

Journal of Water and Wastewater, Vol. 32, No. 4, pp: 67-78

Study of the Efficiency of Removal of Lead and Nickel Metals from Effluent Using Two Species of *Latifolica* and *Polygonum Aviculare* (Case Study: West Ahwaz Wastewater Treatment Plant)

M. Moteraghi^{1,2}, Kh. Payandeh³

1. Dept. of Environmental Engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
2. Dept. of Environmental Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
3. Dept. of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
(Corresponding Author) Payandeh426@gmail.com

(Received June 26, 2020 Accepted March 8, 2021)

To cite this article:

Moteraghi, M., Payandeh, Kh., 2021. "Study of the efficiency of removal of lead and nickel metals from effluent using two species of *latifolica* and *polygonum aviculare* (case study: west Ahwaz wastewater treatment plant)" Journal of Water and Wastewater, 32(4), 67-78. Doi: 10.22093/wwj.2021.236815.3040. (In Persian)

Abstract

Due to the water shortage crisis, the reuse of municipal wastewater is essential. Planting plants in the wastewater treatment process is appropriate and can help to reduce and eliminate pollution in urban and rural wastewater. This study aimed to determine the phytoremediation of lead and nickel from Ahwaz wastewater treatment plant. In this study, a completely randomized design with 4 treatments and 3 replications was used, and the laboratory activities were performed in the soil laboratory of Islamic Azad University, Ahvaz Branch. Heavy metals were measured by atomic absorption method and PG Instruments Ltd. The average amount of lead and nickel in the effluent of Ahvaz was 96.35 and 102.57 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The amount of lead metal in the studied treatments was 17.85-96.86 ppb, and nickel content was 18.91- 102.87 ppb. In this study, the percentage of the Lewis plant's removal of lead and nickel was 62.66% and 70.18%, respectively. Also, the removal efficiency of the studied parameters by the seven herbaceous plants was 29.26% and 44.22%, respectively. The amount of nickel adsorbed by plants was higher than that of lead metal. The removal efficiency of lead and nickel metals from municipal effluent obtained by *Typha Latifolica* was higher than *Polygonum aviculare*. In total, *Typha Latifolica* and *Polygonum aviculare* plants had the ability to purify lead and nickel metals from urban effluents so that the amounts of these metals were reduced in the second and fourth treatments within 90 days.

Keywords: Nickel, Lead, *Typha Latifolica*, *Polygonum Aviculare*, Municipal Wastewater, Wastewater Treatment Plant.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۲، شماره ۴، صفحه: ۶۷-۷۸

مطالعه کارایی حذف فلزات سرب و نیکل از پساب با استفاده از دو گونه

گیاه لویی و علف هفت‌بند

(مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز)

مهناز مترقی^{۱،۲}، خوشناز پاینده^۳

۱- گروه مهندسی محیط‌زیست، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان،

دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه مهندسی محیط‌زیست، واحد اهواز،

دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- گروه خاک‌شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

Payandeh426@gmail.com (نویسنده مسئول)

پذیرش ۹۹/۱۲/۱۸

(دریافت ۹۹/۴/۶)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

مترقی، م، پاینده، خ، ۱۴۰۰، "مطالعه کارایی حذف فلزات سرب و نیکل از پساب با استفاده از دو گونه گیاه لویی و علف هفت‌بند

Doi: 10.22093/wwj.2021.236815.3040. ۶۷-۷۸، (۴)۳۲، مجله آب و فاضلاب، (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب غرب اهواز)

چکیده

با توجه به بحران کمبود آب استفاده مجدد از پساب شهری بسیار مهم و ضروری است. استفاده از گیاهان در فرایند تصفیه فاضلاب مناسب است و می‌تواند در کاهش و حذف آلودگی موجود در فاضلاب‌های شهری و روستایی کمک شایانی کند. این پژوهش در سال ۱۳۹۷ با هدف گیاه پالایی لویی و علف هفت‌بند در حذف فلزات سرب و نیکل از پساب تصفیه‌خانه شهر اهواز انجام شد. در این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی در قالب ۴ تیمار و ۳ تکرار استفاده شد و مراحل فعالیت‌های آزمایشگاهی در آزمایشگاه خاک‌شناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام شد. عناصر سنگین به روش جذب اتمی به کمک دستگاه PG Instruments Limited سنجش شدند. میانگین میزان سرب و نیکل در پساب شهر اهواز ۹۶/۳۵ و ۱۰۲/۵۷ میکروگرم در لیتر بود. میزان فلز سرب در تیمارهای بررسی شده در دامنه ۱۷/۸۵ تا ۹۶/۸۵ میکروگرم در لیتر و مقدار نیکل ۱۸/۹۱ تا ۱۰۲/۸۷ میکروگرم در لیتر به دست آمد. در این پژوهش در تیمار چهارم در زمان ماند ۹۰، درصد حذف سرب و نیکل به وسیله گیاه لویی به ترتیب ۶۲/۶۶ و ۷۰/۱۸ درصد به دست آمد. همچنین کارایی حذف پارامترهای مورد بررسی به وسیله گیاه علف هفت‌بند نیز به ترتیب ۲۹/۲۶ و ۴۴/۲۲ درصد بود. مقدار جذب نیکل به وسیله گیاهان بالاتر از جذب فلز سرب بود. کارایی حذف فلزات سرب ۶۲/۶۶ و نیکل ۷۰/۱۸ از پساب شهری به وسیله گیاه لویی بیشتر از گیاه علف هفت‌بند به دست آمد. در مجموع گیاهان لویی و علف هفت‌بند توانایی گیاه پالایی فلزات سرب و نیکل را از پساب شهری داشتند، به طوری که مقدار این فلزات طی ۹۰ روز زمان ماند در تیمار دوم و چهارم کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: نیکل، سرب، لویی، علف هفت‌بند، پساب شهری، تصفیه‌خانه فاضلاب

۱- مقدمه

اکولوژیکی محیط، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و بروز بیماری‌های حاد و مزمن می‌شود (Sumathi and Vasudevan, 2018, Salehzadeh and Rezaie, 2017)

با رشد روزافزون جمعیت و پیشرفت و گسترش صنایع، مصرف آب و به دنبال آن تولید فاضلاب به طور چشمگیری افزایش یافته است. تخلیه فاضلاب به محیط‌زیست سبب تخریب بیولوژیکی و



به طور کلی گیاهان در تصفیه محیط زیست شش فرایند اصلی را به کار می‌برند که عبارتند از استخراج گیاهی^۲، تثبیت گیاهی^۳، تغییر شکل گیاهی، فیتواستیمولیشن^۴ یا تجمع در محیط ریزوسفری گیاه توسط فعالیت میکروب‌های خاک، تبخیر گیاهی^۵ و ریزو فیلتراسیون^۶ که فیلتر کردن آب از توده ریشه‌ها توسط گیاه است (Sukumaran, 2013, Chanu and Gupta, 2016).

