

Studying Efficiency of Basil Plant in Removal of Mercury Metal from Aqueous Solution

F. Hashemzadeh¹, A. H. Hassani², R. Ghaioimi³

1. PhD Student in Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
(Corresponding Author) farzadhashemzadeh91@gmail.com
2. Prof., Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
3. Former Graduated Student of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received May 18, 2019 Accepted Oct. 12, 2019)

To cite this article:

Hashemzadeh, F., Hassani, A. H., Ghaioimi, R. 2020. "Studying efficiency of basil plant in removal of mercury metal from aqueous solution" Journal of Water and Wastewater, 31(3), 128-137.
Doi: 10.22093/wwj.2019.186355.2869 (In Persian)

Abstract

Today disposal wastewater containing mercury is a critical concern. Phytoremediation technique become well-known due to its cost-effectiveness and there is no need for advanced equipment and expert people. Basil is the best plant to alleviate heavy metal contamination and could be used as a reservoir plant in polluted area's soil. The aim of this study was evaluating the possibility of reduction and removal of Mercury as a heavy metal from contaminated wastewater using phytoremediation approach with basil. In this study five levels of Mercury nitrate (0.5, 1, 3, 5 and 10mg/L) were examined on basil with 3 replications. Then sampling was performed from waters under pots, basil plant organs (root, stem, leaf) and pot soils. Collected samples were analyzed further. It could be found that by increasing mercury concentration, removal percentage of mercury from under-pot water increased, as the highest removal percentage in 10mg/L was 97%. The highest mercury residue percentage related to removal percentage in 10mg/L was equal to 98% and the lowest value was 0.5 mg/L mercury by 13%. In 10mg/L the highest residue percentage for mercury was observed in stem with 92% and the lowest percentage was observed in leaves with 42%. Totally, stem and leaves had lower mercury residue than roots. In conclusion, the feasibility of removing mercury from the basil plant is justified and could applied as an innovative and promising approach to alleviate mercury ion from industrial wastewater.

Keywords: Heavy Metals, Mercury, Phytoremediation, Basil.

مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۱، شماره ۳، صفحه: ۱۳۷-۱۲۸

بررسی کارایی گیاه ریحان در حذف فلز جیوه از محیط‌های آبی

فرزاد هاشم‌زاده^۱، امیرحسام حسینی^۲، رعنا قیومی^۳

۱- دانشجوی دکترای مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

(نویسنده مسئول) farzadhashemzadeh91@gmail.com

۲- استاده، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی،

واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آلودگی‌های محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

پذیرش ۹۸۷/۲۰

(دریافت ۹۸۷/۲۸)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

هاشم‌زاده، ف.، حسینی، ا.ح.، قیومی، ر.، ۱۳۹۹، "بررسی کارایی گیاه ریحان در حذف فلز جیوه از محیط‌های آبی"

مجله آب و فاضلاب، ۳۱(۳)، ۱۲۷-۱۲۸. Doi: 10.22093/wwj.2019.186355.2869

چکیده

امروزه دفع پساب‌های حاوی جیوه یکی از مشکلات اساسی است. روش گیاه‌پالایی به دلیل مقرون به صرفه بودن و عدم نیاز به تجهیزات پیشرفته و افراد متخصص، بسیار رواج پیدا کرده است. ریحان از مؤثرترین گیاهان استفاده شده برای حذف آلودگی فلزات سنگین است که می‌تواند به عنوان یک گیاه ذخیره کننده در خاک مناطق آلوده استفاده شود. هدف از این پژوهش، بررسی امکان کاهش و حذف فلز سنگین جیوه از پساب‌های آلوده با استفاده از روش گیاه‌پالایی توسط گیاه ریحان است. در این پژوهش آزمایش‌ها در پنج سطح نیترات جیوه (۰/۵، ۳، ۵ و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بر روی گیاه ریحان و با ۳ بار تکرار انجام شد. سپس نمونه‌برداری از آب زیر گلدان‌ها، اندام‌های گیاه ریحان (ریشه، ساقه، برگ) و خاک گلدان‌ها انجام شد و نمونه‌های برداشت شده آنالیز شد. با افزایش غلظت فلز جیوه، میزان درصد حذف جیوه در آب زیر گلدان‌ها افزایش یافت به طوری که بیشترین میزان درصد حذف در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۹۷ درصد بود. بیشترین درصد باقیمانده جیوه در خاک، مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر جیوه و برابر ۹۸ درصد و کمترین درصد مربوط به غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر فلز جیوه معادل ۱۳ درصد بود. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین درصد باقیمانده فلز جیوه مربوط به ساقه گیاه با ۹۲ درصد و کمترین درصد باقیمانده در این غلظت، مربوط به برگ گیاه با ۴۲ درصد بود. به طور کلی میانگین درصد باقیمانده جیوه در اندام‌های ساقه و برگ کمتر از ریشه گیاه بود. در نتیجه امکان سنجی حذف فلز جیوه توسط گیاه ریحان توجیه می‌شود و می‌تواند به عنوان راهکاری نوین و نویدبخش در حذف یون فلز جیوه از پساب‌های صنعتی استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: فلزات سنگین، جیوه، گیاه پالایی، گیاه ریحان

۱- مقدمه

فلزات سنگین به فلزها و شبه فلزهایی که دارای چگالی بیش از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب هستند، اطلاق می‌شود. سرب، روی، مس،

فلزات سنگین از جمله آلاینده‌های محیط‌زیستی هستند که در تمام نقاط جوامع صنعتی یافت می‌شوند (Lasat, 2002). واژه

تیمارهای فیزیکی و شیمیایی به صورت برگشت ناپذیر خصوصیات خاک را تحت تأثیر قرار می دهند. تنوع زیستی را از بین می برند و ممکن است که خاک را به یک محیط کشت بی فایده و غیر حاصلخیز برای رشد گیاهان مبدل سازند. روش های فیزیکی و شیمیایی اصلاح و ترمیم خاک های آلوده عمدتاً پرهزینه نیز هستند. اصلاح شیمیایی مستلزم استفاده از مواد شیمیایی برای پاکسازی محیط زیست طبیعی است، اما این روش یک روش عمومی نیست، به این معنا که یک ماده شیمیایی نمی تواند برای زدودن تمام یون های فلزی استفاده شود. علاوه بر این، وجود گروه ها و انواع زیادی از مواد شیمیایی، پاکسازی فلزات سمی از محیط زیست را به فرایندی بسیار پیچیده تبدیل کرده است (Baker, 2000).

