

# بررسی توان گیاه پالایی گونه عدسک آبی کوچک (*Lemna minor*) در کاهش نیترات، فسفات، کادمیوم و سرب از فاضلاب آبی پروری و تعیین اثر بازدارندگی کادمیوم و سرب بر رشد این گونه

معصومه داوودی کیا<sup>۱</sup>، کامران رضایی توابع<sup>۲\*</sup>، علی ماشینچیان مرادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

<sup>۲</sup>گروه شیلات، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

<sup>۳</sup>گروه علوم دریایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

\*نویسنده مسئول [krtavabe@ut.ac.ir](mailto:krtavabe@ut.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰

## چکیده

امروزه یکی از مشکلات زیست‌محیطی فاضلاب‌های آبی‌پروری وجود ترکیبات مغذی و همچنین فلزات سنگین در آنها می‌باشد و یکی از روش‌های زیستی برای حذف این آلاینده‌ها، گیاه پالایی است. در تحقیق حاضر، عدسک آبی کوچک (*Lemna minor*) از محیط طبیعی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل و در ۴ تیمار آزمایشی با مساحت سطح پوشش متفاوت با ۳ تکرار، تیمار بندی شدند. پس از ۱۵ روز دوره آزمایش، غلظت فلزات سنگین کادمیوم و سرب، همچنین غلظت نیترات و فسفات در تیمارها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش سطح پوشش عدسک آبی باعث کاهش غلظت کادمیوم و سرب و همچنین میزان نیترات و فسفات در تیمارهای آزمایشی پس از گذشت دوره آزمایش شد. همچنین این تحقیق نشان داد که هر دو فلز سرب و کادمیوم دارای اثر بازدارندگی رشد بر گیاه عدسک آبی هستند. بطوری که تیمار ۲۰ میلی‌گرم در لیتر سرب کاهش رشد ۸۴/۱۱٪ و همچنین تیمار ۳۰ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم کاهش رشد ۸۲/۱٪ را در دارند. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش و غلظت بازدارندگی رشد فلزات سنگین مورد مطالعه، می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که گیاه عدسک آبی می‌تواند به عنوان یک گونه ارزشمند جهت گیاه پالایی فاضلاب‌های آبی پروری در استخرهای آرامش و ماند فاضلاب قبل از ورود به منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.

**واژگان کلیدی:** گیاه پالایی، فلزات سنگین، مواد مغذی، عدسک آبی.

## مقدمه

آب همواره به عنوان عامل اصلی حیات در طبیعت بوده است (Kivaisi, 2001). در سال‌های اخیر افزایش روزافزون جمعیت در دنیا و نیاز به تأمین غذا و همچنین افزایش علاقمندی به مصرف آبزیان و عدم توانایی طبیعت به تأمین میزان مورد نیاز آبزیان از منابع طبیعی و گسترش آبی‌پروری، این صنعت را با چالش‌های گوناگونی از جمله چگونگی دفع پساب مراکز آبی‌پروری مواجه کرده است (Zhang et al., 2014). ورود پساب آبی‌پروری به محیط‌های طبیعی باعث ایجاد اختلال در محیط‌های آبی طبیعی و به دنبال آن ایجاد مسائل زیست‌محیطی برای طبیعت و موجودات زنده خواهد بود. استفاده از انواع کودهای

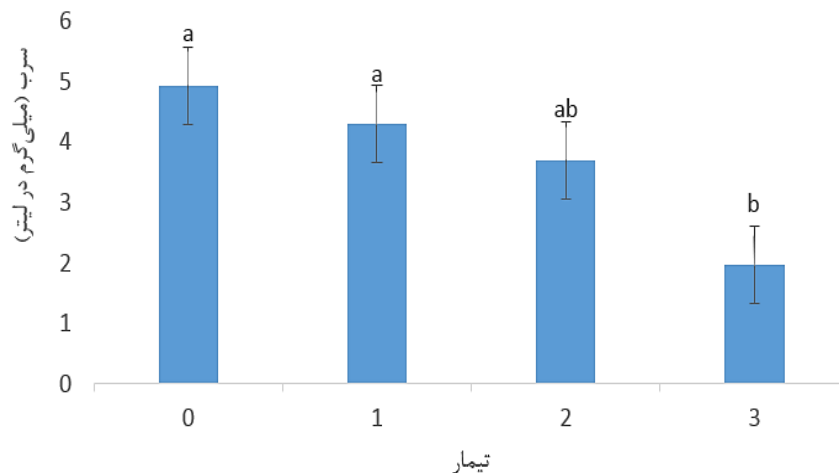
شیمیایی، مواد غذایی با ترکیبات مختلف، انواع داروها و سموم در صنعت آبی‌پروری امری رایج بوده که ورود هر کدام از این مواد به طبیعت از طریق پساب مراکز آبی‌پروری اثرات مخرب بسیاری بر اکوسیستم، آبزیان وحشی و گیاهان محیط‌های آبی طبیعی دارد (Esmaili Sari, 2004). پساب‌های آبی‌پروری حاوی طیف وسیعی از انواع آلودگی‌ها از جمله فلزات سنگین، ترکیبات سنتزی و انواع میکروارگانیسم‌ها است. امروزه فعالیت‌های آبی‌پروری چنان با سرعت در حال توسعه هستند که اغلب تنها بعد اقتصادی آن‌ها در نظر گرفته شده و توجهی به پیامدهای زیست‌محیطی آن‌ها نمی‌شود. فلزات سنگین از جمله مواد موجود در پساب‌ها

سرب، فسفات و نیترات می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند (Fernandez *et al.*, 2008). یکی از بهترین روش‌ها، استفاده از فرآیندهای بیولوژیک در تصفیه آب است (Campbell, 1999). از جمله روش‌های مطلوب بیولوژیکی برای بهره‌گیری در حذف آلاینده‌ها، استفاده از گیاهان و به بیان دیگر گیاه پالایی است.