اصلی‌ترین عامل ایجاد نگرانی در فاضلاب شهری حضور فلزات سنگین از جمله آرسنیک، کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و مس در آن است (Zhang et al., 2013).

غلظت زیاد این فلزات سنگین می‌تواند سبب آلودگی خاک، گیاه، آب‌های زیرزمینی و چرخه غذایی انسان شود. در نتیجه تخلیه حجم زیادی از فاضلاب‌های حاوی فلزات سنگین که از صنایعی مانند صنایع آبکاری منشا می‌گیرند، این فلزات وارد محیط شده و اثرات مخربی برای محیط زیست دارند (Kumari and Tripathi, 2015, Ali et al., 2013).

علف هفت‌بند^۷ در اکثر نواحی آسیا، اروپا، آفریقا و آمریکا می‌روید و در مقابل عوامل خارجی بسیار مقاوم است. گیاهی است یک ساله و ساقه خوابیده دارد که طول آن به ۵۰ سانتی‌متر می‌رسد. برگ‌های آن ریز، نوک تیز و گل‌های آن ریز و کوچک به رنگ صورتی هستند (Khosravi and Poormahdi, 2008).

گیاه لویی در مناطق تالابی، باتلاقی، حاشیه رودخانه‌های مناطق گرم و حاره‌ای رشد می‌کند و اغلب به صورت کلونی و مترامک در اکوسیستم‌های آبی مشاهده می‌شود. لویی گیاهی چند ساله با میوه‌های استوانه‌ای مخمل مانند به رنگ قهوه‌ای و خرمایی است که ساقه‌ای بلند و عمودی دارد که انتهای آن به دو شاتون تراکم استوانه‌ای شکل متصل می‌شود که در حقیقت گل‌های آن هستند (Abdulkhani and Abboud, 2015).

نیکل و سرب یکی از مهم‌ترین فلزات سنگین و بسیار خطرناک هستند، زیرا غلظت آن به سرعت در خاک مناطق مختلف در حال افزایش است (Eskandari et al., 2017, El-Khatib et al., 2014).

مشکلات ناشی از فاضلاب‌های شهری و صنعتی برای جوامع بشری از دیرباز یک چالش بوده است. روش‌های متداول تصفیه فاضلاب شهری، مصرف انرژی زیاد، بالا بودن هزینه‌های ساخت و بهره‌برداری، نیاز به بهره‌برداری پیچیده، نیاز به تصفیه و دفع لجن و استفاده از سیستم‌های مکانیزه مهم‌ترین مشکلات صنعت تصفیه فاضلاب هستند (Leiviskä et al., 2017, Yadav et al., 2015).

استفاده از پساب شهری زمانی به‌عنوان یک منبع آلودگی تلقی می‌شد، اما هم‌اکنون به‌عنوان منبعی سرشار از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه سابقه طولانی دارد (Haritash et al., 2015) و از دو نظر حائز اهمیت است: اول از نظر کنترل آلودگی‌های آن، عدم‌رهاسازی آن در رودخانه‌ها و حفظ محیط زیست و دوم از نظر مواد غذایی موجود در فاضلاب‌ها که برای گیاهان بسیار سودمند است (Zeng et al., 2016). با توجه به اینکه مقدار آلاینده‌های محیط زیست و مشکل آلودگی آنها با سرعت بیشتری در حال گسترش است، باید قبل از آلوده شدن محیط پیشگیری و از انتشار آلودگی ممانعت کرد (Mulkeen et al., 2017).

در اکثر مواقع رفع آلودگی از محیط، سخت‌تر و غیراقتصادی‌تر از حفظ محیط زیست در مقابل آلوده شدن است و این خود لزوم استفاده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب را گوشزد می‌کند. این مسئله موجب شده تا دانشمندان از طریق روش‌های مختلف بار آلودگی پساب وارد شده به محیط را کاهش دهند (Syukor et al., 2016). تصفیه فاضلاب با استفاده از گیاهان یکی از فناوری‌های مناسب برای تصفیه فاضلاب‌های شهری، خانگی و صنعتی است (Bawiec, 2019).

یکی از راهکارهای مهم و اساسی در تصفیه فاضلاب شهری استفاده از فرایند گیاه پالایی^۱ است. گیاه پالایی یا تصفیه‌زیستی فاضلاب‌ها به وسیله گیاهان به‌عنوان یک روش بهبود و مؤثر برای منابع آبی به‌سرعت در حال گسترش است (Sehar et al., 2015). گیاه پالایی ابزاری قابل اطمینان برای از بین بردن آلاینده‌هایی مانند مواد مغذی و فلزات سنگین موجود در پساب هستند و می‌توانند از عوارض جانبی سلامتی بر زیست توده‌های آبی و مصرف‌کنندگان بالاتر در زنجیره غذایی جلوگیری کنند (Liu et al., 2018).

^۱ Phytoremediation

^۲ Phyto Extraction

^۳ Phyto Stabilization

^۴ Phyto Stimulation

^۵ Phyto Volatilization

^۶ Rhizo Filtration

^۷ Polygonum Aviculare



انجام شد. همچنین با توجه به افزایش آلودگی منابع آبی و اهمیت تصفیه بهداشتی آب و نقش مصرف آب آشامیدنی در سلامت انسان پایش دوره‌ای و مستمر برای کاهش یا حذف پارامترهای شیمیایی و فیزیکی به کمک روش های زیستی مانند گیاهان ضروری است.

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از گیاهان لویی و علف هفت‌بند بر اساس سازگاری با آب و هوای منطقه گرمسیری استان خوزستان، به‌عنوان گونه‌های مورد بررسی انتخاب شدند. گیاهان لویی و علف هفت‌بند از تالاب شادگان و رودخانه دز در استان خوزستان، به‌صورت جوان و بالغ تمام ساقه به همراه اندام‌های زیرزمینی به نحوی برداشت شدند که به اندام‌های هوایی و زیرزمینی آنها آسیب وارد نشد. سپس در کیسه‌های پلاستیکی و داخل یخچال‌های یونولیتی در محیط اشباع از آب نگهداری شده و سریع به آزمایشگاه منتقل شدند. پس از انتقال، گیاهان به مدت دو هفته برای سازگاری با محیط در یک مخزن بزرگ حاوی آب و مواد مغذی نگهداری شدند.

برای انجام آزمایش‌ها این پژوهش از طرح کاملاً تصادفی در قالب ۴ تیمار و ۳ تکرار استفاده شد و مراحل فعالیت‌های آزمایشگاهی در آزمایشگاه خاکشناسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز در سال ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی عبارتند از: تیمار اول (تیمار شاهد): پساب اولیه بدون گیاه؛ تیمار دوم: پساب اولیه همراه با گیاه؛ تیمار سوم: پساب رقیق شده با درجه رقت ۱/۲ بدون گیاه؛ تیمار چهارم: پساب رقیق شده با درجه رقت ۱/۲ همراه با گیاه (Samimi Loghmani and Abbaspour, 2014).