امروزه توسعه روش های زیستی اصلاح خاک که از لحاظ هزینه مقرون به صرفه باشند و آلودگی ها را بدون تأثیر گذاشتن بر حاصلخیزی خاک از بین ببرند، مورد نیاز است. یکی از این روش ها، گیاه پالایی است که می تواند برای اصلاح خاک های مبتلا به تجمع فلزات سنگین استفاده شود (Shah and Nongkynrih, 2007).

گیاه پالایی که در برگیرنده استفاده از گیاهان برای زدودن، انتقال دادن، تثبیت کردن و یا تقلیل آلودگی ها در خاک، رسوبات و آب است، به مجموعه متنوعی از فناوری های گیاه بنیان اطلاق می شود که از گیاهان طبیعی موجود و یا گیاهان ایجاد شده از طریق مهندسی ژنتیک برای پاکسازی محیط های آلوده استفاده می کنند (Ghosh and Singh, 2005).

برحسب نوع آلاینده ها، شرایط منطقه، درج های اصلاح مورد نیاز و گونه گیاهی، فناوری گیاه پالایی می تواند به صورت تثبیت گیاهی برای محدود کردن آلاینده ها و یا به صورت استخراج گیاهی و تبخیر گیاهی برای حذف آلاینده ها استفاده شود (Thangavel and Subbhuraam, 2004).

تا به امروز، بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی متعلق به ۴۵ خانواده که از پتانسیل ژنتیکی جذب و تحمل مقادیر بالای فلزات سنگین در بخش های هوایی خود برخوردار هستند، شناسایی شده است (Yang et al., 2004).

ریحان گیاهی است علفی از تیره نعناعیان با نام علمی (*Ocimum basilicum*)، یکساله، معطر، دارای ساقه منشعب از قاعده و به ارتفاع ۱۵ تا ۴۵ سانتی متر و ریشه مستقیم و مخروطی

کادمیم، نیکل، آرسنیک، آهن، جیوه، کروم، نقره و سلنیوم از جمله این فلزات هستند (Adriano, 2001). سمیت فلزات سنگین و تجمع آنها در زنجیره های غذایی یکی از اصلی ترین معضلات محیط زیستی و بهداشتی جوامع امروزی است (Singh et al., 2003).

آلودگی خاک به وسیله فلزات سنگین با آلودگی آب یا هوا متفاوت است، زیرا فلزات سنگین در داخل خاک به مدت طولانی تری نسبت به سایر بخش های بیوسفر باقی می ماندند و در خاک دوام و بقای بیشتری دارند (Majer et al., 2002).

معضل اصلی مربوط به فلزات سنگین آن است که این آلاینده های غیر آلی بر خلاف آلاینده های آلی تجزیه پذیر نیستند. این واقعیت، فلزات سنگین را به یکی از خطرناک ترین گروه آلاینده های محیط زیستی مبدل ساخته است (Kabata-Pendias and Pendias, 2001).

جیوه، از فلزات سنگینی است که دارای کارکرد زیستی مشخصی نیست و پتانسیل ایجاد مسمومیت برای گیاهان و سایر موجودات زنده دارد. این فلز به دلیل پراکنش گسترده در جوامع شهری و صنعتی و خطر بالقوه آن برای محیط زیست، سلامت انسان ها و حیوانات، منشأ نگرانی های متعددی شده است. جیوه نه تنها فعالیت ریز جانداران خاک را تحت تأثیر قرار می دهد و سبب از دست رفتن حاصلخیزی خاک می شود، بلکه باعث بروز تغییر در شاخص های فیزیولوژیکی رشد گیاهان و در نهایت کاهش عملکرد آنها نیز می شود (Lone et al., 2008).

این فلز به واسطه ورود به زنجیره های غذایی، در بدن انسان ها و حیوانات تجمع می یابد و سلامتی آن ها را به مخاطره می اندازد (Gardea-Torresdey et al., 2005).

به طور کلی، امکان تجزیه زیستی فلزات سنگین به فراورده های با سمیت کمتر یا بیشتر وجود ندارد، لذا این فلزات بدون تغییر در محیط زیست باقی می ماندند. از این رو، اصلاح خاک های آلوده به فلزات سنگین تنها با استفاده از روش هایی که این آلاینده ها را از خاک خارج کنند و یا آنها را در مکان خود تثبیت نمایند، مورد نیاز است (Broos et al., 2005).

اصلاح خاک های آلوده به فلزات سنگین با استفاده از روش های شیمیایی، فیزیکی و یا زیستی صورت می پذیرد (Ward and Singh, 2004).

فاکتور انتقال، سپیدار و توت گونه‌های درختی مناسبی برای گیاه استخراجی کادمیم و نیکل هستند در حالی که هیچکدام از گونه‌ها برای تثبیت گیاهی این دو عنصر مناسب نیستند (Rafati et al., 2011).

