

بررسی توانایی گیاه نی (*Phragmites australis*) در حذف فلز جیوه از

پساب کارخانه کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام

لیلا طیبی^۱، امیرحسین حمیدیان^{۲*}، افشین دانه کار^۲، هادی پور باقر^۳

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی شیلات، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۱۱/۱۶)

چکیده

صنایع پتروشیمی یکی از کلیدی‌ترین و گسترده‌ترین صنایع فعال کشور است. به دلیل تنوع و پیچیدگی محصولات، این صنعت رنج وسیعی از آلاینده‌ها را تولید می‌کند. دفع پساب‌های حاوی جیوه از واحدهای کلر آلکالی یکی از مشکلات اساسی این صنعت می‌باشد. نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که سیستم گیاه‌پالایی برای حذف جیوه از محیط‌های آبی بسیار کارآمد است و در برخی موارد تا حدود ۹۹٪ جیوه از محلول حذف شده است. هدف از این مطالعه بررسی توانایی گیاه نی (*Phragmites australis*) در حذف جیوه از پساب تصفیه نشده واحد کلر آلکالی پتروشیمی بندر امام است. گیاهان برداشت شده از تالاب شادگان در محیط آزمایشگاهی به صورت هیدروپونیک در آکواریوم پلاستیکی کشت داده شدند. نمونه‌ی پساب برداشت شده از واحد کلر آلکالی به محیط کشت گیاهان اضافه شد. یک آکواریوم حاوی پساب، آب و مواد مغذی نیز به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. غلظت جیوه در نمونه‌های برداشت شده از ریشه گیاهان و پساب آکواریوم گیاه نی در زمان‌های ۱، ۳، ۵ و ۷ روز توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که گذشت زمان بر میزان جذب جیوه توسط گیاه اثر مستقیمی داشته و میزان جذب در گیاه نی در روزهای ۱، ۳، ۵ و ۷ به ترتیب ۲۲۷۱/۵۸، ۳۷۴۳/۴۷، ۴۲۰۴/۹۸ و ۳۰۳۹/۳۲ ppm بود. همچنین در پایان مدت زمان آزمایش ۹۶/۲۵ درصد از جیوه پساب آکواریوم حاوی گیاه حذف شده بود. از این رو گیاه نی برای حذف فلز جیوه از پساب صنایع پتروشیمی توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: صنایع پتروشیمی، جیوه، گیاه پالایی، گیاه نی

۱ - مقدمه

عین حال با کارایی بالا همراهند (Carranza-Alvarez *et al.*, 2008). گونه‌های آبی متعددی برای جذب و تجمع جیوه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. یکی از این گیاهان، گیاه نی (*Phragmites australis*) است که از ماکروفیت‌های متداول در محیط‌های آبی می‌باشد و توانایی تحمل شرایط محیطی سخت مانند تحمل آلودگی‌های شدید را دارد (Ye *et al.*, 1997). این گونه یکی از علف‌های چند ساله است که مقاومت بالایی در برابر شوری متوسط آب‌ها دارد. استفاده از گونه نی در پالایش و حذف مواد مغذی، فلزات سنگین، آفت کش‌ها، مواد معلق و پاتوژن‌ها از پساب‌های شهری و صنعتی به طور گسترده‌ای در حال انجام است (Weis and Weis, Lambertini *et al.*, 2003; Kamal, 2004). و همکاران (۲۰۰۴) طی تحقیقی میزان جذب فلزات سنگین جیوه، آهن، مس و روی که به صورت مصنوعی به محیط کشت سه گیاه آبی پر طوطی، خرفه آبی و پونه آبی افزوده شده بود را سنجیدند. نتایج این تحقیق نشان داد که هر سه گیاه قادر به جذب فلزات سنگین از آب بوده و در پایان مدت زمان آزمایش متوسط راندمان جذب فلزات جیوه، آهن، مس و روی برای هر سه گیاه به ترتیب ۹۹/۸٪، ۷۶/۷٪، ۴۱/۶۲٪ و ۳۹/۹٪ بود. با توجه به راندمان بالای جذب جیوه توسط گیاهان نسبت به عناصر دیگر، استفاده از گیاه‌پالایی رویکردی مناسب برای حذف این فلز از پساب‌های صنعتی است (Kamal *et al.*, 2004). تجمع فلز جیوه و اثرات آن بر رشد، فتوسنتز و پاسخ‌های آنتی‌اکسیدانی در نهال‌های *Sesbania drummondii* توسط Israr و همکارانش بررسی شد. نهال‌های گیاه *S. drummondii* در محلولی که غلظت جیوه آن ۱۰۰ ppm کشت داده شدند، غلظت جیوه برگ‌ها و

