در ماهی ها همیشه مطرح بوده، با این حال پاسخ به این سؤال که آیا چنین ماهیانی می توانند موجب تولد نوزادان ناقص الخلقه یا عقیم شدن مردان شوند امکان پذیر نیست چون تاکنون به طور قطعی ثابت نشده است. اگر جیوه وارد بدن شود، امکان فلج شدن افراد بزرگسال نیز وجود دارد.

در حال حاضر قوانین لازم الاجرا و مدونی برای کاهش یا حذف جیوه در صنعت ایران توسط سازمان های محیط زیست و بهداشت جهت حذف و کاهش این آلاینده خطرناک وجود دارد و بصورت روتین میزان جیوه کنترل شده و در صورتی که این میزان از حد استاندارد بالاتر باشد پتروشیمی علاوه بر کنترل محیط بایستی جرایم کلانی پرداخت نماید. دستورات قانونی در مورد تبدیل تکنولوژی سلول جیوه ای به تکنولوژی های عاری از جیوه در صنعت کلر آلکالی و کنترل جیوه در اروپا شامل دستورات IPPC، انجمن آب، ضایعات، قوانین بهداشت شغلی، قرارداد روتردام و قرارداد اسلو- پاریس است [۳].

- بر طبق عهدنامه اسلو- پاریس (OSPAR Decision ۹۰/۳) تمام کارخانه های کلر آلکالی دارای سلول های جیوه ای، موظف به تبدیل این تکنولوژی به تکنولوژی های عاری از جیوه تا سال ۲۰۱۰ هستند [۴].

- دستور جلوگیری و کنترل کامل آلودگی (IPPC) صنعت کلر آلکالی را تحت نظر دارد و هدفش نصب تجهیزات لازم برای استفاده از تکنولوژی های عاری از جیوه است. همچنین این دستور بیان می دارد که این نوع تجهیزات در حال کار تا قبل از اکتبر ۱۹۹۹، بایستی تا اکتبر ۲۰۰۷ عملکردشان را بر اساس دستورات جدید تغییر بدهند [۴].

در ایران نیز، سازمان حفاظت محیط زیست موضوع تغییر تکنولوژی سلول جیوه ای را به تکنولوژی های پاک در دستور کاری خودش قرار داده است. همچنین وزارت نفت اعلام کرده است که ۲۰ میلیارد تومان برای تغییر تکنولوژی جیوه به سمت سیستم های روز تخصیص داده شده است. بزودی قانون ممنوعیت استفاده از جیوه در صنایع تدوین و برای تصویب به هیئت دولت تحویل داده خواهد شد. همچنین، از جمله اقدامات در حال انجام می توان به اجرای پروژه های کاهش ضایعات جیوه در مرحله اول از ۵۰۰ g به

۱۵۰g و سپس به کمتر از ۵۰ g به ازای هر تن کلر تولیدی و در دراز مدت جایگزینی سلول‌های جیوه‌ای با تکنولوژی غشایی در واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام اشاره کرد [۶].

با نگاهی به جدول ۶ در می‌یابیم که موارد اتلاف جیوه در واحد کلر آلکالی بندر امام کم نبوده و بایستی برای کاهش این موارد اقدامات فوری و موثر صورت گیرد.

جدول ۶- انواع اتلاف جیوه در کارخانه کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام

| | | | | |
|--|---------------------------------|-----------------------------------|--|--------------|
| در | اتلاف از طریق هیدروژن تولیدی | اتلاف از طریق انجام عملیات تولیدی | | مصرف جیوه |
| | اتلاف از طریق کاستیک تولیدی | | | |
| | اتلاف از طریق گاز کلر تولیدی | | | |
| | اتلاف از طریق لجن آب‌نمک تولیدی | | | |
| نشت جیوه از کولرهای جیوه و فلنچ‌ها | اتلاف فیزیکی مستقیم | اتلاف غیر عملیاتی | | |
| پخش شدن جیوه حین تعمیرات سل و یا از پمپ‌های جیوه | | | | |
| اتلاف از طریق هوای خروجی از سل‌روم‌ها | | | | |
| اتلاف از طریق اتلاف آب‌نمک در حال گردش | اتلاف فیزیکی غیر مستقیم | | | |
| اتلاف از طریق آب شستشوی سل‌ها و زیر سل‌ها | | | | |
| اتلاف از طریق ملغمه و کره‌ی جیوه | | | | |