این پژوهش با هدف گیاه‌پالایی پساب‌های حاوی فلز جیوه با استفاده از گیاه ریحان و شناسایی شرایط بهینه حذف این فلز، از جمله تعیین محدوده غلظت قابل حذف جیوه، تعیین میزان غلظت جیوه در اندام‌های مختلف گیاه ریحان و تعیین محل تجمع اصلی جیوه در گیاه ریحان صورت گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور تهیه محلول استاندارد ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر جیوه، از نمک نترات جیوه شرکت مرک^۱ آلمان استفاده شد. همچنین برای تعیین میزان جیوه در نمونه‌ها از دستگاه مرکوری آنالایزر ساخت شرکت Mileston ایتالیا مدل DMA-80، pH متر مدل 744 Meter ساخت کشور آمریکا به سفارش شرکت پارس طب نوین، ترازوی آزمایشگاهی مدل ALS 220.4 ساخت شرکت Kern آلمان استفاده شد.

در ابتدا برای انجام آزمایش‌ها، تعداد ۶ گلدان و ۶ زیرگلدانی که انتهای آنها دارای سوراخ برای عبور آب بود، تهیه شد و در گلدان‌ها مخلوطی از ماسه بادی + خاک برگ + کود کمپوست ریخته شد. سپس بذر ریحان تهیه شده مخلوط با خاک در سطح خاک پاشیده شد و دوباره کمی خاک بر روی بذرها ریخته شد و سپس در مکانی پر نور با حرارت مناسب قرار داده شد. هر روز آبیاری گلدان‌ها انجام شد تا زمانی که بذرها جوانه زده و از خاک بیرون آیند. تا قبل از سبز شدن گیاه، خاک باید دائماً مرطوب باشد ولی بعد از سبز شدن، فقط زمانی آبیاری انجام می‌شد که خاک خشک باشد. برای این که گرما و رطوبت کافی برای جوانه زدن بذرها فراهم شود، روی گلدان‌ها با کیسه نایلونی پوشانده شد و چند عدد سوراخ برای تنفس گیاه ایجاد شد و در جای نسبتاً گرمی قرار گرفت تا گیاه سبز شده و جوانه بزند. زمانی که گیاه ۱ تا ۲ سانتی‌متر رشد کرد، رویه نایلونی برداشته شد. به فاصله زمانی یک روز، گلدان‌ها آبیاری شدند تا زمانی که رشد گیاهان کامل شد و برای انجام

شکل. طول ریشه بین ۱۰ تا ۱۶ سانتی‌متر است. ریشه، انشعابات فراوانی دارد. برگ‌هایی متقابل، بیضوی نوک تیز با کناره‌های دندانه دار و گل‌هایی معطر به رنگ‌های سفید، گلی و گاهی بنفش و مجتمع به صورت دسته‌های ۴ تا ۶ تایی در طول قسمت انتهایی ساقه دارد (Peer et al., 2005).

پژوهش‌ها در زمینه کاربرد گیاهان و درختان در پاکسازی خاک‌های آلوده به ترکیبات مختلف آلی و معدنی و به ویژه فلزات سنگین در چند سال اخیر اهمیت زیادی یافته است. هی و همکاران آزمایشی به صورت هیدروپونیک برای ارزیابی اثر سطوح مختلف کادمیم (۲/۵ و ۵ میلی‌گرم در لیتر) و روی (۱۰ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر) بر رشد و جذب فلزات به وسیله یک گونه از ریحان *Ocimum gratissimum L.* انجام دادند. نتایج نشان داد، با افزایش سطوح مختلف کادمیم و روی، غلظت فلزات در اندام‌های هوایی و ریشه به طور معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد افزایش یافت. انباشت کادمیم و روی در ریشه بیشتر از اندام‌های هوایی بود (He et al., 2016).

در پژوهش دیگری سعید و اقبال، اثر جذب فلزات کادمیم و سرب را روی چهارگونه گیاه آبی *Salvinia*، *Pistia stratiotes L.*، *Azolla auriculata Aubl.*، *Salvinia minima Baker*، *filiculoides Lam* بررسی کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که کاهش شدید کادمیم و سرب در محلول آبی در طی ۴ روز اول و تجمع سرب در بافت‌های گیاهی، بیشترین میزان بود و در ریشه بیش از ۱۰ برابر بیشتر از برگ بود. تجمع کادمیم به آرامی افزایش یافت و در پایان آزمایش به بالاترین غلظت رسید به طوری که غلظت در ریشه ۳۹۲۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و تقریباً ۶ برابر برگ یعنی ۶۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (Saeed and Iqbal, 2003).

رفعتی و همکاران نیز در پژوهشی، توان گیاه‌پالایی فلزات سنگین کادمیم، کروم و نیکل توسط گونه‌های درختی سپیدار و توت را بررسی کردند. غلظت‌های کادمیم اعمال شده در این آزمایش ۴۰، ۸۰ و ۱۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، غلظت‌های کروم اعمال شده ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم و غلظت‌های نیکل اعمال شده ۱۲۰، ۲۴۰ و ۴۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک بود. نتایج اندازه‌گیری‌های مقدار فلزات سنگین در اندام‌های گیاهی (برگ، ساقه شاخه‌ها و ریشه) نشان داد که بیشترین مقدار انباشت در مورد هر سه فلز در برگ‌ها بود. آنها در نهایت تأکید کردند که با توجه به

¹ Merck

در تمام این مدت شرایط دمایی و محیطی هر ۶ گلدان برابر و یکسان بود و تا پایان آزمایش نیز تغییر نکرد.

مراحل ذکر شده در مرحله اول آبیاری، ۴ روز پس از آن تکرار و مانند آبیاری دفعه اول، هر گلدان با فاضلاب مخصوص به خود آبیاری شد.

پس از ۴ روز و دومین آبیاری، گیاهان کم کم پژمرده شدند و طراوت و شادابی خود را از دست دادند. لیکن به ادامه آزمایش پرداخته شد، تا زمان سومین نمونه‌گیری فرا برسد. در این فاصله برای جلوگیری از خشک شدن گیاهان، آبیاری با فاضلاب انجام شد. پس از ۸ روز و سومین آبیاری، پساب‌ها جمع‌آوری شدند و به آزمایشگاه برای تعیین مقدار جیوه منتقل شدند.