جیوه یکی از سمی‌ترین فلزات سنگین موجود در پساب‌های صنعتی بوده که حتی مقادیر اندک آن اگر برای موجودات کشنده نباشد، اثرات بسیار زیان‌باری بر سلامت آن‌ها دارد. اثرات عمده مسمومیت با جیوه شامل اختلالات عصبی و کلیوی می‌شود (kafilzade Manohar *et al.*, 2002; *et al.*, 2008). این فلز می‌تواند به راحتی از سد خونی مغزی عبور کرده و مغز جنین را تحت تاثیر قرار دهد. همچنین بخار جیوه می‌تواند از طریق استنشاق وارد جریان خون شده و به مغز نفوذ کند. پس از نفوذ به مغز فرایندهای متابولیک بدن را مختل کرده و سبب لرزش، بی‌خوابی، افسردگی و افزایش تحریک پذیری می‌شود (Manahan, 2004). با توجه به سمیت این فلز، تصفیه پساب‌های حاوی فلز جیوه اهمیت ویژه‌ای دارد. روش‌های مختلف و متعددی برای حذف و جداسازی یون‌های فلزی، از جمله جیوه، از محلول‌های آبی وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به رسوب‌دهی شیمیایی، تعویض یونی، فرآیندهای غشایی، اسمز معکوس، تبخیر، استخراج با حلال و جذب سطحی اشاره کرد (Nik azar *et al.*, 2009; Manohar *et al.*, 2002). مشکلات عمده سیستم‌های متداول تصفیه فاضلاب را می‌توان بالا بودن هزینه ساخت، مصرف انرژی زیاد، نیاز به تصفیه و دفع لجن و استفاده از سیستم‌های مکانیزه ذکر کرد که در فرآیندهای تصفیه زیستی این مشکلات کمتر دیده می‌شود (Cunningham and Berti, 1993). برخی روش‌های زیستی نسبت به روش‌های شیمیایی ارزان‌تر بوده و کارایی بالاتر و عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارند. سیستم‌های گیاه‌پالایی یکی از این روش‌های زیستی است که هزینه کمتری برای تصفیه نیاز داشته و از تکنولوژی ساده‌ای برخوردار بوده و در

خروجی واحد C-۷۲۵ شرکت کیمیای این مجتمع در گالن‌های ۲۰ لیتری برداشت شده و سریعاً به آزمایشگاه آلودگی محیط زیست دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شدند.

۲-۲ برداشت نمونه‌های گیاه نی و ساخت

پایلوت آزمایشگاهی

گیاه نی از تالاب شادگان در استان خوزستان، به صورت تمام ساقه به همراه اندام‌های زیر زمینی به نحوی برداشت شدند که به اندام‌های هوایی و زیرزمینی آنها آسیب وارد نشود. سپس در کیسه‌های پلاستیکی و داخل یخچال‌های یونولیتی در محیط اشباع از آب نگهداری شده و سریعاً به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال، گیاهان به مدت دو هفته جهت سازگاری با محیط در یک مخزن بزرگ حاوی آب و مواد مغذی نگهداری شدند. این مطالعه در یک پایلوت آزمایشگاهی شامل ۲ آکواریوم پلاستیکی به ابعاد (عمق ۲۰، طول ۵۵ و عرض ۲۱ سانتیمتر) و حجم ۰/۰۲۳ متر مکعب انجام شد. به منظور جلوگیری از شرایط بی‌هوایی هر آکواریوم دارای پمپ هوا با دو خروجی بود. به دلیل اینکه در این آزمایش هدف بررسی کارایی گیاهان برای حذف جیوه از فاضلاب است از هیچ مدیایی استفاده نشد و گیاهان در آب آشامیدنی و پساب کشت داده شدند. جهت تامین مواد مغذی از محلول تجاری هوگلند استفاده شد (Moreno et al., 2008). برای تامین نور مورد نیاز، گیاهان در معرض ۱۶ ساعت نور روزانه قرار گرفتند. در یک آکواریوم ۳۰ عدد از گیاه نی قرار گرفت و آکواریوم دیگر نیز عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در این مطالعه طول دوره آزمایش ۷ روز در نظر گرفته شد.