گیاه‌پالایی عبارت است از استفاده از پتانسیل‌های فیزیولوژیک گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای کنترل و جذب مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده‌های محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو (نقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). این اصطلاح واژه‌ای عمومی برای شیوه‌های مختلف پالایش آب، خاک‌های آلوده و پساب‌ها می‌باشد (Ayaz and Akca, 2001). در گیاه‌پالایی انتخاب گیاه مناسب همراه با شناخت اساس ژنتیکی و فیزیولوژیک مقاومت به فلزات سنگین توسط گیاهان در انتخاب گونه‌های مناسب جهت ایجاد رویشگاه‌هایی که در معرض آلاینده‌گی با فلزات سنگین هستند اهمیت زیادی دارند (Larcher, 2003). روش‌های گیاه پالایی به ۵ دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: پایدارسازی گیاهی (Phytostabilisation)، تجزیه یا تجزیه گیاهی (Phytodegradation)، تبخیر گیاهی (Phytovolatilization)، عصاره‌کشی یا استخراج گیاهی (Phytoextraction) و فیلتراسیون ریشه‌ای (Rhizofiltration) (Abedi koupai *et al.*, 2007). گیاه پالایی علاوه بر محبوبیت عمومی روش نسبتاً جدیدی است که سازگار با محیط زیست، پایدار و برای کشورهای در حال توسعه بسیار مناسب و مقرون به صرفه است (Harzart *et al.*, 2013).

هستند که علی‌رغم غلظت کم، به دلیل عدم تجزیه-پذیری حتی در طی بازده‌های زمانی طولانی و ضریب تجمع‌پذیری در خاک و همچنین گونه‌های زیستی می‌تواند با غلظت‌های بسیار زیادی نسبت به آلودگی اولیه در زنجیره غذایی اکوسیستم تجمع یابد (Mashi *et al.*, 2007). یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی پساب‌های آبی‌پروری وجود فلزات سنگین از جمله کادمیوم و سرب است که باعث تجمع زیستی در زنجیره غذایی می‌شوند. همچنان نیترات و فسفات که باعث پرغذایی منابع آبی می‌شوند. نیتروژن و فسفر از عناصر ضروری برای گیاهان و موجودات زنده محسوب می‌شوند. با این وجود ورود فسفر و نیتروژن از پساب‌های کشاورزی و مزارع پرورش ماهی به منابع آبی می‌تواند از مهم‌ترین منابع تهدید کننده اکوسیستم‌های آبی باشد (Chang *et al.*, 2009). محصول نهایی متابولیت در ماهیان آب‌شیرین آمونیاک است که توسط باکتری‌های اکسیدکننده، آمونیاک دفع شده به ترکیباتی همچون نیتريت و سپس نیترات تبدیل می‌شود. نیترات محصول نهایی نیتریفیکاسیون باکتریایی است که باید به طریقی از سیستم حذف شود، زیرا تجمع آن در محیط آبی و در شرایط دما و pH بالا می‌تواند منجر به تغییرات و ناپایداری‌ها در اکوسیستم می‌شود (Tchobanoglous *et al.*, 2003).

امروزه روش‌های مختلفی جهت تصفیه انواع پساب‌ها طراحی شده است که هر یک دارای ویژگی‌های خاص خود می‌باشند که از جمله می‌توان به روش‌های (۱) جذب زیستی، (۲) تجزیه الکترونیکی، (۳) گیاه پالایی، (۴) فرآیند غشایی و اسمز معکوس، (۵) جذب سطحی فیزیکی و (۶) تبادل یونی و جذب های طبیعی اشاره کرد که جهت حذف کادمیوم،



شکل ۱- نمودار تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) مقدار سرب در تیمارها. حروف متفاوت بر روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

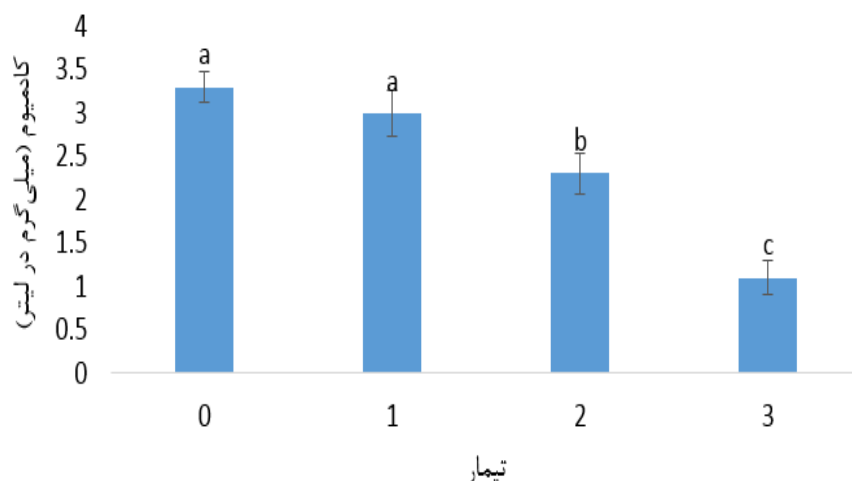
از حاشیه تالاب‌ها و آب‌بندان‌ها جمع‌آوری و به آزمایشگاه کنترل کیفیت آب گروه شیلات دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل شد. پس از چندین بار شستشو گیاهان با آب مقطر جهت رفع آلودگی‌های احتمالی از روی گیاهان، آن‌ها به ظروف ۱۰ لیتری پساب آبی‌پروری جهت انجام تیمار بندی منتقل شدند. آزمایش در طی مدت ۱۵ روز (Daud *et al.*, 2018) در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد انجام پذیرفت و دارای ۴ تیمار شامل تیمار شاهد= بدون وجود گیاه عدسک آبی در ظرف، تیمار ۱= پوشش ۱/۴ سطح ظرف با گیاه، تیمار ۲= پوشش ۱/۲ سطح ظرف با گیاه و تیمار ۳= پوشش ۳/۴ سطح ظرف با گیاه بود که هر کدام شامل ۳ تکرار بودند. پس از اتمام دوره آزمایش میزان سرب، کادمیوم، نیترات و فسفات در تیمارهای آزمایشی اندازه‌گیری و با هم و با تیمار شاهد مقایسه شدند.