برای تعیین میزان جذب جیوه در خاک و اندام‌های گیاه، نمونه‌هایی از آن‌ها برای آزمایش به آزمایشگاه منتقل شدند. به این منظور، تعدادی ریحان به همراه ریشه از خاک بیرون آورده شد و در دمای اتاق و سایه قرار داده شد تا کاملاً خشک شود. هر کدام از بخش‌های گیاه تفکیک شد و در پاکتی جداگانه به همراه نمونه‌ای از خاک هر گلدان، برای اندازه‌گیری میزان جیوه به آزمایشگاه منتقل شد. قسمت‌های مختلف گیاه با هاون ساییده و به صورت پودر و کاملاً هم‌وزن در آمد. برای اطلاع از میزان جیوه موجود در خاک و هر کدام از اندام‌های گیاه به وسیله دستگاه مرکوری آنالایزر، ابتدا ظروف مخصوص نمونه دستگاه در داخل دستگاه قرار داده شد تا تمیز و عاری از جیوه شود. سپس هر سلول بر روی ترازوی دیجیتال قرار داده شد و ترازو کالیبره شد. از آنجایی که حداکثر مقداری که در هر سلول باید ریخته شود ۰/۱ گرم است، با قاشقک نمونه‌های از قبل آماده شده به میزان ۰/۱ گرم، داخل ظروف نمونه‌ها توزین شد. برای نمونه‌های مایع (فاضلاب)، مقدار ۱۰۰ میکرولیتر توسط میکروپیپت داخل ظروف نمونه از پیش تمیز شده، ریخته شد. سپس ظروف نمونه برای تعیین میزان جیوه در دستگاه قرار داده شد و پس از تعیین میزان جیوه، نتایج ثبت شد.

۳- نتایج و بحث

به‌منظور تحلیل و بررسی داده‌های حاصل از آزمایش‌ها، نمودارهای مقایسه‌ای درصد حذف و درصد باقیمانده فلز جیوه توسط گیاه ریحان بر غلظت فلز جیوه در بازه‌های زمانی معین آبیاری و پس از خشک شدن گلدان‌ها رسم شدند.

آزمایش، آماده شدند. قبل از شروع آزمایش، نمونه‌ای از خاک استفاده شده در این پژوهش به‌منظور بررسی به آزمایشگاه برده شد و پس از اطمینان از عاری بودن خاک از وجود فلز جیوه، آزمایش‌ها آغاز شد. در مرحله بعدی پساب حاوی جیوه در غلظت‌های مختلف ساخته شد. به این منظور مقدار ۰/۵ گرم نمک نترات جیوه در یک لیتر آب حل شد و محلول استوک ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر نترات جیوه به‌دست آمد که از آن برای تهیه محلول استاندارد ۱۰ میلی‌گرم در لیتر فلز جیوه استفاده شد. سپس محلول‌هایی با غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۳، ۵، ۱۰ میلی‌گرم در لیتر فلز جیوه تهیه شد. سنجش غلظت جیوه در نمونه‌های استاندارد و مجهول مطابق با روش‌های استاندارد آب و فاضلاب با استفاده از دستگاه مرکوری آنالایزر انجام شد. درصد‌های حذف فلز جیوه با محاسبه تفاوت بین غلظت اولیه و نهایی انجام گرفت. درصد‌های حذف (R) با استفاده از معادله ۱ محاسبه شد

$$R\% = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (1)$$

که در آن

C_0 غلظت اولیه و C_e غلظت نهایی فلز جیوه در محلول است.

۱-۲- شیوه اعمال فاکتورهای پژوهش

در این مرحله برای اعمال فاکتورهای مورد نظر، مقداری از آب لوله‌کشی و همچنین مقداری از هر کدام از فاضلاب‌ها در داخل لوله آزمایش جداگانه ریخته شد و در آن بسته شد و به آزمایشگاه برده شد تا به وسیله دستگاه مرکوری آنالایزر، مقدار جیوه موجود در آن‌ها تعیین شود. در نخستین نوبت آبیاری، هر کدام از گلدان‌ها با یکی از فاضلاب‌های با غلظت ۰/۵، ۱، ۳، ۵، ۱۰ میلی‌لیتر آبیاری شدند و یک گلدان نیز به‌عنوان شاهد با آب لوله‌کشی شهری آبیاری شد. بعد از حدود ۳۰ دقیقه، پسابی که از زیر گلدان‌ها خارج و درون زیر گلدانی جمع شد، جمع‌آوری و در داخل لوله‌های آزمایش جداگانه به آزمایشگاه منتقل شد تا مقدار جیوه موجود در هر پساب تعیین شود.

از آنجایی که بازه زمانی نمونه‌برداری هر ۴ روز یک بار در نظر گرفته شده بود، در این بین، هر گلدان با غلظت نترات جیوه مخصوص به خود آبیاری می‌شد، لذا پساب زیر گلدان‌ها جمع‌آوری نمی‌شد، تا موعد ۴ روزه بعد از اولین آبیاری فرا برسد.

همانطور که از جدول ۱ مشخص است غلظت‌های ساخته شده از فلز جیوه با مقدار اندازه‌گیری شده با در نظر گرفتن درصد خطای جزئی که می‌تواند مربوط به دستگاه یا عوامل محیطی باشد، مطابقت داشت. با در نظر گرفتن مقدار ساخته شده و اطمینان از مقدار غلظت جیوه در نمونه، به انجام آزمایش‌ها پرداخته شد.