ریشه در پایان مدت زمان آزمایش به ترتیب ۹۹۸ ppm و ۴۱۴۰۳ اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه *S. drummondii* قادر به تجمع جیوه است و استرس‌های ناشی از این فلز را با مکانیسم‌های آنتی‌اکسیداتیو دفاعی تحمل می‌کند (Israr et al., 2006). در مطالعات گذشته در شرایط آزمایشگاهی از جیوه سنتتیک به عنوان منبع آلودگی استفاده شده است (Kamal et al., 2004; Wang and Greger, 2006; Moreno-Jiménez et al., 2004) در حالی که در این مطالعه برای ایجاد شرایط طبیعی و بررسی کاربردی بودن حذف جیوه از پساب‌های صنعتی توسط گیاهان، از پساب تصفیه نشده واحد کلر آلکالی مجتمع پتروشیمی بندر امام استفاده شد. همچنین گیاه مورد بررسی نیز یکی از فراوان‌ترین گیاهان موجود در نزدیکی این مجتمع بوده که با شرایط آب و هوایی این منطقه سازگاری زیادی دارد. بنابراین در این مطالعه میزان حذف و کاهش جیوه توسط گیاه نی از پساب تصفیه نشده حاوی جیوه بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲ منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه حذف و کاهش غلظت جیوه از پساب پتروشیمی بندر امام بررسی شد. مجتمع پتروشیمی بندر امام به عنوان بزرگ‌ترین پتروشیمی کشور در زمینی به مساحت حدود ۲۷۰ هکتار، در ضلع شمال غربی خلیج فارس در استان خوزستان به فاصله ۱۶۰ کیلومتری جنوب شرقی اهواز و ۸۴ کیلومتری شرق آبادان در منطقه بندر امام خمینی (ره) قرار دارد. این مجتمع تولید کننده محصولات از قبیل الفین، پلی‌الفین، آروماتیک‌ها، MTBE و محصولات جانبی شیمیایی دیگر است. نمونه‌های پساب تصفیه نشده از

را به ارلن حاوی ۱۵ میلی لیتر HNO_3 غلیظ اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در دمای اتاق قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم با دمای 80°C قرار داده شدند و در نهایت محلول هضم شده به بالن‌های ژوژه ۵۰ میلی لیتری منتقل شده و با آب مقطر تا حجم ۵۰ میلی لیتر رقیق شدند (Moreno *et al.*, 2009).

برای آماده سازی نمونه‌های پساب ۱۰۰ میلی لیتر از هر نمونه را درون ارلن مایر ۱۲۵ میلی لیتر ریخته و به آن ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ اضافه شد. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در زیر هود بر روی هیتر با دمای 80°C قرار گرفتند تا عملیات هضم کامل شود (در این مدت از جوشیدن نمونه‌ها جلوگیری شد). پس از اینکه نمونه‌ها به دمای محیط رسیدند به بالن ژوژه منتقل شده و با آب مقطر تا حجم ۱۰۰ میلی لیتر رقیق شدند (APHA., 2005). سپس غلظت جیوه نمونه‌های پساب و گیاه آماده شده توسط دستگاه جذب اتمی varian spectraa 220 اندازه‌گیری شد.

۲-۵ تجزیه و تحلیل آماری

نرمال بودن داده‌ها توسط آزمون Kolmogorov-Smirnov مورد بررسی قرار گرفت. برای مقایسه میزان فلز جذب شده در ریشه گیاه نی در در زمان شروع آزمایش و فواصل زمانی ۱، ۳، ۵ و ۷ از آزمون تجزیه واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر^۱ استفاده شد. همچنین برای سنجش تفاوت کاهش غلظت جیوه در پساب آکواریوم حاوی گیاه و شاهد نیز از آزمون تجزیه واریانس با اندازه‌گیری‌های مکرر استفاده گردید. بدلیل معنی دار شدن آزمون کرویت Mauchly، از تصحیح Greenhouse-Geisser استفاده گردید. کلیه

۲-۳ نمونه برداری از پساب آکواریوم‌ها

و گیاه

در این مطالعه تنها اندام زیرزمینی گیاه برای بررسی میزان جذب و تجمع جیوه مورد آزمایش قرار گرفت زیرا این قسمت از گیاه در تماس مستقیم با پساب حاوی جیوه بوده و در نتیجه جیوه ابتدا از این قسمت جذب گیاه می‌شود (Skinner *et al.*, 2007). نمونه‌های گیاه و پساب در شروع آزمایش و روز اول، سوم، پنجم و هفتم برداشت شدند. از هر آکواریوم ۳ عدد نمونه از عمق ۱۵ cm سطح آکواریوم برداشت شد. نمونه‌های پساب در ظرف‌های پلاستیکی ۱۲۰ میلی لیتری شسته شده با محلول $1:1 \text{HNO}_3$ ، در دمای کمتر از 4°C در فریزر نگهداری شدند (Skinner *et al.*, 2007). قبل از برداشت نمونه پساب شاهد به منظور همگن شدن، محتوی مخزن توسط میله فلزی هم زده شد. جهت نمونه برداری از اندام زیرزمینی گیاهان در هر مرحله، ۱۲ عدد گیاه به صورت تصادفی انتخاب شد. نمونه‌های ریشه گیاهان توسط قیچی به نحوی برداشت شد که به رشد گیاه صدمه وارد نشود. قسمت‌های برداشت شده از گیاه با آب دیونایز به دقت شسته شده تا هر گونه ناخالصی از آن جدا شود (Carranza-Alvarez *et al.*, 2008) و در دمای کمتر از 30°C خشک شدند (Regier *et al.*, 2012). سپس برای اندازه‌گیری مقدار جیوه به آزمایشگاه جذب اتمی منتقل شدند.