جدول میزان جیوه خروجی از طرق مختلف به محیط نشان داده شده است. همچنین اقدامات زیر برای کاهش جیوه و ورود آن به هوا، آب و محصولات جانبی پیشنهاد می‌شود:

- جمع‌آوری و تصفیه‌ی جریان‌های گازی دارای جیوه مانند:
 - ۱- جریان شامل گاز هیدروژن: بهتر است دمای هیدروژن خروجی از کولرهای هیدروژن باید کمتر از 42°C باشد. زیرا در دمای بیشتر از آن جیوه بیشتری به همراه هیدروژن خارج خواهد شد. همچنین بهتر است دمای هیدروژن خروجی از برج شستشوی گاز هیدروژن در کمتر از 20°C کنترل شود تا جیوه بیشتری از گاز گرفته و شستشو شود.
 - ۲- کاهش میزان جیوه در سود سوزآور (محصول): در مجتمع پتروشیمی بندر امام به منظور کاهش جیوه همراه کاستیک از فیلترهای گرافیتی استفاده می‌کنند و مقدار آن در خروجی از فیلتر به کمتر از 0.3 ppm کاهش می‌یابد. بنابراین جمع‌آوری جیوه از Pot نزدیک هدر کاستیک زیر سلروم و تخلیه و بازیابی آن از تانک‌های واسطه کاستیک چند بار در ماه لازم است.
 - ۳- جریان گاز کلر: می‌توان از آب کلردار برای جریان جبرانی سیستم آب نمک به جای آب صنعتی استفاده کرد.
- کاهش میزان فاضلاب و تصفیه‌ی تمام فاضلاب‌های دارای جیوه: مقدار جیوه موجود در لجن آب نمک خروجی از ته ستلرها بستگی به نوع و کیفیت نمک مورد استفاده در سیستم و نحوه جداسازی ناخالصی‌ها دارد. در لجن آب نمک

خروجی از ستلرها ی مربوط به فیلتر پرس حدود کیلوگرو ۱/۵ جیوه روزانه وجود دارد. برای حل این مسئله بهتر است تا با تنظیم قلیابیت آیب نمک و تنظیم مقدار کلر آزاد آن (حدود ۴۰ ppm) از ته نشین شدن جیوه جلوگیری کرد.