در بخش دیگر آزمایش بر اساس دامنه غلظتی استفاده شده برای سایر گونه‌های گیاهان آبی (Basile *et al.*, 2012) بازدارندگی سرب و کادمیوم بر رشد گونه عدسک آبی، تیمارهایی با میزان مشخص کادمیوم شامل تیمار شاهد فاقد کادمیوم، تیمار یک = ۳۰ ppm، تیمار دو = ۵۰ ppm، تیمار سه = ۷۰ ppm، تیمار چهار = ۱۰۰ ppm) و همچنین میزان مشخص سرب

گیاه عدسک آبی، گیاه آبی‌شنواری از خانواده لمناسه است (Bcuk *et al.*, 2013) که در آب‌های شیرین و راکد نواحی شمالی، غربی، جنوبی و دیگر نقاط کشور پراکنده هستند. این گیاه به طور فراوان در کشورمان وجود دارد. رشد سریع و قابلیت دو برابر شدن در زمان کوتاه و هم چنین مقاومت گیاه عدسک آبی نسبت به شرایط سخت محیطی به خاطر چندلایه بودن این گیاه و سیستم ریشه‌ای قوی و رشد یافته این گیاه را قادر ساخته است در زمستان نیز رشد کند و از دلایل افزایش روزافزون این گیاه می‌باشد (دیانتی و همکاران، ۱۳۹۲). با توجه به موارد فوق هدف از انجام این تحقیق بررسی کارایی حذف فلزات سنگین کادمیوم و سرب و همچنین نیترات و فسفات، از فاضلاب آبی‌پروری با استفاده از گیاه عدسک آبی (*Lemna minor*) و تعیین اثرات فلزات سنگین کادمیوم و سرب بر بازدارندگی رشد این گونه گیاهی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

برای انجام این آزمایش پساب آبی‌پروری از مرکز تکثیر و پرورش ماهیان سردابی ماهی‌سرای کرج از بخش بیلقان شهر کرج تهیه و به سوله تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران منتقل و همچنین گیاه عدسک آبی معمولی (*Lemna*)



شکل ۲- نمودار تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) مقدار کادمیوم در تیمارها. حروف متفاوت بر روی هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد ( $P < 0.05$ ).

نتایج مقدار سرب در تیمار سه ( $1/96 \pm 0/41$ ) میلی گرم در لیتر) به طور معنی داری کمتر از تیمار شاهد ( $4/93 \pm 0/2$  میلی گرم در لیتر) بود و تیمار یک ( $4/0 \pm 3/43$  میلی گرم در لیتر) و دو ( $3/7 \pm 0/34$  میلی گرم در لیتر) تفاوت معنی داری با تیمار شاهد و همچنین یکدیگر نشان ندادند ( $P < 0.05$ ) (شکل ۱). نتایج آنالیز داده‌های مربوط به کادمیوم نشان داد که میزات کادمیوم تیمارهای دو ( $2/3 \pm 0/23$  میلی گرم در لیتر) و سه ( $1/1 \pm 0/2$  میلی گرم در لیتر) کاهش معنی داری نسبت به تیمار شاهد ( $3/3 \pm 0/17$  میلی گرم در لیتر) داشتند (شکل ۲).

همچنین نتایج نشان داد با افزایش سطح پوشش گیاه عدسک آبی در سطح تیمارهای آزمایشی میزان نیترات به طور معنی داری کاهش پیدا کرد. به طوری که تیمار سه ( $5/86 \pm 0/4$  میلی گرم در لیتر)، تیمار دو ( $7/0 \pm 6/72$  میلی گرم در لیتر) و تیمار یک ( $13/1 \pm 13/19$  میلی گرم در لیتر) به طور معنی داری به ترتیب نسبت به تیمار شاهد ( $17/83 \pm 0/42$  میلی گرم در لیتر) دارای میزان غلظت نیترات کمتری بودند (شکل ۳).

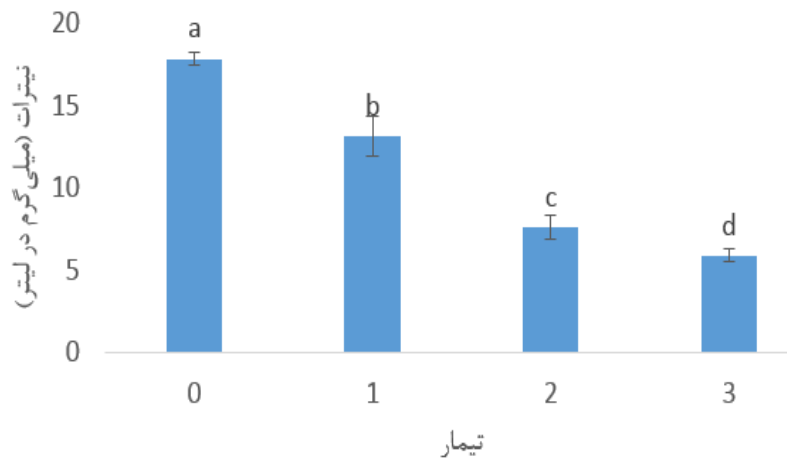
نتایج آنالیز داده‌های فسفات نشان داد که مقدار فسفات در تیمارهای دو ( $1/9 \pm 0/36$  میلی گرم در لیتر) و سه ( $1/53 \pm 0/2$  میلی گرم در لیتر) به طور معنی داری کمتر از تیمار شاهد ( $4/63 \pm 0/11$ )

شامل تیمار شاهد فاقد سرب، تیمار یک =  $10$  ppm، تیمار دو =  $20$  ppm، تیمار سه =  $30$  ppm و تیمار چهار =  $40$  ppm هر کدام در ۳ تکرار قرار گرفتند. پس از گذشت ۱۵ روز در انتهای آزمایش میزان رشد طولی و افزایش زی توده گیاه عدسک در هر کدام از تیمارها بررسی و میزان وزن خشک عدسک آبی مورد مقایسه قرار گرفت.