برای انجام این پژوهش از ۲۴ عدد ظرف پلاستیکی استفاده شد که در هر ظرف ۷ عدد گیاه لویی و ۷ عدد گیاه علف هفت‌بند قرار داده شد. برای مطابقت با شرایط طبیعی از شن الک شده در اندازه‌های ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر که با آب معمولی و در نهایت با آب مقطر شسته شده، به‌عنوان بستر کشت به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر در ظروف استفاده شد. سپس در نیمی از پایلوت‌ها پساب اولیه و در بقیه آنها پساب رقیق شده با آب مقطر (درجه رقت ۱/۲) به حجم ۷ لیتر به‌عنوان دو محیط کشت مختلف ریخته شد. پس از آن از پساب اولیه و رقیق شده در تعدادی از پایلوت‌ها نمونه‌گیری شد و عناصر سرب و نیکل آنالیز شدند (Samimi Loghmani and Abbaspour, 2014).

نیکل به سرعت توسط سیستم ریشه گیاه جذب می‌شود و بسیاری از فعالیت‌های آنزیمی را با غلظت بسیار کم تحریک کرده که در نهایت از جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه در گونه‌های مختلف گیاه جلوگیری می‌کند (Naghipour et al., 2018).

فلز سرب نیمه عمر بیولوژیکی طولانی دارد که به‌همین دلیل به‌صورت گسترده محیط‌زیست را آلوده می‌کند و بسیار پایدار است که سمیت آن تهدیدی جدی است. سرب هیچ عملکردی در بدن انسان ندارد و اثرات سمی آن بر سیستم عصبی، سیستم تولیدمثلی و کلیه‌های انسان تأثیر می‌گذارد (Singh et al., 2013).

ارزیابی توانایی گیاه نی^۱ در جذب سرب و نیکل از فاضلاب کشتارگاه مرغ نشان داد غلظت سرب و نیکل به‌طور جداگانه در ریشه، ساقه و برگ گیاه نی در فاصله ۵۰ و ۱۰۰ متری پایین دست نقطه تخلیه شناسایی شدند. جذب سرب و نیکل به‌ترتیب در ریشه <برگ> ساقه مشاهده شد. در نتیجه گزارش شد که گیاه نی توانایی جذب سرب و نیکل را دارد (Topal and Arslan Topal, 2020).

در پژوهش‌های دیگر نیز گیاه پالایی فلزات سنگین نیکل، کادمیوم و جیوه به‌وسیله گیاهان نیلوفر آبی و نخل مرداب (Hoseini and Hojjati, 2019)، گیاه ریحان (Hashemzadeh et al., 2020) و صنوبر دلتوئیدس (Jokar et al., 2017) نیز گزارش شده است.

در پژوهش دیگری بیان شده است که گیاهان آبزی *Eichhornia crassipes*، *Pistia stratiotes* و *Lemna minor* نیز برای کاهش و حذف آلاینده‌های آلی و معدنی فلزی کارایی زیادی دارند (Ali et al., 2020). بنابراین باید توجه داشت که پتانسیل گیاه پالایی گیاهان را می‌توان با استفاده از رویکردهای نوآورانه در گیاهان مقاوم به جذب فلزات سنگین افزایش داد.

بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده، در زمینه بررسی عملکرد و ارزیابی گیاهان عالی و گیاهان آبزی و نیمه‌آبزی در تصفیه فاضلاب شهری و روستایی پژوهش‌های متعددی انجام شده است که مقالات و گزارشات آنها در مجلات و سازمان‌های ذی‌ربط موجود است، اما این پژوهش برای اولین بار در زمینه بررسی عملکرد گیاهان آبزی لویی^۲ و علف هفت‌بند^۳ در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر اهواز

¹ *Phragmites Australis*
² *Typha Latifolia*
³ *Polygonum Aviculare*



تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS24 انجام شد و میانگین تیمارها به کمک آنالیز واریانس یک‌طرفه^۱ و آزمون تی^۲ با یکدیگر مقایسه شدند که وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ($P=0/05$) تعیین شد. نرمال بودن و همگن بودن داده‌ها به کمک آزمون شاپیرو-ولک انجام شد. برای رسم نمودارها و جداول از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک آزمون شاپیرو-ولک داده‌های مربوط به فلز سرب در تیمارهای مختلف پساب، گیاهان لویی و علف هفت‌بند نرمال بودند. مقدار چولگی و کشیدگی نرمال بودن داده‌ها به ترتیب $0/598-$ و $1/251$ به دست آمد. میانگین میزان سرب و نیکل در پساب شهر اهواز $96/35$ و $102/57$ میکروگرم در لیتر بود. مقدار سرب در تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم گیاه لویی در زمان ماند 15 ، 30 ، 45 ، 60 ، 75 و 90 اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت ($P<0/05$)، اما در زمان ماند صفر بین تیمارهای اول با دوم و سوم با چهارم اختلاف معنی‌داری نداشت ($P>0/05$). بیشترین و کمترین مقدار فلز سرب به ترتیب در تیمار اول و دوم در زمان ماند صفر ($96/35 \pm 1/63$) میکروگرم در لیتر) و در تیمار چهارم در زمان ماند 90 ($17/85 \pm 1/72$) میکروگرم در لیتر) به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده گیاه لویی در تیمارهای دوم و چهارم بر مقدار فلز سرب تاثیر داشته و طی زمان ماندهای مورد بررسی طی 90 روز نوسانات زیادی داشته است، اما در نهایت طی 90 روز زمان ماند سبب کاهش این پارامتر شده است. مقدار فلز سرب در همه تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم بین زمان ماند صفر، 15 ، 30 ، 45 ، 60 ، 75 و 90 اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد ($P<0/05$) و در همه تیمارها و زمان ماندها اختلاف معنی‌داری وجود داشت ($P<0/05$) (جدول ۱).

مقدار سرب در تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم گیاه علف هفت‌بند در زمان ماند 15 ، 30 ، 45 ، 60 ، 75 و 90 اختلاف معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت ($P<0/05$)، اما در زمان ماند صفر بین تیمارهای اول با دوم و سوم با چهارم اختلاف معنی‌داری

پساب استفاده شده در همان روز شروع آزمایش از تصفیه‌خانه غرب اهواز به محل آزمایشگاه انتقال داده شد. گیاهان لویی و علف هفت‌بند پس از شستشو با آب مقطر و قرار گرفتن در صافی برای از دست دادن رطوبت اضافی در وزن‌های 73 و 17 گرم وزن تر درون پایلوت‌ها کشت شدند و از 3 پایلوت در هر حالت پساب بدون کشت گیاه به عنوان شاهد استفاده شد و از شرایط نور طبیعی در آزمایشگاه برای رشد گیاهان استفاده شد. همچنین برای جبران مقدار آب تبخیر شده سطح آب علامت‌گذاری شد و روزانه مقداری آب مقطر به پایلوت‌ها اضافه شد و هفته‌ای یک بار به‌طور مشابه با پساب تصفیه‌خانه غرب اهواز آبیاری شدند.