۲-۳- تحلیل میزان درصد حذف فلز جیوه در آب زیر گلدان‌ها

رسم نمودارهای درصد حذف بر غلظت فلز جیوه در آب جمع شده در پای گلدان‌ها در آبیاری اول، پس از چهار روز اول و چهار روز دوم نشان داد که به‌طور کلی با افزایش غلظت فاضلاب حاوی جیوه، میزان درصد حذف نیز افزایش یافته است. همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است از غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر به بعد، درصدهای حذف افزایش چشمگیری داشت که توانایی گیاه در

۳-۱- تعیین صحت مقدار جیوه در فاضلاب ساخته شده

پس از ساخت غلظت‌های مشخص فلز جیوه، به‌منظور اطمینان از غلظت‌های ساخته شده و قبل از آبیاری گیاهان با فاضلاب، نمونه‌ها به دستگاه داده شد و اعداد به‌صورت جدول ۱ به‌دست آمد.

جدول ۱- تعیین غلظت‌های مختلف جیوه در پساب ساخته شده

Table 1. Determination of different concentrations of mercury in wastewater

Mercury metal concentration (mg/L)	Concentration of mercury (mg/L) measured
Pure water (0)	0.0062
0.5	0.4263
1	0.8714
3	3.1342
5	5.1774
10	9.6734

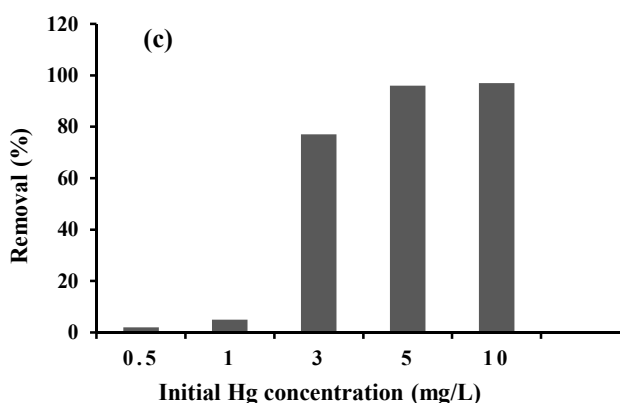
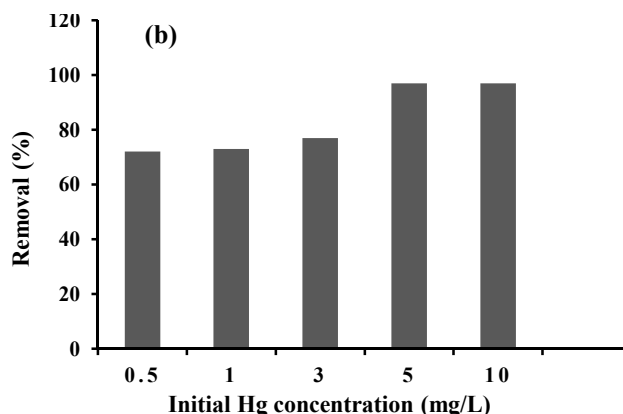
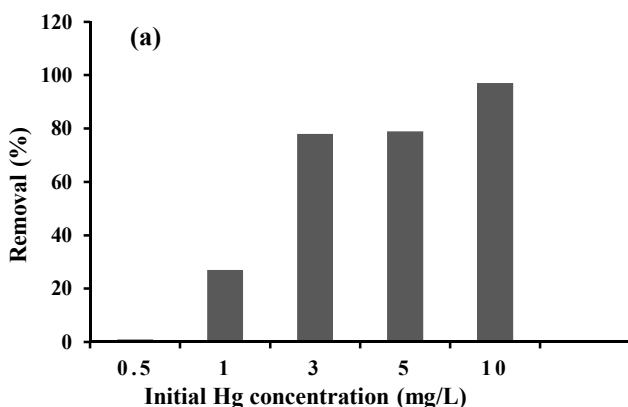


Fig. 1. Comparative graphs of removal percentage of mercury metal at different concentrations (a) after the first irrigation (b) after 4 days irrigation and (c) after 8 day's irrigation

شکل ۱- نمودارهای مقایسه‌ای درصدهای حذف فلز جیوه در غلظت‌های مختلف آن

(a) اولین آبیاری (b) پس از ۴ روز آبیاری (c) پس از ۸ روز آبیاری

حتی احتمال واجذب جیوه از طرف گیاه ریحان نیز وجود دارد. بیشترین درصد باقیمانده مربوط به غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر جیوه معادل با ۹۸ درصد و کمترین درصد مربوط به غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر فلز جیوه معادل با ۱۳ درصد بود.

بر اساس نتایج آزمایش‌های به‌دست آمده از میزان باقیمانده جیوه در ساقه، ریشه و برگ گیاه ریحان مشخص شد که در غلظت‌های کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر جیوه، میزان جذب فلز در ساقه و برگ بسیار کمتر از ریشه گیاه بوده است به‌طوری که در غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر جیوه، ساقه و برگ هر دو تنها ۲ درصد باقیمانده این فلز را در اندام خود داشته‌اند.

این در حالی است که در همین غلظت در ریشه گیاه ریحان، مقدار باقیمانده فلز جیوه معادل با ۱۱ میلی‌گرم به‌دست آمد. در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، بیشترین درصد باقیمانده فلز جیوه مربوط به ساقه گیاه با ۹۲ درصد و کمترین درصد باقیمانده در این غلظت مربوط به برگ گیاه با ۴۲ درصد بود. به‌طور کلی میانگین درصد باقیمانده جیوه در اندام‌های ساقه و برگ کمتر از ریشه گیاه بود. در ریشه، میزان باقیمانده جیوه در غلظت ۱ و ۳ میلی‌گرم در لیتر یکسان و برابر ۲۸ درصد بود و از غلظت ۳ میلی‌گرم در لیتر به بعد، افزایش چشمگیری پیدا کرد.