اندازه‌گیری فلزات سنگین کادمیوم و سرب در نمونه ها، پس از آماده‌سازی آن‌ها به روش استاندارد، توسط دستگاه ICP-OES انجام شد. همچنین نیترات و فسفات در نمونه‌ها پس از تعیین منحنی استاندارد با استفاده از روش طیف‌سنجی جذب اتمی بوسیله دستگاه اسپکتروفتومتر ساخت شرکت Hach مدل Dr500 اندازه‌گیری شد. قبل از انجام آنالیز واریانس، نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Shapiro-Wilk بررسی شد. برای آنالیز داده‌ها آنالیز تجزیه واریانس یک طرفه One-Way ANOVA مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف (با سطح معنی داری  $P < 0.05$ ) با آزمون دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ انجام شد.

## نتایج

آنالیز سرب، کادمیوم، نیترات و فسفات: براساس



شکل ۳- نمودار تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) مقدار نیترات در تیمارها. حروف متفاوت بر روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

مدیریت محیط زیست اجتناب ناپذیر است و یکی از مسائل مهمی که سلامت محیط را تهدید می‌کند ورود ترکیبات مقاوم و سمی به محیط زیست که این امر از طریق ورود فاضلاب‌ها به محیط زیست صورت می‌پذیرد. پساب‌ها به دلیل داشتن عناصر مغذی مانند نیتروژن و فسفر، پس از تخلیه به آب‌ها باعث رشد سریع انواع جلبک‌ها می‌شود. از این رو نیاز است تا قبل از تخلیه پساب به منابع آبی، مقدار فسفر و نیتروژن آن تا حد امکان کاهش یابد. یکی از روش‌های مؤثر برای پالایش آبهای آلوده به نیتروژن و فسفر استفاده از گیاهان آبی است (Daud et al., 2018).

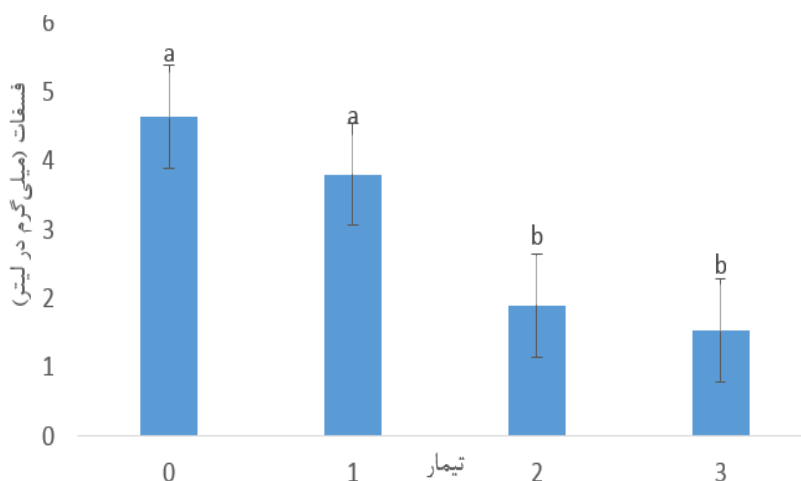
گیاهان فلزات سنگین را از آب و خاک جذب نموده و میزان تجمع این فلزات در گیاه به اثبات رسیده است. در مطالعات پیشین تاثیر گیاه‌پالایی توسط گیاه وتیور و اکالیپتوس در جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب بررسی شد که جذب فلز سرب توسط ریشه این گیاهان به اثبات رسید (قائمی و مجدالدین، ۱۳۹۵). همچنین تجمع فلز سرب در سه گونه گیاهی شمشاد، کاج سیاه و سرو نقره‌ای که با پساب حاوی سرب آبیاری شده بودند به اثبات رسیده است (فغان‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیقی که کارآیی عدسک آبی در حذف فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و کروم از محلول‌های آبی به انجام رسید مشخص شد پس از گذشت ۱۰ روز ۸۷/۸۳

میلی‌گرم در لیتر) بوده و تیمار یک با میزان  $(31.0 \pm 8.45)$  میلی‌گرم در لیتر) فسفات تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد نشان نداد (شکل ۴).

**اثر بازدارندگی کادمیوم و سرب بر رشد گیاه عدسک آبی:** آنالیز داده‌های نشان داد که در غلظت‌های ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ ppm کادمیوم، گیاه عدسک آبی فاقد رشد بوده است و همچنین میزان رشد در تیمار غلظت ۳۰ ppm کادمیوم بطور معناداری در حدود ۸۲/۱٪ نسبت به تیمار شاهد کاهش یافته است (شکل ۵). همچنین نتایج نشان داد که گیاه عدسک آبی در غلظت‌های ۳۰ و ۴۰ ppm سرب، فاقد رشد بوده است، و میزان رشد در تیمارهای یک با میزان  $(6.0 \pm 53.57)$  ppm تیمار دو ۲۰ ppm  $(1.0 \pm 26.11)$  به ترتیب با ۱۷/۱۶۵٪ و ۸۴/۱۱٪ کاهش رشد معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد داشتند (شکل ۶).