۲-۴ آماده سازی نمونه‌های گیاهی و پساب

برای آماده سازی نمونه‌های گیاهی از روش هضم اسیدی تر استفاده گردید. ابتدا نمونه‌های ریشه گیاه را در آن با دمای 70°C خشک شده تا وزن نمونه‌ها به مقدار ثابتی برسد. ۰/۱ گرم از نمونه‌ی گیاه آسیاب شده

¹ Repeated-measures ANOVA

آزمون کرویت نشان داد که واریانس غلظت جیوه اندازه-گیری شده در ریشه گیاهان بین زمان‌های مختلف یکسان نبوده است ($W_9=0/01, P < 0.001$)، از اینرو از تصحیح Greenhouse-Gessier برای تصحیح درجه آزادی و در نهایت مقدار P استفاده شد. با افزایش زمان تفاوت معنی داری در غلظت جیوه جذب شده توسط ریشه گیاه دیده شد ($p < 0/001$) و $55/869 = 16/309$ ، $F_{1/474}$ بیشترین میزان جذب در روز پنجم صورت گرفته و در روز هفتم مقدار جیوه جذب شده توسط گیاه کاهش یافته است (شکل ۱).

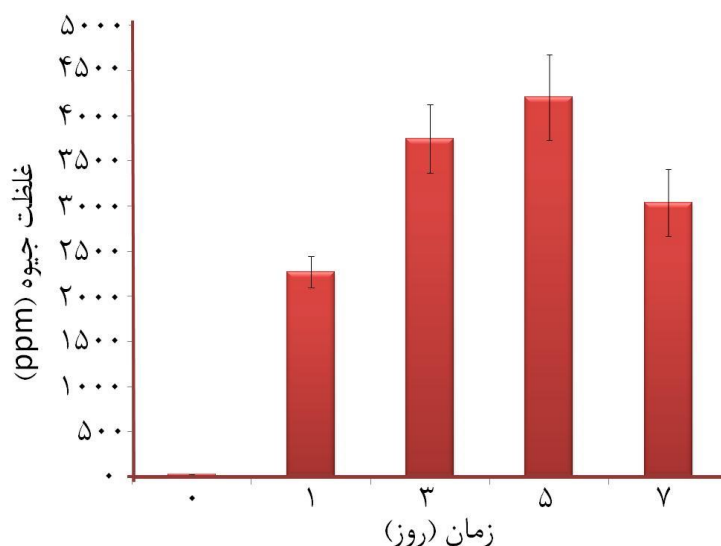
آنالیزهای آماری با نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ انجام گردید.

۳- نتایج

جدول ۱ تغییرات غلظت جیوه در اندام زیر زمینی گیاه نی، پس از آکواریوم حاوی گیاه نی و آکواریوم شاهد در مدت زمان هفت روز را نشان می‌دهد.

جدول ۱: میانگین غلظت جیوه (ppm) در اندام زیرزمینی گیاه نی، پس از آکواریوم‌های حاوی گیاه و شاهد