نمونه‌های پساب از زیر سطح آب در فواصل 15 روز در دوره 90 روزه آزمایش برداشت شده و سپس در آزمایشگاه آنالیز شدند (Jampeetong et al., 2012).

عناصر سنگین به روش جذب اتمی و دستگاه PG Instruments Limited مدل AA500PCAFG ساخت کشور انگلستان سنجش شدند. برای اندازه‌گیری عناصر سرب و نیکل ابتدا به 10 میلی‌لیتر محلول هضم شده نمونه‌ها، 5 میلی‌لیتر محلول آمونیوم پیرولیدین کاربامات 5 درصد اضافه شده و به مدت 20 دقیقه نمونه‌ها به هم زده شدند تا عناصر به صورت فرم آلی فلزی در محلول کمپلکس شوند و سپس به نمونه‌ها 2 میلی‌لیتر متیل ایزوبوتیل کتون اضافه شد و به مدت 30 دقیقه نمونه‌ها هم زده شدند و پس از 10 دقیقه نمونه‌ها در دور 2500 در دقیقه سانتریفوژ شدند و عناصر مورد نظر به فاز آلی منتقل شدند. پس از تنظیم کوره و سیستم EDL دستگاه و اپتیم کردن دستگاه جذب اتمی منحنی کالیبراسیون این عناصر به کمک استانداردهای این عناصر و مادیریکس مودیفایر پلادیم توسط نرم‌افزار Win Lab 32 رسم شد و مقدار این عناصر در محلول‌های آماده شده اندازه‌گیری شد. بازده حذف پارامترها با استفاده از معادله زیر به دست آمد (Khoshnavaz, 2017)

$$R = 1 - C_e \div C_i \times 100 \quad (1)$$

که در آن

C_e مقدار پارامتر خروجی و C_i مقدار پارامتر ورودی است.

¹ ANOVA One Way

² T- test



جدول ۱- مقدار فلز سرب (میکروگرم در لیتر) در تیمارهای مختلف پساب و رشد گیاه لویی

Table 1. Concentration of lead (ppb) in different treatments of wastewater and growth of *Typha Latifolica*

Time remained (day)	T1	T2	T3	T4
0	96.35±1.63 ^a	96.35±1.63 ^a	47.81±1.26 ^b	47.81±1.26 ^b
15	93.61±1.74 ^a	69.22±3.48 ^b	41.79±1.24 ^c	29.35±1.55 ^d
30	90.41±2.29 ^a	54.36±1.88 ^b	39.65±1.54 ^c	28.96±2.72 ^d
45	86.76±2.16 ^a	53.53±1.48 ^b	38.52±2.91 ^c	25.13±3.65 ^d
60	86±3.55 ^a	51.39±1.56 ^b	35.23±1.16 ^c	23±1.33 ^d
75	84.39±1.15 ^a	40±1.39 ^b	33±2.12 ^c	20.50±1.86 ^d
90	84.03±2.75 ^a	40±2.22 ^b	32.78±1.94 ^c	17.85±1.72 ^d

T1 (control treatment): wastewater without plants, T2: wastewater with plants, T3: wastewater with a dilution of 1.2 without plants, T4: wastewater with a dilution of 1.2 with plants. Non-identical letters (a, b, c, d) in each row show a significant difference (P < 0.05).

جدول ۲- مقدار فلز سرب (میکروگرم در لیتر) در تیمارهای مختلف پساب و رشد گیاه علف هفت بند

Table 2. Concentration of lead (ppb) in different treatments of wastewater and growth of *Polygonum Aviculare*

Time remained (day)	T1	T2	T3	T4
0	96.35±1.63 ^a	96.85±1.78 ^a	78.81±2.10 ^b	78.81±2.10 ^b
15	93.61±1.74 ^a	88.61±2.28 ^b	75.17±1.56 ^c	72.61±3.64 ^d
30	90.41±2.29 ^a	83.24±1.69 ^b	71.25±1.98 ^c	70.54±3.34 ^d
45	86.76±2.16 ^a	80.65±1.66 ^b	70.23±1.06 ^c	64.25±2.85 ^d
60	86±3.55 ^a	77.46±2.60 ^b	68.87±1.32 ^c	64.43±2.90 ^d
75	84.39±1.15 ^a	74.92±1.91 ^b	68.68±1.14 ^c	61.19±1.47 ^d
90	84.03±2.75 ^a	70.35±1.78 ^b	65.07±1.76 ^c	55.75±1.50 ^d

T1 (control treatment): wastewater without plants, T2: wastewater with plants, T3: wastewater with a dilution of 1.2 without plants, T4: wastewater with a dilution of 1.2 with plants. Non-identical letters (a, b, c, d) in each row show a significant difference (P < 0.05).

لویی و علف هفت بند نرمال بودند. مقدار چولگی و کشیدگی نرمال بودن داده‌ها به ترتیب ۰/۶۸۸- و ۱/۷۱۴- به دست آمد. مقدار نیکل در تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم گیاه لویی در زمان ماند ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد داشت (P < ۰/۰۵)، اما در زمان ماند صفر بین تیمارهای اول با دوم و سوم با چهارم اختلاف معنی داری نداشت (P > ۰/۰۵). بیشترین کمترین مقدار فلز نیکل به ترتیب در تیمار اول و دوم در زمان ماند صفر (۱۰۲/۵۷±۲/۸۲ میکروگرم در لیتر) و در تیمار چهارم در زمان ماند ۹۰ (۱۸/۹۱±۱/۲۷ میکروگرم در لیتر) به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده گیاه علف هفت بند در تیمارهای دوم و چهارم بر مقدار فلز سرب تأثیر داشته و طی زمان ماندهای مورد بررسی طی ۹۰ روز نوسانات زیادی داشته است، اما در نهایت طی ۹۰ روز زمان ماند سبب کاهش این پارامتر شده است. مقدار فلز سرب در همه تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم بین زمان

نداشت (P > ۰/۰۵)، بیشترین و کمترین مقدار فلز سرب به ترتیب در تیمار دوم در زمان ماند صفر (۹۶/۸۵±۱/۷۸ میکروگرم در لیتر) و در تیمار چهارم در زمان ماند ۹۰ (۵۵/۷۵±۱/۴۷ میکروگرم در لیتر) به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده گیاه لویی در تیمارهای دوم و چهارم بر مقدار فلز نیکل تأثیر داشته و طی زمان ماندهای مورد بررسی طی ۹۰ روز نوسانات زیادی داشته است، اما در نهایت طی ۹۰ روز زمان ماند سبب کاهش این پارامتر شده است. مقدار فلز نیکل در همه تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم بین زمان ماند صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد (P < ۰/۰۵) و در همه تیمارها و زمان ماندها اختلاف معنی داری وجود داشت (P < ۰/۰۵) (جدول ۲).