منفرد و همکاران گزارش کردند که اغلب کادمیم جذب شده توسط آفتابگردان در اندام زمینی انباشته می‌شود. غلظت کادمیم در اندام هوایی آفتابگردان به ترتیب ۷ و ۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه گزارش شد که این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار است. غلظت کادمیم در ریشه‌های آفتابگردان و سورگوم به ترتیب ۱۳ و ۴۳ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گیاه است و غلظت کادمیم در گیاهان کشت شده در خاک غیر آلوده صفر است (Monfared et al., 2013).

در پژوهش دیگری در بررسی نحوه توزیع سرب در اندام‌های مختلف آفتابگردان گزارش شد که میزان سرب موجود در اندام‌های گیاهی از غلظت قابل جذب این عناصر در خاک تبعیت می‌کند و با افزایش غلظت سرب قابل جذب در خاک، غلظت آن در گیاه نیز افزایش می‌یابد. حداکثر میزان تجمع در ریشه و اندام هوایی در دانه آفتابگردان، ۱/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش شد (Vara Prasad and De Oliveira Freitas, 2003).

جذب فلز جیوه در غلظت‌های بالای فاضلاب را نشان می‌دهد و با تحقیق گراتو و همکاران که در مورد گیاه‌پالایی سرب و کادمیم توسط گیاه آفتابگردان در سال ۲۰۰۵ انجام شده است، مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که با افزایش سطوح غلظت کادمیم و سرب در آبیاری آفتابگردان، غلظت این عناصر سمی در اندام‌های گیاهی ریشه و اندام هوایی به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد؛ که می‌توان نتیجه گرفت که افزایش درصد حذف فلز جیوه در آب زیر گلدان‌ها، به افزایش غلظت فلز جیوه در گیاه منجر می‌شود (Grataoet al., 2005).

کمترین میزان درصد حذف جیوه در آب زیر گلدان‌ها معادل با ۱ درصد و مربوط به غلظت ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر بود. بیشترین میزان درصد حذف فلز جیوه در آب پای گلدان‌ها در غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر معادل با ۹۷ درصد بود. نکته قابل توجه در آبیاری پس از ۴ روز، درصد‌های حذف بیش از ۷۰ درصد بود که حتی در غلظت‌های پایین نیز مشاهده شد و دلیل آن را می‌توان شوک به گلدان‌ها توسط فاضلاب پس از آبیاری مجدد دانست که به یکباره گیاه واکنش نشان داده است، اما در مرحله بعد یعنی ۸ روز، فرایند جذب به حالت قبل بازگشت. شایان ذکر است در غلظت‌های بیشتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر، رفتار گیاه نسبت به جذب کردن یا نکردن فلز جیوه مشخص نبود و از غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر، دستگاه قرائت‌کننده فلز جیوه، داده منطقی را نشان نداد.

اصلی‌ترین فرضیه در گیاه‌پالایی این است که گیاهان سه راهبرد پایه برای رشد در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین دارند. برخی گونه‌ها از ورود فلزات به بخش‌های هوایی خود جلوگیری کرده یا غلظت فلزات را در خاک پایین نگه می‌دارند. برخی گونه‌ها فلزات را در اندام‌های هوایی خود تجمع داده و دوباره به خاک بر می‌گردانند. گونه‌های دیگر فلزات را در اندام‌های هوایی خود تغلیظ می‌کنند به طوری که چندین برابر غلظت فلز در خاک می‌شود. این گونه‌ها غلظت بالایی از آلاینده‌ها را جذب کرده و در ریشه، ساقه یا برگ‌هایشان تغلیظ می‌کنند (Yoon et al., 2006).

نمودار درصد فلز جیوه باقیمانده در خاک خشک شده در شکل ۲ نشان می‌دهد که با افزایش غلظت فلز جیوه، مقدار باقیمانده فلز در خاک بیشتر می‌شود که نتایج به‌دست آمده منطقی و مورد پذیرش است زیرا با افزایش غلظت فلزات، توانایی گیاه برای جذب فلز جیوه کاهش می‌یابد و دیگر واکنشی از طرف گیاه وجود ندارد.