## بحث

دفع فاضلاب‌های تصفیه نشده می‌تواند مشکلات زیست محیطی فراوانی را به همراه داشته باشد. استفاده از سیستم‌های تصفیه فاضلاب با تکنولوژی پایین و عدم مصرف انرژی علاوه بر کاهش هزینه‌های اقتصادی می‌تواند به اصلاح محی ط زیست نیز کمک نماید. برای دستیابی به توسعه پایدار، توجه به



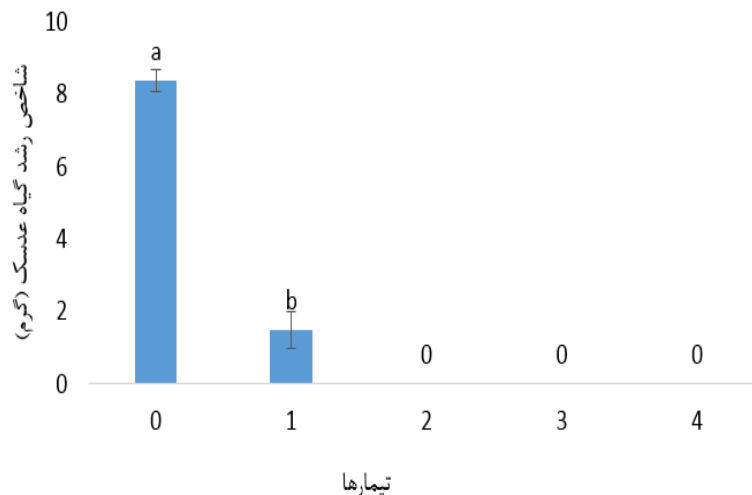
شکل ۴- نمودار تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) مقدار فسفات در تیمارها. حروف متفاوت بر روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارها می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

فیزیولوژیک خاصی در گیاهان ایفا نمی‌کند و به دلیل شباهت شیمیایی با کلسیم می‌تواند توسط گیاهان جذب شود (Bhattacharya et al., 2000). مطالعات نشان داده است که گیاه عدسک آبی باعث کاهش میزان کادمیوم از محیط آبی در سطوح مختلف ۱، ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر آلودگی در طی یک دوره ۱۱ روزه می‌شوند (پرنیان و همکاران، ۱۳۹۳). در مطالعه حاضر در دوره ۱۵ روزه آزمایش میزان کادمیوم در پساب به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافتند. می‌توان چنین برداشت کرد که افزایش میزان پوشش سطحی توسط گیاه عدسک آبی می‌تواند باعث افزایش جذب کادمیوم از محیط آبی و به تبع آن کاهش میزان کادمیوم از محیط آبی شود. همچنین با استناد بر مطالعات پیشین می‌توان چنین بیان کرد که مدت زمان حضور کادمیوم و عدسک آبی در محیط آبی نیز تا زمان زنده‌مانی عدسک آبی تاثیر مستقیم بر جذب کادمیوم توسط گیاه و کاهش بار آلودگی کادمیوم آب دارد.

نیترات یکی از مهمترین آلاینده‌هایی بوده که با توجه به حلالیت بسیار بالای آن، خارج کردن آن از آب فرایندی بسیار پرهزینه محسوب می‌شود. تخلیه فاضلاب به داخل منابع آب موجب وقوع پدیده یوتروفیکاسیون و از بین رفتن کیفیت آب در اثر رشد بیش از حد گیاهان و جلبک‌ها می‌گردد. راه‌های

درصد میزان سرب موجود در محیط آبی توسط گیاه عدسک آبی جذب شد. بیشترین میزان جذب فلزات دیگر در این آزمایش به ترتیب متعلق بود به کادمیوم، نیکل و کروم بود (نقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). در آزمایش حاضر میزان سرب در پساب تیمارها با میزان سطح پوشش مختلف توسط گیاه عدسک آبی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد بعد از گذشت ۱۵ روز تیمار ۳ با سطح پوشش ۳/۴ عدسک آبی بیشترین میزان جذب سرب را داشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گیاه پالایی توسط گیاه عدسک آبی در حذف فلزات سنگین از جمله سرب راهکار موثری خواهد بود و از طرفی افزایش سطح پوشش عدسک آبی در محیط‌های تصفیه امکان افزایش راندمان جذب را با توجه به ویژگی لایه لایه بودن پوشش این گیاه و افزایش بیومس آن در محیط آبی افزایش خواهد داد. تا به امروز عملکرد شناخته شده فیزیولوژیک در گیاه توسط سرب به اثبات نرسیده است اما به دلیل مشابهت آن با عناصر ضروری توسط گیاهان جذب می‌شود (Pais and Jones, 2000).

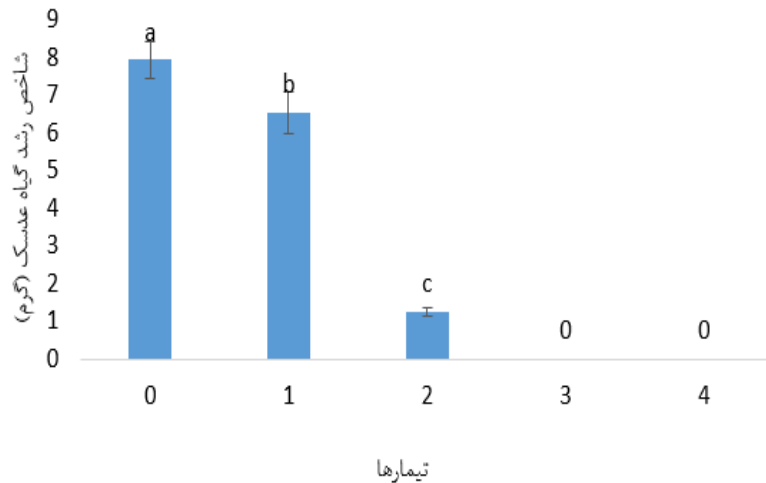
تحقیقات گذشته با هدف حذف زیستی کادمیوم به وسیله عدسک آبی این امر را به اثبات رساند که گیاه عدسک آبی دارای توانایی بالقوه مناسب برای جذب کادمیوم از محیط‌های آبی آلوده است. همچنین عنصر کادمیوم نیز مانند سرب عملکرد



شکل ۵- نمودار تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) مقدار تاثیر کادمیوم بر شاخص رشد گیاه عدسک در تیمارها. حروف متفاوت بر روی هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد ( $P < 0.05$ ).