بر اساس تجزیه و تحلیل داده‌ها به کمک آزمون شاپیرو - ویلیک داده‌های مربوط به فلز نیکل در تیمارهای مختلف پساب، گیاهان



زیادی داشته است، اما در نهایت طی ۹۰ روز زمان ماند سبب کاهش این پارامتر شده است. مقدار فلز نیکل در همه تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم بین زمان ماند صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد ($P < 0.05$) و در همه تیمارها و زمان ماندها اختلاف معنی داری وجود داشت ($P < 0.05$) (جدول ۴).

در این پژوهش در تیمار چهارم در زمان ماند ۹۰، درصد حذف سرب و نیکل به وسیله گیاه لویی به ترتیب ۶۲/۶۶ و ۷۰/۱۸ درصد به دست آمد. همچنین کارایی حذف پارامترهای مورد بررسی به وسیله گیاه علف هفت بند نیز به ترتیب ۲۹/۲۶ و ۴۴/۲۲ درصد بود (شکل ۱). این پارامتر توسط دو گونه گیاه مورد بررسی به خوبی جذب شده و از پساب شهری کاهش یافته است و در مجموع طی ۹۰ روز زمان ماند در تیمار دوم و چهارم کاهش وجود داشته است.

ماند صفر، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد ($P < 0.05$) و در همه تیمارها و زمان ماندها اختلاف معنی داری وجود داشت ($P < 0.05$) (جدول ۳).

مقدار نیکل در تیمارهای اول، دوم، سوم و چهارم گیاه علف هفت بند در زمان ماند ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ اختلاف معنی داری در سطح ۵ درصد داشت ($P < 0.05$)، اما در زمان ماند صفر بین تیمارهای اول با دوم و سوم با چهارم اختلاف معنی داری نداشت ($P > 0.05$). بیشترین و کمترین مقدار فلز نیکل به ترتیب در تیمار دوم در زمان ماند صفر (102.57 ± 2.82 میکروگرم در لیتر) و در تیمار چهارم در زمان ماند ۹۰ (30.18 ± 1.60 میکروگرم در لیتر) به دست آمد. بر اساس نتایج به دست آمده گیاه علف هفت بند در تیمارهای دوم و چهارم بر مقدار فلز نیکل تأثیر داشته و طی زمان ماندهای مورد بررسی طی ۹۰ روز نوسانات

جدول ۳- مقدار فلز نیکل (میکروگرم در لیتر) در تیمارهای مختلف پساب و رشد گیاه لویی

Table 3. Concentration of Nickel (ppb) in different treatments of wastewater and growth of *Typha Latifolica*

Time remained (day)	T1	T2	T3	T4
0	102.57±2.82 ^a	102.57±1.63 ^a	63.42±1.93 ^b	63.42±1.93 ^b
15	97±1.58 ^a	77.25±1.31 ^b	50.65±2.76 ^c	40.83±1.45 ^d
30	91.27±1.38 ^a	62.43±1.46 ^b	50.23±2.03 ^c	36.25±1.29 ^d
45	85.42±1.29 ^a	58.27±1.28 ^b	49.79±1.55 ^c	35.65±1.99 ^d
60	68.91±1.65 ^a	58±1.72 ^b	48±1.49 ^c	31.47±1.53 ^d
75	76.39±1.39 ^a	40.26±1.05 ^b	43.55±1.20 ^c	26±1.67 ^d
90	59.31±1.65 ^a	30.18±1.60 ^b	38.92±1.87 ^c	18.91±1.27 ^d

T1 (control treatment): wastewater without plants, T2: wastewater with plants, T3: wastewater with a dilution of 1.2 without plants, T4: wastewater with a dilution of 1.2 with plants. Non-identical letters (a, b, c, d) in each row show a significant difference ($P < 0.05$).

جدول ۴- مقدار فلز نیکل (میکروگرم در لیتر) در تیمارهای مختلف پساب و رشد گیاه علف هفت بند

Table 4. Concentration of Nickel (ppb) in different treatments of wastewater and growth of *Polygonum aviculare*

Time remained (day)	T1	T2	T3	T4
0	102.57±2.82 ^a	102.57±1.63 ^a	95.31±1.46 ^b	95.02±1.49 ^b
15	97±1.58 ^a	89.61±2.20 ^b	84.78±1.32 ^c	81.30±2.76 ^d
30	91.27±1.38 ^a	86.24±2.70 ^b	80.87±1.15 ^c	78.59±1.30 ^d
45	85.42±1.29 ^a	81.90±1.12 ^b	78.18±2.16 ^c	75.93±1.64 ^d
60	68.91±1.65 ^a	77.86±1.98 ^b	72.64±1.56 ^c	72.83±1.34 ^d
75	76.39±1.39 ^a	74.45±1.58 ^b	68.14±2.44 ^c	68.53±1.67 ^d
90	59.31±1.65 ^a	60±2.13 ^b	55.10±1.85 ^c	53.10±1.57 ^d

T1 (control treatment): wastewater without plants, T2: wastewater with plants, T3: wastewater with a dilution of 1.2 without plants, T4: wastewater with a dilution of 1.2 with plants. Non-identical letters (a, b, c, d) in each row show a significant difference ($P < 0.05$).



آمد. آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، سازمان بهداشت جهانی، سازمان غذا و کشاورزی جهانی و سازمان محیط‌زیست ایران استاندارد مقدار نیکل فاضلاب تصفیه شده برای استفاده آب برای کاربری کشاورزی به ترتیب ۲/۰، ۲/۰، ۲/۰ و ۲ میلی‌گرم در لیتر تعیین کردند (Bahrami et al., 2015). نتایج این پژوهش در مقایسه با آستانه مجاز آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، سازمان بهداشت جهانی، سازمان غذا و کشاورزی جهانی و حد مجاز سازمان محیط‌زیست ایران کمتر به دست آمد. پرینیان و همکاران در سال ۱۳۹۰ در پژوهشی نشان دادند که علف شاخی^۲ توانایی حذف فلز نیکل را از فاضلاب شهری دارد و بررسی پتانسیل آن در مورد پساب‌های صنعتی پیشنهاد می‌شود (Parneyan et al., 2011).