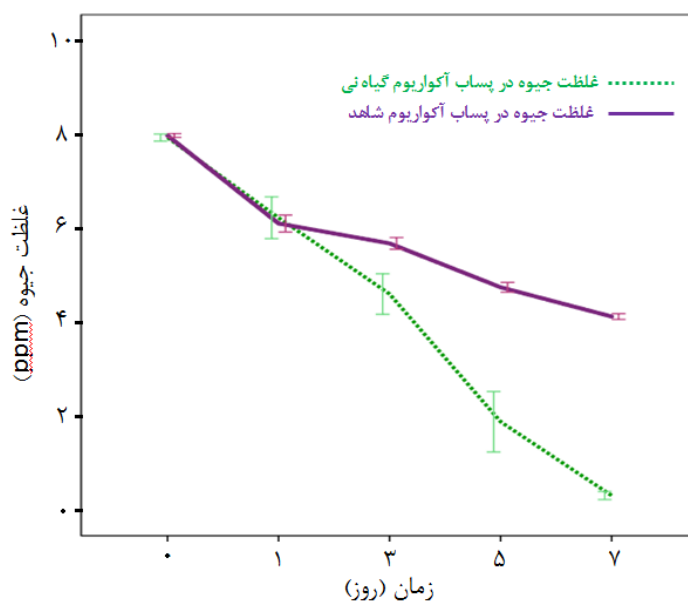
زمان	اندام زیرزمینی گیاه نی	پساب گیاه نی	پساب شاهد
پساب ورودی	۲۶/۹۱	۷/۹۳	۷/۹۸
روز اول	۲۲۷۱/۵۸	۶/۲۲	۶/۱۰
روز سوم	۳۷۴۳/۴۷	۴/۶	۵/۶۸
روز پنجم	۴۲۰۴/۹۸	۱/۸۷	۴/۷۴
روز هفتم	۳۰۳۹/۳۲	۰/۳۰	۴/۱۲



شکل ۱: میانگین ($\pm SD$) جیوه اندازه گیری شده در اندام زیرزمینی گیاه نی در زمان شروع آزمایش و روزهای ۱، ۳، ۵ و ۷

دار بود (۰)، که نشان می‌دهد با افزایش زمان غلظت جیوه در پساب‌ها کاهش یافته است. همچنین اختلاف معنی داری بین میزان کاهش جیوه در دو آکواریوم حاوی گیاه و شاهد مشاهده شد ($p < 0/001$ و $W_9 = 0/001$)، نتیجه می‌گیریم اختلاف معنی داری بین غلظت جیوه آکواریوم‌های گیاه نی و شاهد در زمان شروع آزمایش، روزهای ۱، ۳، ۵ و ۷ وجود داشت ($p < 0/001$) و $F_{4,16} = 1028/73$ ، اثر متقابل زمان و پساب‌ها نیز معنی

در رابطه با تغییر غلظت جیوه در پساب‌ها ابتدا نتایج آزمون کرویت ماخلی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه سطح معناداری مقدار محاسبه شده کرویت از ۰/۰۱ بزرگتر است ($p > 0/01$ ، $W_9 = 0/001$)، نتیجه می‌گیریم اختلاف معنی داری بین غلظت جیوه آکواریوم‌های گیاه نی و شاهد در زمان شروع آزمایش، روزهای ۱، ۳، ۵ و ۷ وجود داشت ($p < 0/001$) و $F_{4,16} = 1028/73$ ، اثر متقابل زمان و پساب‌ها نیز معنی



شکل ۲: میانگین (±SD) جیوه اندازه گیری شده در آکواریوم حاوی گیاه نی و آکواریوم شاهد در زمان شروع آزمایش و روزهای ۱، ۳، ۵ و ۷

۴- بحث و نتیجه گیری

توانایی گیاهان برای جذب و تجمع فلزات سنگین باشد. گیاهان رشد یافته در محیط‌های طبیعی ممکن است دارای مکانیسم‌های سازگاری ویژه‌ای برای رشد در محیط‌های آلوده باشند که به آنها اجازه رشد در غلظت‌های بالای فلزات سنگین را می‌دهد و این عامل نقش مهمی در حذف فلزات از محیط را دارد (Mishra *et al.*, 2009). برخی از این مکانیسم‌های سازگاری شامل

با گذشت زمان میزان جیوه تجمع یافته در اندام‌های زیر زمینی گیاه نی نیز افزایش یافته است. نتایج این مطالعه مطابق با نتایج گزارش شده در مطالعات قبلی می‌باشد (Kamal *et al.*, 2004; Wang and Greger, 2004; Greger *et al.*, 2005; Israr *et al.*, 2006; Moreno-Jiménez *et al.*, 2006). حذف بالای جیوه توسط گیاهان می‌تواند به دلیل

Jiménez et al., 2006). از طرف دیگر نتایج این مطالعه با نتایج مطالعات (Wang et al., 2005; Shirafrous and Liyaghat, 2010) که گیاهان را در خاک کشت داده بودند، تفاوت بسیاری داشت. دلیل این تفاوت می‌تواند افزایش دسترسی پذیری زیستی^۲ جیوه در محیط هیدروپونیک نسبت به خاک باشد. زیرا فلزات سنگین موجود در خاک جذب بار منفی ذرات خاک شده و یا رسوب کرده و در نتیجه قابلیت دسترسی پذیری زیستی آنها بسیار کاهش می‌یابد. بنابراین میزان جذب فلزات می‌تواند در محیط‌های آبی بیشتر از محیط‌های خاکی باشد (Wang et al., 2005; Karimpoor et al., 2010).