فسفر مهم‌ترین ماده مغذی موثر در پدیده خوراک‌وری منابع آب سطحی است. در تحقیقات پیشین توانایی جذب فسفات توسط سه گیاه نی، تیفا و وتیور به منظور ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی آن‌ها در کاهش فسفات زه‌آب اراضی شالیزاری استان گیلان بررسی شد و نتایج حاکی از آن بود که گیاه نی، تیفا و وتیور به ترتیب بیشترین میزان جذب ارتوفسفات را از محیط داشتند. همچنین در تحقیق دیگری امکان رشد و تکثیر و میزان جذب نیترات و اورتو فسفات از پساب تصفیه خانه فاضلاب بیمارستانی به وسیله گیاهان عدسک آبی و آزلا مورد بررسی قرار گرفت که یافته‌ها نشان داد که از گیاهان آبی می‌توان به منظور جلادهی پساب تصفیه شده بیمارستانی و حذف فسفر از پساب بیمارستانی استفاده نمود (فولادیان و همکاران، ۱۳۹۰). فرایندهای مختلفی از قبیل جذب سطحی، جذب میکروبی، تشکیل کمپلکس و رسوب‌گذاری شیمیایی در کاهش میزان فسفات در سیستم‌های تالابی موثر است (Abou el- Kheir et al., 2007; Valipour et al., 2015). مطالعه‌ای اثبات شد که میزان فسفات در حوضچه‌های آبی شامل گیاه عدسک آبی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است و بازدهی حذف فسفات از حوضچه‌ها به طور چشمگیری بیشتر از حوضچه‌های شاهد بود (سعادت و همکاران، ۱۳۹۸).

گوناگونی برای حذف نیترات مطرح شده است که اکثر آن‌ها، پ هزینه و گران قیمت می‌باشند. یکی از روش‌های موثر و مقرون به صرفه در حذف نیترات آب‌ها روش زیستی گیاه‌پالایی می‌باشد که مطالعات گذشته نشان دادند گیاه عدسک آبی توانایی حذف نیترات آب در غلظت‌های پایین از محلول‌های آبی را دارا می‌باشند (نجف‌پور و همکاران، ۱۳۸۸). تحقیقات نشان دادند که عدسک آبی در کاهش میزان نیترات از آب در تصفیه‌خانه‌ها نقش به‌سزایی ایفا نموده و باعث کاهش حدود ۲۰٪ میزان نیترات آب می‌شود (علینژاد و همکاران، ۱۳۹۲). در مطالعه حاضر افزایش سطح پوشش عدسک آبی باعث کاهش معنی‌دار میزان نیترات در تیمارها نسبت به تیمار شاهد شد. می‌توان چنین برداشت کرد که از آن‌جا که نیتروژن به فرم-های نیترات و آمونیوم و اوره برای گیاهان قابل جذب است و گیاهان ترجیح می‌دهند که نیتروژن را به فرم‌های نیترات و آمونیوم جذب کنند وجود میزان بیشتر عدسک آبی باعث جذب بیشتر نیترات از محیط آبی در تیمارهای آزمایش شده است به این شکل که با افزایش سطح پوشش تیمارها توسط عدسک آبی میزان حذف نیترات از محیط آبی تیمارهای آزمایشی به طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد که فاقد هرگونه عدسک آبی در سطح تیمار بوده افزایش یافته است.



شکل ۶- نمودار تغییرات میانگین (میانگین  $\pm$  sd) مقدار تأثیر سرب بر شاخص رشد گیاه عدسک در تیمارها. حروف متفاوت بر روی هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی دار بین تیمارها می باشد ( $P < 0.05$ ).

افزایش میزان کادمیوم در محیط آبی افزایش می یابد. همچنین شوری باعث افزایش غلظت کادمیوم در عدسک آبی می شود (صوفیان و همکاران، ۱۳۹۸). کادمیوم می تواند باعث کاهش جذب مواد مورد نیاز گیاه از جمله نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی و مس شود. کاهش رشد و مرگ عدسک آبی در غلظت های بالای کاربرد کادمیوم و شوری محلول های آبی مشاهده شد و عدسک آبی غلظت های بالایی از کادمیوم را در خود انباشته می کند به طوری که این گیاه یک انباشته کننده خوبی برای کادمیوم می تواند باشد (صوفیان و همکاران، ۱۳۹۸). در مطالعه حاضر با افزایش میزان کادمیوم در محلول آبی میزان رشد در عدسک آبی در تیمار یک به طور معنی داری نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت و این در صورتی است که در تیمارهای دو، سه و چهار هیچ گونه رشدی در گیاه عدسک آبی مشاهده نشد. نتیجه گیری از این بخش مطابق با نتایج مطالعات مشابه این امر را اثبات می کند که افزایش فلزات سنگین از جمله کادمیوم در غلظت های بیش از ۳۰ میلی گرم در لیتر محیط کشت باعث بازدارندگی کامل رشد در گونه عدسک آبی خواهد شد. می توان از تحقیقات پیشین نیز چنین استنباط کرد حضور کادمیوم در محیط های کشت گیاهی باعث اختلال در جذب عناصر پرمصرف مورد نیاز گیاهان شده و به همین سبب باعث کاهش شاخص های رشد در گیاه

در آزمایش حاضر میزان فسفات در تیمارهای آزمایشی نیز همسو با نتایج مطالعات پیشین با افزایش میزان سطح پوشش عدسک آبی کاهش معنی داری یافت به طوری که میزان فسفات پس از گذشت ۱۵ روز به طور معنی داری از تیمار شاهد کمتر بود. مطالعات نشان داده افزایش زمان ماند و افزایش pH به افزایش میزان جذب فسفات توسط گیاه کمک می کند همچنین مشخص شد در بین گونه های گیاهان آبی گونه عدسک آبی بیشترین راندمان را در حذف فسفر دارا می باشد (Mburu et al., 2103).