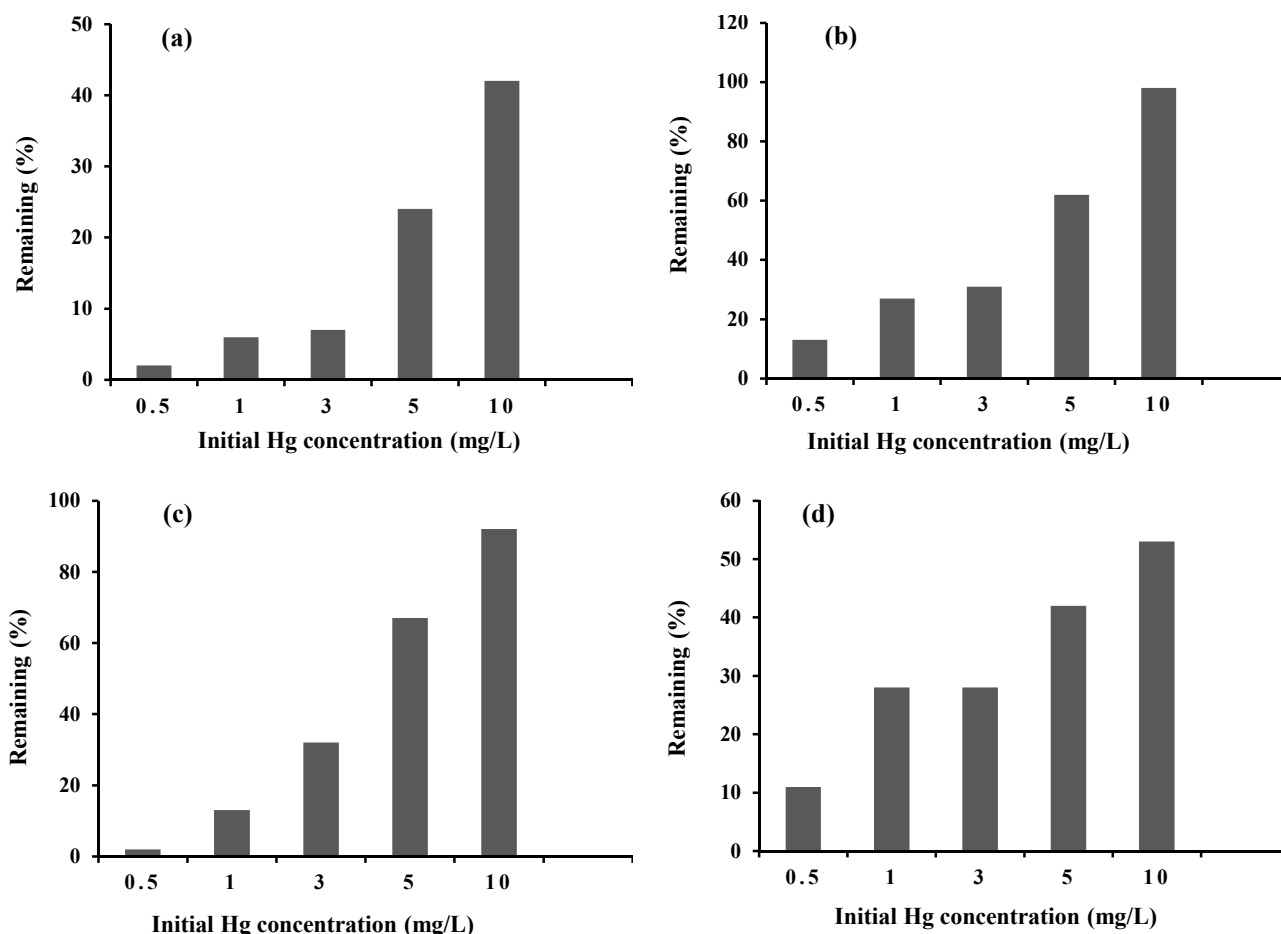


Fig 2. Graphs of the remaining percentage of mercury metal in different organs of the basil plant, based on the concentration of mercury, (a) dried leaves, (b) dried soil, (c) dried stems and (d) dried roots

شکل ۲- نمودارهای درصد فلز جیوه باقیمانده بر اساس غلظت جیوه (میلی‌گرم در لیتر) (a) برگ خشک شده، (b) خاک خشک شده، (c) ریشه خشک شده و (d) ساقه خشک شده گیاه ریحان

غلظت جیوه در خاک رابطه مستقیم دارد و افزایش غلظت جیوه در خاک گلدان‌ها رابطه معنی‌داری با اندام‌های هوایی گیاه ریحان دارد. میزان باقیمانده جیوه در اندام‌های دیگر نظیر ساقه و برگ گیاه نیز بیشتر شد.

همچنین میزان جذب جیوه توسط ریشه گیاه ریحان نسبت به اندام هوایی به مراتب بیشتر و میانگین درصد باقیمانده در ریشه از بقیه اندام‌های گیاه نیز بیشتر بود.

مشاهدات نشان داد گیاه ریحان بسیار سریع به جیوه واکنش نشان می‌دهد و آن را جذب می‌کند و جیوه به علت سمی بودن، گیاه را از بین می‌برد. این اتفاق از برگ‌های گیاه شروع شد زیرا برگ‌های گیاه به کوچک‌ترین سمیت و آلودگی واکنش نشان می‌دهند و آسیب می‌بینند. در این پژوهش تفاوت معنی‌داری بین

نتایج هر دو پژوهش با نتایج تحقیق انجام شده بر روی جیوه توسط گیاه ریحان همخوانی داشته و آن را تصدیق می‌کنند.

لازم به توضیح است که غلظت‌های ۲۰ و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر فلز جیوه نیز مورد آزمایش قرار گرفت ولی دستگاه توانایی قرائت مقدار فلز را از اندام‌های گیاه و آب زیر گلدان و خاک نداشت.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش‌های گیاه‌پالایی فلز جیوه توسط گیاه ریحان نشان داد با افزایش غلظت، میزان درصد حذف جیوه در آب زیر گلدان‌ها نیز افزایش می‌یابد و جذب جیوه بیشتر می‌شود که آن را می‌توان به جذب توسط خاک و خود گیاه ریحان نسبت داد. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت فلز سنگین جیوه در اندام‌های گیاه ریحان با

این رو یکی از بهترین روش‌ها برای رسیدگی به معضل تجمع فلزات سنگین در محیط است. با این وجود، بازدهی و کارایی روش مذکور به طراحی و انتخاب یک استراتژی علمی، دقیق و جامع، با در نظر گرفتن نوع یون‌های فلزی موجود در خاک و یا آب، موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر و پتانسیل گیاه در زدودن آلاینده‌ها از محیط، وابسته است.

بنابراین در مجموع در این پژوهش با توجه به فراوانی، در دسترس بودن و ارزان بودن گیاه ریحان و همچنین کارایی زیاد در فرایند جذب فلز جیوه توسط این گیاه، امکان‌سنجی حذف فلز جیوه توسط گیاه ریحان توجیه می‌شود و می‌تواند به‌عنوان راهکاری نوین و نویدبخش در حذف یون فلز جیوه از پساب‌های صنعتی استفاده شود.

۵- قدردانی

از اساتید گرانقدر به‌ویژه جناب آقای دکتر برقعی برای تمام حمایت‌ها و زحمات بی‌دریغشان در انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌کنم. امید است مقاله فوق، برای پژوهشگران و صنعتگران حوزه آب و فاضلاب مفید و ارزشمند واقع شود.