همچنین در پژوهشی مقدار تجمع یافته فلز نیکل در گیاه لویی بین ۹/۶ تا ۱۵/۹۵ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است (Abdulkhani and Abboud, 2015) که این پژوهش‌ها، نتایج این پژوهش را تأیید می‌کنند. گیاه علف هفت‌بند^۳ نیز توانایی جذب و تجمع فلزات سنگین را دارد (Roomiani et al., 2015). تاکنون برای حذف فلزات سنگین از آب‌های آلوده بسیاری از انواع گونه‌های گیاهی فراانباشت شناسایی و معرفی شده است. به‌طوری که تاکنون ۱۶۳ گونه گیاهی متعلق به ۴۵ خانواده با توانایی رشد بر روی غلظت‌های زیاد فلزات شناسایی شده‌اند، اما بیشتر این گونه‌های گیاهی متعلق به گروه گیاهان خوراکی و مرتعی هستند که احتمال وارد شدن به زنجیره غذایی انسان، حیوانات و تهدید سلامتی بشر را به دنبال دارد. از نمونه گیاهان خوراکی استفاده شده به‌منظور حذف سرب، ذرت، آفتاب‌گردان و پنبه است که از بین آنها ذرت توانست مقدار بیشتری از عنصر را در اندام‌های خود انباشت کند (Ghaneeyan, 2004, Ghosh and Singh, 2005) میانگین غلظت فلز سرب در گیاه لویی بین ۵۳۵۰ تا ۵۳۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک گزارش شده است (Abdulkhani et al., 2015) که نشان‌دهنده جذب و تجمع فلز سرب توسط گیاه لویی است که نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند. همچنین گیاه نیلوفر آبی^۴ نیز توانایی حذف فلز سرب را از فاضلاب دارد (Moattar et al., 2011).

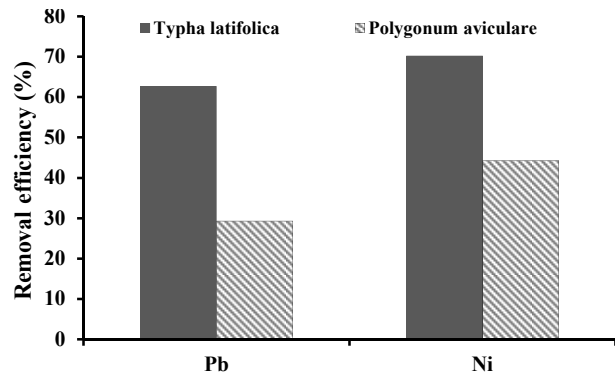


Fig. 1. Percentage removal of Pb and Ni from wastewater after 90 days by *Typha Latifolica* and *Polygonum Aviculare*

شکل ۱- درصد حذف فلزات سرب و نیکل از پساب شهری پس از ۹۰ روز به وسیله گیاه لویی و علف هفت‌بند

کارایی حذف سرب توسط گیاه جگن^۱ ۴۲ تا ۴۷ درصد گزارش شده است (Sayadi, 2017).

بسیاری از پژوهش‌ها حذف فلزات سنگین توسط گیاهان را گزارش کردند (Topal and Arslan Topal, 2020, Ali et al., 2020).

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه لویی در حذف فلز سرب توانایی دارد که پژوهش‌ها بر روی سایر گیاهان نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند (Sayadi and Kargar, 2014, Taheri et al., 2015).

میانگین مقدار سرب در تیمارهای مورد بررسی پساب و گیاهان در دامنه ۱۷/۸۵ تا ۹۶/۸۵ میکروگرم در لیتر به دست آمد. آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، سازمان بهداشت جهانی، سازمان غذا و کشاورزی جهانی و سازمان محیط‌زیست ایران استاندارد مقدار سرب فاضلاب تصفیه شده برای استفاده آب برای کاربری کشاورزی به ترتیب ۵، ۵، ۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر تعیین کردند (Bahrami et al., 2015).

نتایج این پژوهش در مقایسه با آستانه مجاز آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، سازمان بهداشت جهانی، سازمان غذا و کشاورزی جهانی و حد مجاز سازمان محیط‌زیست ایران کمتر به دست آمد. میانگین مقدار نیکل در تیمارهای مورد بررسی پساب و گیاهان در دامنه ۱۸/۹۱ تا ۱۰۲/۸۷ میکروگرم در لیتر به دست

^۱Carex Canescens

^۲ Ceratophyllum Demersum

^۳ Polygonum Hydropiper

^۴ Neamphaea Alba



در این پژوهش فرضیه این بود که گیاهان مورد بررسی به کارایی زیادی حذف آلودگی فلزات سنگین سرب و نیکل از پساب شهر اهواز خواهند رسید. پژوهش‌های مختلف نتایج کارایی حذف فلزات سرب و نیکل در این پژوهش را تأیید کرده‌اند (Parneyan et al., 2011, Salehzadeh and Rezaie, 2017, Wang et al., 2018, Hashemzadeh et al., 2020, Hamidian, 2016). کشت گیاهان برای از بین بردن و کنترل آلاینده‌های مختلف اعم از معدنی و آلی، بیش از دو دهه است که به‌طور گسترده در تصفیه‌خانه‌های پساب شهری و روستایی استفاده می‌شود. علاوه بر این بسیاری از گزارش‌ها حاکی از آن است که گیاهان مختلف آبی و نیمه آبی و گیاهان عالی باید به‌عنوان شاخص انباشت زیستی آلاینده‌های مختلف در نظر گرفته شوند، زیرا مقدار قابل توجهی از فلزات سرب، روی، مس، کادمیوم، نیکل، کروم و وانادیوم را در بافت خود جمع می‌کنند (Deng et al., 2004).

۴- نتیجه‌گیری

فلزات سرب و نیکل توسط دو گونه گیاه مورد بررسی به خوبی جذب شده و از فاضلاب شهری کاهش یافته است و در مجموع طی ۹۰ روز زمان ماند در تیمار دوم و چهارم کاهش وجود داشته است. فلزات سرب و نیکل در مقایسه با آستانه مجاز آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا، سازمان بهداشت جهانی، سازمان غذا و کشاورزی جهانی و حد مجاز سازمان محیط‌زیست ایران کمتر به دست آمد. کارایی حذف سرب، نیکل توسط گیاه لویی بیشتر از علف هفت‌بند به دست آمد. پیشنهاد می‌شود درصد کارایی حذف سایر فلزات سنگین مانند کادمیوم، مس، جیوه، کروم توسط گیاه علف هفت‌بند بررسی شود. همچنین عملکرد سایر گیاهان مقاوم بر تصفیه فاضلاب‌های شهری و روستایی و حذف فلزات سمی بررسی شوند. کارایی حذف فلزات سرب و نیکل از پساب شهری به وسیله گیاه لویی بیش از گیاه علف هفت‌بند به دست آمد.

۵- قدردانی

این پژوهش حاصل بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط‌زیست گرایش آب و فاضلاب دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز است که به‌این وسیله نویسندگان پژوهش از دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز کمال تشکر و قدردانی را دارند.

نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش زمان ماند تا ۹۰ روز برای گیاهان لویی و علف کارایی حذف فلزات سنگین را افزایش می‌دهد. پژوهش‌های دیگر نیز افزایش زمان ماند حضور گیاهان آبی و خوراکی را در حذف فلزات سنگین از فاضلاب تأیید می‌کنند (Kumar et al., 2006, Malakootian and Haratinezhad, 2013, Lim et al., 2012, Mousa et al., 2013).