نتایج حاصل از آنالیز جیوه در نمونه‌های پساب نشان می‌دهد که ۹۶/۲۵٪ از غلظت جیوه پساب آکواریوم در مدت هفت روز حذف شده است. در حالی که ۴۸/۵٪ از غلظت جیوه آکواریوم شاهد حذف شده بود. با توجه به این نتایج، می‌توان گفت عوامل دیگری نظیر تبخیر شدن جیوه و فعالیت‌های میکروبی نیز در حذف جیوه از پساب‌گلدان‌ها تاثیر داشته باشد. دلیل کاهش غلظت جیوه در آکواریوم شاهد می‌تواند ته نشین شدن جیوه بر دیواره‌های آکواریوم، تبخیر شدن جیوه و فعالیت موجودات ذره بینی باشد (Lo and Wai, 1975). یکی دیگر از دلایل تبخیر جیوه از محیط‌های آلوده، احیای جیوه (II) به جیوه (0) توسط آنزیم‌های ردوکتاز باکتریایی است (Barkay et al., 1992). همچنین فعالیت برخی از جلبک‌ها نیز می‌تواند عامل تبخیر جیوه از محیط‌های آبی باشد (Devars et al., 2000). نتیجه مطالعه Moreno و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان داد جیوه از مخزن‌های شاهد بدون گیاه نیز تبخیر شده است. البته میزان تبخیر در مخزن‌های حاوی گیاه

تجزیه فلزات برای تولید ترکیبات آلی، ذخیره فلزات در بخش‌های خاصی از سلول و انتشار یون‌های فلزی به خارج از گیاه می‌شود. همچنین درون سلول‌های گیاهی پروتئین‌هایی مانند فریتین و متالوتیونین در ذخیره کردن مقدار اضافی فلزات و کاهش سمیت آنها نقش دارند (Patra et al., 2004). به دلیل وجود بار منفی در دیواره سلولی، ریشه‌های گیاه توانایی زیادی برای جذب فلز جیوه را دارند. مطالعات بسیاری نشان داده‌اند که اکثر جیوه جذب شده توسط ریشه گیاه به دیواره سلولی متصل می‌شود (Wang et al., 2005). دلیل کاهش غلظت جیوه توسط گیاه در روز هفتم می‌تواند آسیب دیدن غشاء سلولی، پوسیدن گیاه و رها شدن مجدد فلز از گیاه به محیط باشد (Mishra et al., 2009; Moreno et al., 2006). از دیگر دلایل کاهش غلظت جیوه در ریشه گیاه پس از گذشت هفت روز، می‌تواند کاهش غلظت جیوه در محیط باشد. در پایان دوره آزمایش علائمی از آسیب‌دیدگی شدید در گیاه نی مشاهده نشد.

در مطالعه انجام گرفته توسط Israr و همکاران (۲۰۰۶) میزان جیوه جذب شده توسط ریشه گیاه *Sesbania drummondii* ۴۱۴۳۰ ppm بود که بسیار بیشتر از میزان جیوه جذب شده توسط گیاه نی در مطالعه حاضر است. یکی از دلایل این اختلاف، می‌تواند تفاوت در غلظت اولیه جیوه در محیط کشت گیاهان باشد زیرا در مطالعه Israr و همکاران (۲۰۰۶) غلظت اولیه جیوه ۱۰۰ ppm بود که تقریباً ۱۰ برابر غلظت اولیه جیوه در مطالعه حاضر است، بنابراین باعث افزایش میزان جیوه در دسترس گیاه و جذب بیشتر جیوه می‌شود. همچنین ممکن است استفاده از جیوه سنتتیک در مطالعه Israr و همکاران (۲۰۰۶) باعث افزایش دسترسی‌پذیری زیستی جیوه در محیط باشد و در نتیجه سبب افزایش جذب جیوه توسط ریشه گیاه می‌شود (Moreno-

2 bioavailability

سازی شرایط طبیعی محیط آلوده از پساب تصفیه نشده حاوی فلز جیوه استفاده شد. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از روش گیاه پالایی برای حذف جیوه به عنوان یک روش مکمل برای تصفیه پساب‌های حاوی جیوه پیشنهاد می‌شود. بهتر است این روش آخرین مرحله تصفیه پساب باشد. و همچنین به دلیل محدودیت‌های فصلی بصورت تلفیقی با سایر روش‌های زیستی استفاده گردد. البته اجرای این طرح نیاز به مطالعات تکمیلی در رابطه با تاثیر pH و دیگر خصوصیات فیزیکی-شیمیایی پساب دارد تا کارایی این روش به بالاترین حد ممکن افزایش یابد.