فلزات سنگین به ویژه کادمیوم با تأثیر بر میزان فتوسنتز و کاهش میزان کلروفیل در گیاه باعث کاهش عملکرد رشد گیاه شده و اثرات منفی و مخرب را در گیاه به جای می گذارند. با افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط کشت گیاهان فاکتورهای رشد در آنها به طور معنی دار نسبت شرایط بدون این مواد کاهش می یابد (Jiang et al., 2001). با افزایش غلظت سرب و کادمیوم، میزان انباشت این دو فلز سنگین در گیاه افزایش می یابد (اسکندری و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعات درباره تأثیر بازدارندگی کادمیوم بر رشد عدسک آبی نشان داده است که کادمیوم و شوری هر یک به تنهایی و نیز به صورت کاربرد توأم سرعت رشد نسبی عدسک آبی را کاهش خواهند داد. غلظت کادمیوم موجود در عدسک آبی با



میزان تجمع کادمیوم و سرب در گیاه دارویی همیشه بهار (*Alis Calendula officina*). نشریه فیزیولوژی محیطی گیاهی، ۱۲(۷۴): ۷۶-۹۲.

پرنیان ا.، چرم م.، جعفرزاده حقیقی فرد ن.، دیناروند م. ۱۳۹۳. حذف زیستی کادمیوم به وسیله عدسک آبی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۱۸(۷۰): ۲۹۳-۲۸۳.

دیانتی ر.، یزدانی چراتی ج.، بلارک د. ۱۳۹۱. بررسی تاثیر سوربیتول بر میزان جذب فلز توسط گیاه عدسک آبی. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران. ۲۲(۲): ۵۶-۶۲.

سعادت س.، کللی خورموجی ح.، کریمی جشنی ا. ۱۳۹۸. بهبود کیفیت پساب خروجی از برکه تثبیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به کمک عدسک آبی. مهندسی عمران شریف، ۳۵(۲): ۱۴۰-۱۳۳.

صوفیان ج.، گلچین ا.، مرادی ص.، جهانان ل.، غیرتی آرانی ل. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر کاربرد کادمیوم و شوری در محلول‌های آبی بر رشد و غلظت عناصر غذایی عدسک آبی. مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)، ۳۲(۳).

علینژاد ا.، بوداغی مالیدره ه.، رضایی کلانتری ر.، اصغرینیا ح. ۱۳۹۲. مقاله کارایی گیاه عدسک آبی در حذف مواد آلی BOD-COD- NO3- PO4-NH3 تصفیه‌خانه فاضلاب (لاگون هوادهی) در شهرستان جویبار. اولین همایش تخصصی محیط زیست، انرژی و صنعت پاک ۱۳۹۲.

فغان‌پور م.، حسینی م.، شریعت م.، عزیزی فر و.، جعفری ع. ۱۳۸۸. همایش ملی انسان و محیط زیست. باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

فولادیان ع.، علیزاده ب.، دیانتی تیلکی ر. ۱۳۹۰. بررسی میزان رشد و جذب نیترات و فسفات از پساب تصفیه شده بیمارستانی بوسیله گیاهان آبی آزولا و لمانا. چهاردهمین همایش ملی بهداشت محیط.

قائم‌ع.، مجدالدین ف. ۱۳۹۵. بررسی گیاه پالایی وتیور و اکالیپتوس در جذب برخی فلزات سنگین از فاضلاب در خاک آلوده به شیرابه زباله. مهندسی منابع آب، ۹(۲۸): ۹۵-۱۰۶.

نجف‌پور ع.، قاسم‌زاده ف.، طیبیان م.، یوسف‌زاده ح.، نعدوست ف. ۱۳۸۸. بررسی کارایی گیاه عدسک آبی در میزان جذب نیترات از محیط آب در شرایط

عدسک آبی می‌شود که با افزایش میزان کادمیوم در محیط‌های کشت این اثر تقویت و از رشد گیاه جلوگیری به عمل می‌آید (Sandalio et al., 2001).

همچنین اثرات بازدارنده رشد سرب و نیکل و کروم به همراه کادمیوم نیز بر رشد گیاه عدسک آبی نشان داد که اثر بازدارنده رشد سرب، نیکل و کادمیوم به یک میزان باعث کاهش رشد در گیاه عدسک آبی می‌شود اما تاثیر بازدارندگی کروم بیش از فلزات نامبرده در مدت زمان ۱۵ روز آزمایش بود (نقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). در مطالعه حاضر افزایش میزان سرب در محیط کشت عدسک آبی باعث کاهش معنی‌دار رشد ۸۴/۱۱ درصد در تیمار دو و ۱۷/۶۵ درصد در تیمار یک نسبت به تیمار شاهد بود. نتایج نشان داد که میزان رشد گیاه عدسک آبی در حضور سرب با میزان بیش از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر محیط کشت عدسک آبی بطور کامل متوقف می‌شود. علت کاهش رشد در گیاهان به دلیل حضور فلزات سنگین ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌باشد که باعث ایجاد اثرات سمی مختلف در گیاهان از جمله کاهش رشد، کاهش محتویات کلروفیل و فتوسنتز، مهار فعالیتهای آنزیمی، آسیب به مولکولهای زیستی نظیر لیپیدها، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک به خصوص DNA، پراکسیداسیون غشای سلولی که از دست دادن یون‌ها را به همراه دارد می‌شود.

در نهایت با توجه به نتایج این آزمایش می‌توان بیان کرد عدسک آبی توانایی کاهش میزان فلزات سنگین کادمیوم و سرب همچنین تعدیل میزان نیترات و فسفات از فاضلاب آبی‌پروری را دارا می‌باشد و می‌توان به عنوان راه حل مناسبی جهت کاهش بار آلودگی فلزات سنگین سرب و کادمیوم و همچنین نیترات و فسفات از پساب‌های آبی‌پروری مورد استفاده قرار گیرد.