نتایج نشان داد که مقدار نیکل در دو گونه گیاه لویی و علف هفت‌بند به ترتیب ۷۰/۱۸ و ۴۴/۲۲ درصد کارایی حذف در فاضلاب شهری را داشتند. این پارامتر توسط دو گونه گیاه مورد بررسی به خوبی جذب شده و از فاضلاب شهری کاهش یافته است و در مجموع طی ۹۰ روز زمان ماند در تیمار دوم و چهارم کاهش وجود داشته است. فاکتورهایی مانند شدت نور، میزان اکسیژن محلول و دما نقش مهمی در جذب فلزات سنگین دارند. انرژی ناشی از فتوسنتز و اکسیژن رها شده شرایط را برای جذب فعال عناصر مهیا می‌سازد. تعامل بین فلزات روندی پیچیده است که بستگی به غلظت فلزات و اسیدیته آب دارد (Meharg, 1994, Roomiani et al., 2015).

به نظر می‌رسد محدودیت زمانی این پژوهش سبب شد تا پارامترهایی مانند دما، نور و میزان اسیدیته تیمار نشوند و یکی از چالش‌های این پژوهش این مسئله بوده است.

سرخس آبی آزولا^۱ با درصد کارایی بیش از ۹۷ درصد در زمان ماند بهینه ۲۰ دقیقه قادر به حذف فلز نیکل به کمتر از حد مجاز تخلیه به محیط‌زیست است و به خوبی در صنعت قابل استفاده است. اگرچه کارایی حذف با افزایش زمان ماند تغییر چندانی نمی‌کند، به دلیل آن که سازوکار حذف، جذب سطحی به وسیله آزولا است، اما بهترین زمان ماند برای حذف فلزات سنگین توسط توده خشک آزولا زمان ماند ۲۰ دقیقه است، زیرا بیشترین ضریب اطمینان و نیز اختلاط را دارد (Rezai and Barkhordar, 2014). شایان ذکر است که این زمان ماند نیز در صنعت توصیه می‌شود، زیرا علاوه بر داشتن مزایای ذکر شده نیاز به افزایش بیش از حد حجم تانک‌ها نیست که سبب افزایش فضای اشغالی و هزینه‌ها شود (Raskin and Ensley, 2000, Landesman et al., 2010).

¹ *Azolla Filiculoides*



References

- Abdulkhani, R. & Abboud, J. 2015. Determination of nickel metal accumulation in *Typha Latifolia* (*Typha Latifolia*) and sediments in Shavoor River. 1st National Conference on Iranian Agricultural and Environmental Sciences, Ardabil, Iran. 1-5. (In Persian)
- Abdulkhani, R., Savari, A., Neysi, A. S. & Maroon, J. 2015. Determination of the role of *Typha Latifolia* and sediments in refining and bioaccumulation of lead metal in Shawor river in winter, spring, summer, and autumn. 3rd Conference on Environmental Planning and Management. Tehran, Iran. (In Persian)
- Ali, H., Khan, E. & Sajad, M. A. 2013. Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere*, 91, 869-881.
- Ali, S., Abbas, Z., Rizwan, M., Zaheer, I. E., Yavaş, İ., Ünay, A., et al. 2020. Application of floating aquatic plants in phytoremediation of heavy metals polluted water: a review. *Sustainability*, 12(5), 1927.
- Bahrani, S., Sodaeizadeh, H., Irannejad Parizi, M. H., Sotodeh, A. & Mandegari, A. 2015. Feasibility and risk assessment of use of treated wastewater in agriculture (case study: Yazd wastewater treatment plant). *Journal of Environmental Science and Engineering*, 2(7), 25-34. (In Persian)
- Bawiec, A. 2019. Efficiency of nitrogen and phosphorus compounds removal in hydroponic wastewater treatment plant. *Environmental Technology*, 40, 2062-2072.
- Chanu, L. B. & Gupta, A. 2016. Phytoremediation of lead using *Ipomoea aquatica Forsk* in hydroponic solution. *Chemosphere*, 156, 407-411.
- Deng, H., Ye, Z. & Wong, M. H. 2004. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metal-contaminated sites in China. *Environmental Pollution*, 132, 29-40.
- El-Khatib, A., Hegazy, A. & Abo-El-Kassem, A. M. 2014. Bioaccumulation potential and physiological responses of aquatic macrophytes to Pb pollution. *International Journal of Phytoremediation*, 16, 29-45.
- Eskandari, B. S., Ghaderian, S. M. & Schat, H. 2017. The role of nickel (Ni) and drought in serpentine adaptation: contrasting effects of Ni on osmoprotectants and oxidative stress markers in the serpentine endemic, *Cleome heratensis*, and the related non-serpentinophyte, *Cleome foliolosa*. *Plant and Soil*, 417, 183-195.
- Ghaneeyan, M. T. 2004. Use of plants in the removal of heavy metals in water and wastewater. *Journal of Water and Environment*, 59, 44-51. (In Persian)
- Ghosh, M. & Singh, S. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of it's by products. *Asian Journal of Energy and Environment*, 6, 214-231.
- Hamidian, A. H. 2016. An investigation of the possibility of mercury phytoremediation from Bandar Imam Chlor-alkali plants' wastewater using *Phragmites australis*. *Journal of Natural Environment*, 69(1), 95-105. (In Persian)
- Haritash, A., Sharma, A. & Bahel, K. 2015. The potential of *Canna lily* for wastewater treatment under Indian conditions. *International Journal of Phytoremediation*, 17, 999-1004.
- 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. (In Persian)
- Hoseini, M. N. & Hojjati, M. 2019. The phytoremediation of Nickel ion-containing aqueous solution by *Egyptian lotus* and *Cyperus alternifolius*. *Journal of Water and Wastewater*, 30(6), 99-106. (In Persian)
- Jampeetong, A., Brix, H. & Kantawanichkul, S. 2012. Effects of inorganic nitrogen forms on growth, morphology, nitrogen uptake capacity and nutrient allocation of four tropical aquatic macrophytes (*Salvinia cucullata*, *Ipomoea aquatica*, *Cyperus involucratus* and *Vetiveria zizanioides*). *Aquatic Botany*, 97, 10-16.