- اتلاف جیوه از طریق کولرهای جیوه و فلنج ها: می توان از سیستم کولینگ بسته به جای سیستم باز با آب صنعتی استفاده کرد. این طراحی سبب کاهش خوردگی و نشست جیوه به آب کولینگ شده و حتی در صورت وجد نشستی آب خنک کننده برگشتی را می توان به یک تانک دیگر برگرداند که جیوه را در آنجا بازیابی کرد و بعد از آن آب برای خنک کردن ارسال شود.
- اتلاف جیوه ناشی ز تعمیرات سل ها و تجهیزات در معرض جیوه: با تمیز کاری بموقع و مناسب و نیز تعبیه سینی هایی که هنگام تعمیرات زیر دستگاه ها قرار بگیرند این مسئله براحتی حل می شود.
- اتلاف از طریق هوای خروجی از سل روم ها: شیب سطح زمین سلروم بایستی کاملا به سمت کانال های زیر سلروم جهت داده شود و شیب کانال ها نیز به طرف پیت جمع آوری فاضلاب مخصوص جمع آوری جیوه باشد. همچنین جیوه نشست یافته بایستی زیر آب نگه داری شوند و در تردد افراد به داخل سلروم و محوطه افراد دقت نظر بیشتری لحاظ گردد.
- اتلاف از طریق اتلاف آب نمک در حال گردش: پس از عمل الکترولیز آب نمک رقیق از سل خارج شده و مقادیری جیوه همراه آن خارج می شود. بنابراین اتلاف آب نمک از هر نقطه باعث اتلاف جیوه خواهد شد. با تعویض لوله های قدیمی و پوسیده و جایگزینی آنها با لوله های با مقاومت بیشتر و کنترل صحت عملکرد فیلتر پرس از تخلیه آب نمک دارای جیوه و یا لجن حاوی آن جلوگیری می شود.
- اتلاف از طریق آب شستشوی سل ها و زیر سل ها: در بسیاری موارد آب حاصل از شستشوی سل ها به سی Sewer تخلیه می وشد. برای جلوگیری از اتلاف جیوه از این طریق بایستی حداقل آب در شستن سطح زمین استفاده شود و یا از جاروبرقی استفاده شود. آب باقیمانده از شستشوی سلروم باید به تانک جمع آوری برگردانده شده و جهت شستشوی سلروم دوباره استفاده شود.
- در اثر ناخالصی آب نمک ورودی به سل ها کره جیوه تشکیل شده و در حین عملیات از سل خارج می شود. کنترل و عمل بموقع Flushing باعث جدا کردن ملغمه ویسکوز از کف سل شده و قسمت سبکتر آن یعنی کره جیوه روی جیوه قرار می گیرد که توسط اپراتور بموقع و کاملا بایستی جمع آوری گردد. با استفاده از واحد بازیابی جیوه از کره جیوه می توان همه جیوه را بازیابی کرد.

۱۰- روش های حذف جیوه

روش های فیزیکی و شیمیایی نظیر فرایندهای ترسیب شیمیایی، تبادل یون، فیلتراسیون غشایی، انعقاد و لخته سازی و جذب روی کربن فعال برخی از متداول ترین فرایندهای تصفیه هستند که مورد استفاده قرار گرفته اند. معمولا روش های فیزیکی شیمیایی نیازمند سرمایه گذاری بالا و هزینه های زیاد بهره برداری هستند. مطالعات مختلف نشان داده اند که روش های بیولوژیکی می تواند شرایط اقتصادی تر و کارآمدتری را در مقایسه با بسیاری از روش های فیزیکی شیمیایی فراهم کند [۹].

به عنوان مثال در طرحی که توسط گروه بهداشت محیط و حرفه ای دانشگاه تربیت مدرس انجام شده است محققین موفق به حذف ۸۴ درصدی جیوه از پساب های آلوده با استفاده از جلبک های آب شیرین شده اند. آنها همچنین در حال بررسی طرح استفاده از روش های نوین بیولوژیکی برای پرورش جلبک ها به منظور دستیابی به میزان رضایتبخش حذف فلزات سنگین از محیط آلوده هستند [۹].

۱۱- نتایج از رده خارج کردن سلول‌های جیوه‌ای

از کار انداختن سلول‌های جیوه‌ای در اروپا منجر به در دسترس قرار گرفتن ۱۵۰۰۰-۱۲۰۰۰ تن جیوه می‌شود. اگر این مقدار جیوه به درستی اداره نشود خطر بزرگ‌تری را برای محیط زیست به دنبال خواهد داشت. سه راه کار برای کنترل و اداره‌ی این جیوه‌ی باقیمانده وجود دارد:

- ۱- استفاده‌ی مجدد از آن.
 - ۲- ذخیره‌سازی موقت و کوتاه مدت.
 - ۳- ذخیره‌سازی همیشگی.
- خلاصه‌ی خصوصیات این سه راه کار در جدول ۱ آمده است:

جدول ۷. خلاصه‌ی خصوصیات سه راه کار برای کنترل جیوه [۴].

| راه کار | آیا انتشار جیوه متوقف می‌شود؟ | آیا راه کار بلند مدت است؟ | هزینه |
|---------|-------------------------------|---------------------------|-------|
| ۱ | خیر | خیر | کم |
| ۲ | بله | خیر | متوسط |
| ۳ | بله | بله | زیاد |

۱۱-۱- استفاده‌ی مجدد

از جمله راه کارهای استفاده‌ی مجدد جیوه‌ای که بر اثر از کار انداختن سلول‌های جیوه‌ای بدست آمده می‌توان موارد زیر را نام برد:

- استفاده‌ی مجدد توسط کارخانه‌های کلرآلکالی باقیمانده که با سلول‌های جیوه‌ای عمل می‌کنند.
- در بازار قرار دادن به منظور جلوگیری از ورود جیوه‌ی تازه به بازار.
- باز پس گرفتن این جیوه از طرف معادن تولید کننده‌ی جیوه (معدن آلمادن اسپانیا) [۴].