## منابع

اسکندری س.، یادگاری م.، ایرانپور ر. ۱۳۹۶. بررسی

- Esmacili-Sari E. 2004. Bacteria, fungi, algae and freshwater invertebrates. Iranian Fisheries Research Organization. 769p.
- Fernandez-Olmo I., Fernandez J.L., Irabien A. 2008. Purification of dilute hydrofluoric acid by commercial ion exchange resins. *Journal of Separation and Purification Technology* 56, 118-125
- Hazrat A. Khan E., Anwar Sajad M. 2013. Phytoremediation of heavy Metals- Concepts and application. *Chemosphere* 91(7), 869-881.
- Jiang W., Liu D., Hou W. 2001. Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (*Allium sativum* L.). *Bioresource Technology* 76(1), 9-13.
- Kivaisi A.K. 2001. The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review. *Ecological Engineering*, 16(4), 545-560.
- Larcher, W., 2003. Physiological plant ecology. Ecophysiology and stresses, physiology of functional crops. Further edition. Springer. Verlag Berlin Heidelberg, Germany. 513 p.
- Mashi, S.A., Alhassan, M.M. 2007. Effects of wastewater discharge on heavy metals pollution in Fadama soils in Kano City, Nigeria. *Biomedical and Environmental Sciences* 20, 70-77.
- Mburu N., Tebitendwa S.M., van Bruggen J.J., Rousseau D.P., Lens, P.N. 2013. Performance comparison and economics analysis of waste stabilization ponds and horizontal subsurface flow constructed wetlands treating domestic wastewater: A case study of the Juja sewage treatment works. *Journal of Environmental Management* 128, 220-225.
- Romero-Puertas M.C., Palma J.M., Gómez M., Del Rio L.A., Sandalio L. M2001. Cadmium causes the oxidative modification of proteins in pea plants. *Plant, Cell and Environment* 52(364): 2115-2126.
- Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD. 2003. Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill Book Company.
- Valipour A., Raman V.K., Ahn Y.H.E. 2015. Effectiveness of domestic wastewater treatment using a bio-hedge water hyacinth wetland system. *Water* 7(1), 329-347.
- Zhang H., Guo Q., Yang J., Ma, J. 2014. Cadmium accumulation and tolerance of two castor cultivars in relation to antioxidant systems. *Journal of Environmental Sciences* 26(10), 2048-2055.
- آزمایشگاهی. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران. دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی. دانشکده بهداشت. آبان ۱۳۸۸.
- نقیپور د، تقوی ک، صداقت حور ش، واعظزاده م. ۱۳۹۴. بررسی کارایی عدسک آبی (*Lemna minor*) در حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، ۶(۲۳): ۵۶-۴۹.
- نوابیان م، کوچکی پستیکی ک، اسمعیلی ورکی م. ۱۳۹۵. بررسی کارایی روش گیاه‌پالایی در حذف فسفات از زه‌آب اراضی شالیزاری استان گیلان (مطالعه موردی: گیاهان وتیور، تیفا و نی). مجله علمی پژوهشی حفاظت از آب و خاک، ۲۳(۴): ۲۰۲-۱۸۷.
- Abedi coupayee J., Mousavi F., Ferasati M. 2012. The use of Nano-adsorbents plants in order to remove nitrate from aqueous solutions. *Journal of Research in Water Resources* 3:28-38.
- El-Kheir W.A., Ismail G., El-Nour F.A., Tawfik T., Hammad D. 2007. Assessment of the efficiency of duckweed (*Lemna gibba*) in wastewater treatment. *International Journal of Agriculture and Biology* 9(5), 681-682.
- Ayaz S.C., Akca L. 2001. Treatment of wastewater by natural system. *Environment International* 26, 189-195.
- Bcuk H., Yakar A., Turker O.C. 2013. Assessment of *Lemna gibba* L. (duckweed) as a potential ecological indicator for contaminated aquatic ecosystem by boron mine effluent. *Ecological Indicators* 29, 538-548.
- Basile A., Sorbo S., Conte B., Cobianchi R.C., Trinchella F., Capasso C., Carginale V. 2012. Toxicity, accumulation, and removal of heavy metals by three aquatic macrophytes. *International Journal of Phytoremediation* 14, 374-387.
- Chang H.Q., Yang X.E., Fang Y.Y., Pu PM., Li Z.K., Rengel Z. 2006. In-situ nitrogen removal from the eutrophic water by microbial-plant integrated system. *Journal of Zhejiang University Science B* 7(7), 521-531.
- Chapman D. 1996. Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. 2nd ed. London: E & FN Spon.
- Daud M.K., Ali S., Abbas Z., Zaheer I.E., Riaz M.A., Malik A., Hussain A., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman M., Zhu S.J. 2018. Potential of Duckweed (*Lemna minor*) for the Phytoremediation of Landfill Leachate. *Journal of Chemistry*. 2018, 3951540.

## Evaluation of the common duckweed (*Lemna minor*) phytoremediation on nitrate, phosphate, cadmium and lead parameters reduction from aquaculture wastewater and determination of the heavy metals effects on this species growth inhibition

Masoumeh Davoodikia<sup>1</sup>, Kamran Rezaei Tavabe<sup>2\*</sup>, Ali Mashinchian Moradi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Environment Sciences, Natural Resources and Environment Faculty, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Department of Fisheries, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>3</sup>Department of Marine Sciences, Natural Resources and Environment Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

\*Corresponding author: krtavabe@ut.ac.ir

Received: 2021/6/7

Accepted: 2021/9/8

### Abstract

Nowadays, one of main environmental problems of the aquaculture wastewaters is the presence of nutrients and heavy metals in these sources. The aim of this study was to investigate the phytoremediation potential of the Common duckweed (*Lemna minor*) in reducing nitrate, phosphate, cadmium and lead from aquaculture wastewater and determining the inhibitory effect of cadmium and lead on the growth of this species. For this experiment, *L. minor* were collected from the margins of the wetlands and transferred to the laboratory and were treated by four experimental groups in triplicate. At the end of the 15-day experimental period, the concentrations of heavy metals cadmium, lead, nitrate and phosphate in the treatments were examined. Increasing *L. minor* surface coverage decreased cadmium, lead, nitrate and phosphate concentration in the treatments. The study also showed that both lead and cadmium reduced the growth factors of *L. minor*. So that increasing the amount of lead by 20 mg /l reduced the growth of *L. minor* by 84.11% and also cadmium by 30 mg /l reduced the growth of *L. minor* by 82.1%. Finally, according to the results, it can be concluded that the *L. minor* is a valuable species for phytoremediation purposes.

**Keywords:** Phytoremediation, Heavy metals, Nutrients, Common duckweed.