خردل هندی به علت واکنش‌های شیمیایی در قسمت‌های ریشه بسیار بیشتر از میزان تبخیر از مخزن‌های شاهد است. این تبخیر جیوه از پساب یکی از عوارض ناخواسته جذب فلز توسط گیاهان است (Moreno *et al.*, 2006). با توجه به این نتایج، ممکن است عوامل دیگری نظیر تبخیر شدن جیوه و فعالیت‌های میکروبی نیز در حذف جیوه از پساب‌گلدان‌ها تاثیر داشته باشد. نتایج کلی این مطالعه نشان داد که گیاه نی توانایی بالایی برای جذب و تجمع جیوه از محیط‌های آبی دارد. در اکثر مطالعات انجام شده در زمینه گیاه پالایی، جیوه در غلظت‌های بسیار پایین و به صورت سنتتیک به محیط اضافه می‌شود اما در این مطالعه جهت شبیه

REFERENCES

- APHA, A. WPCF, 2005. Standard methods for the examination of water and wastewater. Public Health Association, Washington, DC.
- Barkay, T., Turner, R., Saouter, E., & Horn, J., 1993. Mercury biotransformations and their potential for remediation of mercury contamination. In *Microorganisms to Combat Pollution* (pp. 23-35). Springer Netherlands.
- Bihamta. M.R., Zaree Chahooki. M. A., 2008. Statistics on Natural Resources, Second Edition, Institute of Tehran University. 300 page.(in Persian)
- Carranza-Alvarez, C., Alonso-Castro, A.J., Alfaro-De La Torre, M.C., Garcia-De La Cruz, R.F., 2008. Accumulation and Distribution of Heavy Metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an Artificial Lagoon in San Luis Potosí, México. *Water Air Soil Pollution*, 188: 297–309.
- Cunningham, S. D., & Berti, W. R., 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: an overview. In *Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 29(4), 207-212.
- Devars, S., Avilés, C., Cervantes, C., & Moreno-Sánchez, R., 2000. Mercury uptake and removal by *Euglena gracilis*. *Archives of microbiology*, 174(3), 175-180.
- Greger, M., Wang, Y., Neuschütz, C., 2005. Absence of Hg transpiration by shoot after Hg uptake by roots of six terrestrial plant species. *Environmental pollution*, 134(2), 201-208
- Israr, M., Sahi, S., Datta, R., & Sarkar, D., 2006. Bioaccumulation and physiological effects of mercury in *Sesbania drummondii*. *Chemosphere*, 65(4), 591-598.
- Kafil Zade, F., Mirzayee, N., Karegar, M., 2008. Isolation and identification of bacteria resistant to mercury in water and sediments deaf. *Journal of Microbiology World*, 1(1): 43-50 .(in Persian)
- Kamal, M., Ghaly, A. E., Mahmoud, N., & Cote, R., 2004. Phytoaccumulation of heavy metals by aquatic plants. *Environment International*, 29(8), 1029-1039.
- Karimpoor, M., Afyuni. M., Esmaeeli Sari. A., 2010. Effect of sewage sludge on mercury soil and corn concentrations. *Soil and Water Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)* 14(52): 115-123. .(in Persian)
- Lambertini, C., Brix, H., & Speranza, M., 2003. Clonal variability of the common reed, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel, in the Po Plain. *Agroindustria*, 2(2/3), 121-126.
- Lo, J. M., & Wai, C. M., 1975. Mercury loss from water during storage. *Mechanisms and prevention. Analytical Chemistry*, 47(11), 1869-1870.
- Manahan, S. E. 2004. *Environmental chemistry*: CRC.
- Manohar, D. M., Anoop Krishnan, K., & Anirudhan, T. S., 2002. Removal of mercury (II) from aqueous solutions and chlor-alkali industry wastewater using 2-mercaptobenzimidazole-clay. *Water Research*, 36(6), 1609-1619.
- Meagher, R. B., 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Current Opinion in Plant Biology* 3(2): 153-162.
- Mishra, V. K., Tripathi, B. D., & Kim, K. H., 2009. Removal and accumulation of mercury by aquatic macrophytes from an open cast coal mine effluent. *Journal of hazardous materials*, 172(2), 749-754.
- Moreno, F. N., Anderson, C. W., Stewart, R. B., and Robinson, B. H., 2008. Phytofiltration of mercury-contaminated water: volatilisation and plant-accumulation aspects. *Environmental and Experimental Botany*, 62(1): 78-85.
- Moreno, F. N., Anderson, C., Stewart, R., & Robinson, B., 2009. Analysis of Mercury-Rich plants and mine tailings using the Hydride-Generation AAS method. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 52(4), 953-960.
- Moreno-Jiménez, E., Gamarra, R., Carpena-Ruiz, R. O., Millán, R., Peñalosa, J. M., & Esteban, E., 2006. Mercury bioaccumulation and phytotoxicity in two wild plant species of Almadén area. *Chemosphere*, 63(11), 1969-1973.