۱۱-۲- ذخیره‌سازی کوتاه مدت

ذخیره‌سازی موقت می‌تواند تا زمانی که جیوه‌ی ذخیره شده مورد استفاده‌ی مجدد قرار بگیرد، ادامه یابد. این ذخیره‌سازی می‌تواند در محل‌های تولید جیوه صورت بگیرد. در این مرحله امکان انتشار جیوه به محیط وجود دارد [۴].

۱۱-۳- ذخیره‌سازی همیشگی

روش‌های مناسب برای این کار هنوز پیدا نشده و هزینه‌ی بالایی خواهند داشت. مسئولین حفاظت از محیط زیست سوئد یک برنامه برای ذخیره‌سازی همیشگی جیوه و ضایعات دارای جیوه در اعماق بستر زمین ارائه کرده‌اند. هزینه‌ی نهایی اجرای این برنامه ۱۰-۶ درصد هزینه‌ی کلی تبدیل سلول‌های جیوه‌ای به تکنولوژی‌های عاری از جیوه است [۴].

۱۲- مزایای تبدیل تکنولوژی سلول‌های جیوه‌ای به تکنولوژی‌های جدید

غیر از تکنولوژی سلول جیوه‌ای دو تکنولوژی استفاده از دیافراگم آزبستی و سلول‌های غشایی هم مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش یک دیافراگم آزبستی (یا فیبر پلیمری) کاتد و آند را از هم جدا کرده و از اختلاط کلر تولید شده در آند با هیدروکسید سدیم و هیدروژن تولید شده در کاتد جلوگیری می‌کند. این روش هم در اواخر قرن نوزدهم کشف شد. محلول آب نمک به‌طور پیوسته به قسمت آند وارد شده و از طریق دیافراگم به قسمت کاتد جریان می‌یابد که در آنجا هیدروکسید سدیم تولید شده و آب نمک از بین می‌رود. سلول الکترولیز به‌وسیله‌ی کاتیون غشایی قابل نفوذ (که بعنوان تبادل گر یونی عمل می‌کند) به دو قسمت تقسیم می‌شود. محلول کلرید سدیم (یا کلرید پتاسیم) اشباع از قسمت آند عبور داده می‌شود و این قسمت را در غلظت پایین‌تری ترک می‌کند. محلول هیدروکسید سدیم (هیدروکسید پتاسیم) در قسمت کاتد به گردش در می‌آید و در غلظت بالاتری از آنجا خارج می‌شود [۶]. روش الکترولیز در سلول‌های جیوه‌ای در مقایسه با دو روش دیگر دیافراگمی و غشایی کمترین بازدهی انرژی را دارد و از مضرات غیر قابل اجتناب آن می‌توان به انتشارات جیوه به محیط زیست اشاره کرد. اما سلول‌های دیافراگمی خطر انتشار جیوه در محیط را نداشته و همچنین با ولتاژ کمتری کار می‌کنند و مصرف انرژی آنها در مقایسه با سلول‌های جیوه‌ای کمتر است. فقط مقدار زیادی بخار آب برای تغلیظ محلول هیدروکسید سدیم تا میزان غلظت تجاری آن (۵۰٪ وزنی) مورد نیاز است. روش غشایی دارای بازدهی بیشتری نسبت به روش سلول دیافراگمی بوده و قابلیت بیشتری برای افزایش ظرفیت تولید کلر نسبت به دو روش دیگر دارد. محلول هیدروکسید سدیم (یا هیدروکسید پتاسیم) خالص تری (۳۲ درصد وزنی) تولید می‌کند، اما به آب نمک اولیه با خلوص بالا نیاز دارد [۶].