- Jokar, M., Rostami Shahraji, T., Mohammadi, M. & Goleij, A. 2017. Using hydrophilic tree species for the biological removal of cadmium in contaminated environments. *Journal of Water and Wastewater*, 28(4), 70-78. (In Persian)
- Khoshnava, S. 2017. Reduction of BOD5 from contaminated water using wheatweed in surface flow artificial wetland. *Journal of Water and Soil Conservation*, 6(4), 57-45. (In Persian)
- Khosravi, A. R. & Poormahdi, S. 2008. Polygonum khajeh-jamali (Polygonaceae), a new species from Iran. *Annales Botanici Fennici, BioOne*, 477-480.
- Kumar, Y. P., King, P. & Prasad, V. 2006. Removal of copper from aqueous solution using *Ulva fasciata sp.-a* marine green algae. *Journal of Hazardous Materials*, 137, 367-373.
- Kumari, M. & Tripathi, B. 2015. Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal removal from wastewater. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 112, 80-86.
- Landesman, L., Fedler, C. & Duan, R. 2010. *Plant nutrient phytoremediation using duckweed. In Eutrophication: causes, consequences and control*, Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Leiviskä, T., Khalid, M. K., Sarpola, A. & Tanskanen, J. 2017. Removal of vanadium from industrial wastewater using iron sorbents in batch and continuous flow pilot systems. *Journal of Environmental Management*, 190, 231-242.
- Lim, L. B., Priyantha, N., Tennakoon, D. & Dahri, M. K. 2012. Biosorption of cadmium (II) and copper (II) ions from aqueous solution by core of *Artocarpus odoratissimus*. *Environmental Science and Pollution Research*, 19, 3250-3256.
- Liu, J., Zhang, Z., Yu, Z., Liang, Y., Li, X. & Ren, L. 2018. Experimental study and numerical simulation on the structural and mechanical properties of *Typha* leaves through multimodal microscopy approaches. *Micron*, 104, 37-44.
- Malakootian, M. & Haratinezhad, A. 2013. Survey efficiency of heavy metals adsorption (Cu, Cd and Pb) in aqueous solution on the saffron leaves and determine the adsorption isotherms. *Journal of Torbat Heydariyeh University of Medical Sciences*, 1(3), 15-23. (In Persian)
- Meharg, A. 1994. Integrated tolerance mechanisms: constitutive and adaptive plant responses to elevated metal concentrations in the environment. *Plant, Cell and Environment*, 17, 989-993.
- Moattar, F., Javadi, E., Karbassi, A. & Monavvari, S. M. 2011. Surveying on decontamination effect of water lily (*Nymphaea alba*) for heavy metals (Pb, Cd and Mn) in liquid solution. *Human and Environment*, 16, 41-50. (In Persian)
- Mousa, W., Soliman, S., El-Bialy, A. & Shier, H. A. 2013. Removal of some heavy metals from aqueous solution using rice straw. *Journal of Applied Sciences Research*, 9, 1696-1701.
- Mulkeen, C., Williams, C., Gormally, M. & Healy, M. 2017. Seasonal patterns of metals and nutrients in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steudel in a constructed wetland in the west of Ireland. *Ecological Engineering*, 107, 192-197.
- Naghypour, D., Ashrafi, S. D., Gholamzadeh, M., Taghavi, K. & Naimi-Joubani, M. 2018. Phytoremediation of heavy metals (Ni, Cd, Pb) by *Azolla filiculoides* from aqueous solution: a dataset. *Data in Brief*, 21, 1409-1414.
- Parneyan, A., Chorom, M., Haghghi-Fard, N. J. & Dinarvand, M. 2011. Phytoremediation of nickel from hydroponic system by hydrophyte coontail (*Ceratophyllum demersum L.*). *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 2, 75-85.
- Raskin, I. & Ensley, B. D. 2000. *Phytoremediation of toxic metals*, John Wiley and Sons. New York, USA.
- Rezai, N. & Barkhordar, B. 2014. The ability of *Azolla filiculoides* in removing heavy metals (Cr^{+3} , Cu^{+2} , Ni^{+2}). *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 67-73. (In Persian)



- Roomiani, L., Hakimi, M. R. & Jalili, S. 2015. Study of Phytoremediation of aquatic plants of Dez river (*Potamogeton crispus*), (*Ceratophyllum demersum*), (*Polygonum hydropiper*) and (*Phragmites australis*) for bioaccumulation heavy metals Cd, Pb, Zn and Cu. *Journal of Wetland Ecobiology*, 7(23), 29-38. (In Persian)
- Salehzadeh, M. & Rezaie, H. 2017. Performance removal nitrate and phosphate from treated municipal wastewater using *Phragmites australis* and *Typha latifolia* aquatic plants. *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 47(3), 59-67. (In Persian)
- Samimi Loghmani, S. & Abbaspour, A. 2014. Effect of aquatic plants on phosphorus removal and electrical conductivity decrease in municipal effluent. *Journal of Water and Wastewater*, 25(2), 93-98. (In Persian)
- Sayadi, M. H. 2017. Investigation of performance horizontal subsurface flow constructed wetland for lead removal from wastewater. *Journal of Wetland Ecobiology* 9(32), 83-90. (In Persian)
- Sayadi, M. H. & Kargar, R. 2014. Artificial wetlands, environmental options for wastewater treatment. *Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(1), 57-65. (In Persian)
- Sehar, S., Naeem, S., Perveen, I., Ali, N. & Ahmed, S. 2015. A comparative study of macrophytes influence on wastewater treatment through subsurface flow hybrid constructed wetland. *Ecological Engineering*, 81, 62-69.
- Singh, A., Kumar, C. S. & Agarwal, A. 2013. Effect of lead and cadmium on aquatic plant *Hydrilla verticillata*. *Journal of Environmental Biology*, 34, 1027-1031.
- Sukumaran, D. 2013. Phytoremediation of heavy metals from industrial effluent using constructed wetland technology. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1, 92-97.
- Sumathi, M. & Vasudevan, N. 2018. Removal of phosphate by *Staphylococcus aureus* under aerobic and alternating anaerobic-aerobic conditions. *Environmental Technology*, 39, 1071-1080.
- Syukor, A. A., Sulaiman, S., Siddique, M. N. I., Zularisam, A. & Said, M. 2016. Integration of phytogreen for heavy metal removal from wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 112, 3124-3131.
- Taheri, G. S., Moazed, H., Boroomandnasab, S. & Jaafarzadeh, N. 2015. Effect of reed and hydraulic retention time on the lead removal in horizontal subsurface flow constructed wetland. *Journal of Environmental Studies*, 40(4), 937-947. (In Persian)
- Topal, M. & Arslan Topal, E. I. 2020. Phytoremediation of priority substances (Pb and Ni) by *Phragmites australis* exposed to poultry slaughterhouse wastewater. *International Journal of Phytoremediation*, 22, 857-862.
- Wang, L., Lin, H., Dong, Y. & He, Y. 2018. Effects of cropping patterns of four plants on the phytoremediation of vanadium-containing synthetic wastewater. *Ecological Engineering*, 115, 27-34.
- Yadav, A., Kataria, A., Singh, K., Mathur, K., Goswami, S. & Haritash, A. 2015. Seasonal assessment of trophic state of a Palustrine water body. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 4(3), 37-40
- Zeng, G., He, Y., Zhan, Y., Zhang, L., Pan, Y., Zhang, C., et al. 2016. Novel polyvinylidene fluoride nanofiltration membrane blended with functionalized halloysite nanotubes for dye and heavy metal ions removal. *Journal of Hazardous Materials*, 317, 60-72.
- Zhang, Y., Liu, J., Zhou, Y., Gong, T., Wang, J. & Ge, Y. 2013. Enhanced phytoremediation of mixed heavy metal (mercury)-organic pollutants (trichloroethylene) with transgenic alfalfa co-expressing glutathione S-transferase and human P450 2E1. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 1100-1107.