فاکتورهای انتقال و تجمع زیستی در گیاه ریحان مشاهده شد؛ بنابراین ریحان پتانسیل استخراج گیاهی بالاتری نسبت به بسیاری از گیاهان دارد. در مجموع با توجه به سمیت فلز جیوه حتی در غلظت‌های کم، باید توجه کافی به منابع ورودی این آلاینده به محیط زیست معطوف شود. از سوی دیگر شناسایی، جداسازی و کاربرد باکتری‌های بومی محرک رشد گیاه و مقاوم به تنش‌ها نیز به واسطه تأثیر بر رشد گیاه ریحان، تنش وارده را کاسته و به بهبود رشد گیاه کمک می‌کنند.

بر اساس نتایج پژوهش، ریحان دارای توانایی بالایی در انتقال از ریشه به اندام هوایی و تجمع در گیاه و خاک است لذا با توجه به سمیت زیاد این فلز برای گیاه و خطر ورود به زنجیره غذایی، لازم است به‌منظور اطمینان از سلامت محصول، دقت و نظارت کافی در مراحل مختلف تولید تا مصرف محصولات کشاورزی به عمل آید.

به‌منظور بازگرداندن مجدد تعادل محیط زیست، روش گیاه‌پالایی دارای فواید متعددی از قبیل هزینه اندک در مقایسه با روش‌های فیزیکی و شیمیایی اصلاح خاک، عدم تأثیرگذاری بر تنوع زیستی خاک، کاهش میزان فرسایش رواناب و غیره است و از

References

- Adriano, D. C. 2001. Trace elements in terrestrial environments: biogeochemistry, bioavailability and risks of metal. *Journal of Environmental Quality*, 32(1), 374.
- Baker, A. 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Terry, N. and Banuelos, G. S. (Eds.), CRC Press, Boca Raton. 85-107.
- Broos, K., Beyens, H. & Smolders, E. 2005. Survival of rhizobia in soil is sensitive to elevated zinc in the absence of the host plant. *Soil Biology and Biochemistry*, 37, 573-579.
- Gardea-Torresdey, J. L., Peralta-Videa, J. R., De La Rosa, G. & Parsons, J. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. *Coordination Chemistry Reviews*, 249, 1797-1810.
- Ghosh, M. & Singh, S. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian Journal on Energy and Environment*, 6(4), 214-231.
- Gratão, P. L., Prasad, M. N. V., Cardoso, P. F., Lea, P. J. & Azevedo, R. A. 2005. Phytoremediation: green technology for the clean up of toxic metals in the environment. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(1), 53-64.
- He, J., Ji, Z. X., Wang, Q. Z., Liu, C.-F. & Zhou, Y. B. 2016. Effect of Cu and Pb pollution on the growth and antionxidant enzyme activity of Suaeda heteroptera. *Ecological Engineering*, 87, 102-109.
- Kabata-Pendias, A. & Pendias, H. 2001. *Trace elements in soils and plants*, CRC Press, Boca Raton.
- Lasat, M. M. 2002. Phytoextraction of toxic metals. *Journal of Environmental Quality*, 31(1), 109-120.

- Lone, M. I., He, Z. L., Stoffella, P. J. & Yang, X. E. 2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soils and water: progresses and perspectives. *Journal of Zhejiang University Science B*, 9(3), 210-220.
- Majer, B. J., Tschерko, D., Paschke, A., Wennrich, R., Kundi, M., Kandeler, E., et al. 2002. Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in *Tradescantia* and on microbial enzyme activities: a comparative investigation. *Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 515(1-2), 111-124.
- Monfared, S. H., Matinzadeh, M., Shirvany, A., Amiri, G. Z., Fard, R. M. & Rostami, F. 2013. Accumulation of heavy metal in *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus rotundifolia*. *Journal of Forestry Research*, 24(2), 391-395.
- Peer, W. A., Baxter, I. R., Richards, E. L., Freeman, J. L. & Murphy, A. S. 2005. Phytoremediation and hyperaccumulator plants. In: *Molecular biology of metal homeostasis and detoxification*. Tamas, M.J. and Martinoia, E. (Eds.), Berlin, Heidelberg. 299-340.
- Rafati, M., Khorasani, N., Moattar, F., Shirvany, A., Moraghebi, F. & Hosseinzadeh, S. 2011. Phytoremediation potential of *Populus alba* and *Morus alba* for cadmium, chromium and nickel absorption from polluted soil. *International Journal of Environmental Research*, 5(4), 961-970.
- Saeed, A. & Iqbal, M. 2003. Bioremoval of cadmium from aqueous solution by black gram husk (*Cicer arietinum*). *Water Research*, 37(14), 3472-3480.
- Shah, K. & Nongkynrih, J. 2007. Metal hyperaccumulation and bioremediation. *Biologia Plantarum*, 51(4), 618-634.
- Singh, O., Labana, S., Pandey, G., Budhiraja, R. & Jain, R. 2003. Phytoremediation: an overview of metallic ion decontamination from soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61(5-6), 405-412.
- Thangavel, P. & Subbhuraam, C. 2004. Phytoextraction: role of hyperaccumulators in metal contaminated soils. *Proceedings-Indian National Science Academy Part B*, 70(1), 109-130.
- Vara Prasad, M. N. & De Oliveira Freitas, H. M. 2003. Metal hyperaccumulation in plants: biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 6(3), 285-321.
- Ward, O. P. & Singh, A. 2004. Soil bioremediation and phytoremediation—An overview. In: *Applied bioremediation and phytoremediation*. Berlin, Heidelberg. 1-12.
- Yang, X., Long, X., Ye, H., He, Z., Calvert, D. & Stoffella, P. 2004. Cadmium tolerance and hyperaccumulation in a new Zn-hyperaccumulating plant species (*Sedum alfredii* Hance). *Plant and Soil*, 259(1-2), 181-189.
- Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q. & Ma, L. Q. 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment*, 368(2-3), 456-464.