Nik Azar, M., Ali Jani, H., Haghghati, A.H., 2009. Adsorption of mercury from aqueous solutions by wheat bran. *Journal of Environmental Sciences and Technology*, 11(2):111-117..(in Persian)

Patra, M., Bhowmik, N., Bandopadhyay, B., & Sharma, A., 2004. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52(3), 199-223.

Regier, N., Larras, F., Bravo, A. G., Ungureanu, V. G., Amouroux, D., & Cosio, C., 2012. Mercury bioaccumulation in the aquatic plant *Elodea nuttallii* in the field and in microcosm: Accumulation in shoots from the water might involve copper transporters. *Chemosphere* 90, 595-602.

Sari, A., & Tuzen, M., 2009. Removal of mercury (II) from aqueous solution using moss *Drepanocladus revolvens* biomass: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies. *Journal of hazardous materials*, 171(1): 500-507.

Shirafrous. A., liaghat. A., 2011. Assessment of aquatic plants absorption and reduction concentration of mercury from industrial wastewater : Case study:

city of Dezful. *Journal of wetlands / Islamic Azad University of Ahvaz*, 3(9):49-54.(in Persian)

Skinner, K., Wright, N., & Porter-Goff, E., 2007. Mercury uptake and accumulation by four species of aquatic plants. *Environmental Pollution*, 145(1), 234-237

Wang, Y., 2004. Phytoremediation of mercury by terrestrial plants (Doctoral dissertation, Stockholm).

Wang, Y., Stauffer, C., Keller, C., & Greger, M., 2005. Changes in Hg fractionation in soil induced by willow. *Plant and soil*, 275(1-2), 67-75.

Wang, Y.D.*, Greger, M., 2004. Clonal differences in mercury tolerance, accumulation and distribution in Willow. *Journal of Environmental Quality*. 33:1779-1785.

Weis, J. S., & Weis, P., 2004. Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environment international*, 30(5), 685-700.

Ye, Z.H., Baker, A.J.M., Wong, M.H., Willis, A.J., 1997. Zinc, lead and cadmium tolerance, uptake and accumulation by *Typha latifolia*. *New Phytologist* 136, 469-480.

An Investigation on the Possibility of Mercury Removal from Wastewater of Bandar Imam Chlor-Alkali Plant Using *Phragmites australis*

Leila Tayebi¹, Amir Hossein Hamidian^{2*}, Afshin Danehkar², Hadi Poorbagher³

1- M.Sc. Graduated, Department of Environment, Faculty of Natural Resources,
University of Tehran, Karaj, Iran

2- Associate Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources,
University of Tehran, Karaj, Iran

3- Associate Professor, Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources,
University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 14-Jan.-2014

Accepted: 5-Feb.-2015

Abstract

The petrochemical industry is the most productive and widely spread industry in Iran. Due to the variety and complexity of its industrial products, it also produces a wide range of pollutants. The release of mercury from chlor-alkali units into environment is one of the fundamental problems of this industry. Various studies have shown that phytoremediation is very efficient for removal of mercury from aqueous solutions and, in some cases up to 95% of mercury has been removed from the solution. The purpose of this study was to evaluate the ability of common reed (*Phragmites australis*) in the removal of mercury from the chlor-alkali effluent in Bandar Imam Petrochemical Complex. Plant samples were harvested from Shadegan wetland, transported into the laboratory and cultured hydroponically in plastic aquariums. Wastewater samples were also collected from chlor-alkali plants and added into the culture medium. An aquarium containing wastewater, water and nutrients was considered as the control. Wastewater and plant samples were collected at 1, 3, 5 and 7 days of treatment. After acid digestion, mercury concentrations in wastewater and plant samples were measured by an Atomic Absorption Spectroscopy instrument. The results showed that Time has a direct effect on mercury uptake by common reed. The average concentration of mercury in plant samples in 1th, 3th, 5th and 7th day respectively was 2271.58, 3743.47, 4204.98 and 3039.32 ppm. Also by the end of the study period, 96.25% of mercury were removed from common reed aquarium effluent water. Therefore common reed is recommended for the removal of mercury from petrochemical industries wastewater.

Keyword: Petrochemical industry, mercury, phytoremediation, *Phragmites australis*

* Corresponding Author: E-mail: a.hamidian@ut.ac.ir

Phone: +98-9109774245