تکنولوژی غشایی فایده‌های دیگری نیز در کنار حذف جیوه دارد:

- کاهش ۲۵-۳۰ درصدی مصرف برق.
- کاهش تعمیرات سلول‌ها و ساعات کاهش تولید.
- افزایش طول عمر سلول‌های الکترولیز.
- حذف آلودگی محصولات کلر، سود سوزآور و هیدروژن به جیوه.
- کاهش مساحت مورد نیاز جهت نصب سلول‌های الکترولیز.
- نیاز به نیروی انسانی کمتر [۱۱].

در بین سه فرایند تولید کلر تنها سلول‌های جیوه‌ای باعث بروز آلودگی جیوه می‌شود. در بین دو روش دیگر که به بهترین روش در دسترس (BAT) مشهورند یعنی تکنولوژی غشا و دیافراگم غیر آزبستی روش غشایی متداول‌تر است. یکی از دلایل عدم توجه زیاد به روش دیافراگمی آزبستی، سرطان‌زایی این ماده در دراز مدت است. سود حاصل از تبدیل تکنولوژی سلول‌های جیوه‌ای بر اساس میزان حذف انتشارات جیوه تخمین زده شده است. بر این اساس سود حاصل از حذف هر گرم از انتشارات جیوه در محیط ۳۰-۲۵ € است که با در نظر گرفتن مقدار جیوه‌ای که از کارخانه‌های اروپا به محیط منتشر می‌شود (۵ تا ۶ میلیون گرم در سال) می‌توان با تبدیل تکنولوژی حداقل ۱۵۰۰۰۰۰۰ € در سال سودآوری داشت [۴].

۱۳- نتیجه

- فرایند کلرآلکالی با تکنولوژی سلول جیوه‌ای در کلیه کارخانه‌های اروپایی باید هر چه سریع‌تر و حداکثر تا ۲۰۱۰ از رده خارج شوند. با توجه به وجود کارخانه تولید کلر آلکالی در ایران و آلودگی محیط زیست به جیوه و ورود این ماده سمی به آب های خلیج فارس اجرای چنین قانونی در ایران بسیار ضروری است.
- آلودگی‌های جیوه‌ای ناشی از عملیات و ضایعات سلول‌های جیوه‌ای باید از طریق پاک‌کردن، سرپوش‌گذاشتن و دیگر روش‌های مدیریتی مناسب درمان گردند.
- دست‌اندرکاران باید از صدور مجوز کار برای کارخانه‌های با تکنولوژی نامناسب جلوگیری به عمل بیاورند.
- راهنمایی‌های کلی و مناسب در مورد از رده خارج کردن سلول‌های جیوه‌ای و همچنین روش‌های ذخیره کردن جیوه‌ی مازاد باید انجام گیرد.
- تا زمان از کار انداختن سلول‌های جیوه‌ای مقادیر منتشر شده‌ی جیوه در محیط باید تحت کنترل و نظارت باشد و کارخانه‌ها باید هرگونه عدم تطابق در موازنه‌ی جرم جیوه در کارخانه را به حساب بیاورند.

مراجع

۱. [http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury-\(element\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mercury-(element))
۲. www.zeromercury.org/projects/EEB-TOXICS_LINK_2006_Proposal_FINALWebVs.pdf
۳. eur-lex.europa.eu/LexUriServ/site/en/com/2002/com2002_0489en01.pdf
۴. www.zeromercury.org/EU_developments/061110RiskyBusinessFINAL.pdf
۵. www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/English/Pdf/GAAG_Mercury_WQG_e.pdf
۶. <http://en.wikipedia.org/wiki/chlorine>
۷. www.bvt.umweltbundesamt.de/archiv-e/eschloralkali-e.pdf
۸. <http://shariftak.blogfa.com/8604.aspx>
۹. www.niksalehi.com/news/archives/011888.php
۱۰. <http://www.nipna.ir/newstitle.php?subject=5>

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop