

## بررسی کار آبی عدسک آبی (*Lemna minor*) در حذف فلزات سنگین از محلول های آبی

### چکیده

آلودگی فلزات سنگین یک مشکل موجود و در حال توسعه در جهان می باشد. سرب، مس، کادمیوم و نیکل از جمله بیشترین آلودگی های عمومی هستند که در فاضلاب های صنعتی یافت می شوند. هدف اصلی از این تحقیق تعیین کارایی حذف فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و کروم از محیط های آبی با استفاده از گیاه (عدسک آبی) می باشد همچنین در این تحقیق اثر بازدارندگی این فلزات سنگین بر رشد گیاه نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این مطالعه در شهر رشت، در بهار سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. این تحقیق یک طرح بنیادی-کاربردی بر اساس مطالعات تجربی است. در این تحقیق محلول های فلزات سنگین با غلظت های ۱۰ میلی گرم بر لیتر ساخته شد. عدسک آبی به وزن های ۰/۸ گرم به ظروف حاوی ۱۰۰ میلی لیتر محلول افزوده شد. پس از زمان تماس ۱۰ و ۱۵ روز، مقدار فلزات سنگین باقی مانده در محلول توسط دستگاه ICP-OES مدل اندازه گیری شد. همچنین وزن عدسک آبی پس از طی این زمان ها نیز اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که در زمان تماس ۱۰ روز، راندمان حذف هر ۴ فلز سنگین بیش تر از ۱۵ روز است. بیشترین راندمان حذف مربوط به سرب با ۸۷/۸۳ و کمترین راندمان مربوط به کروم با ۶۱/۹۴ درصد است. پس از سرب بیشترین حذف به ترتیب مربوط به کادمیوم و نیکل بوده است. همچنین این تحقیق نشان داد که هر ۴ فلز سنگین مذکور باعث کاهش رشد عدسک آبی می شوند. این کاهش رشد برای کروم بیشترین است. حذف فلزات سنگین با استفاده از عدسک آبی امکان پذیر است. زمان ماند مناسب و نوع فلز از عوامل موثر در میزان حذف می باشد. در این مطالعه بیشترین میزان حذف برای سرب و کمترین درصد حذف مربوط به کروم می باشد.

**واژگان کلیدی:** فلزات سنگین، عدسک آبی، محلول های آبی.

داریوش نقی پور<sup>۱</sup>

کامران تقوی<sup>۱</sup>

شهرام صداقت حور<sup>۲\*</sup>

مرضیه واعظ زاده<sup>۱</sup>

۱. دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان،

رشت، ایران

۲. دانشکده کشاورزی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی،

رشت، ایران

\* نویسنده مسئول مکاتبات

Sedaghatthoor@iaurasht.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۲

کد مقاله: ۱۰۱۴۷-۱۳۹۴

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی

ارشد است.

### مقدمه

سالیانه مقادیر زیادی فاضلاب از منابع خانگی، کشاورزی و صنعتی وارد محیط زیست می شود که حاوی غلظت بالایی از مواد شیمیایی آلی و غیر آلی نظیر حلال های هیدروکربنه، سیانید، فلزات سنگین، حشره کش ها و رنگ ها می باشد. سمیت، پایداری و غلظت بالای آلاینده ها اثرات زیست محیطی، اقتصادی و بهداشتی زیادی ایجاد می کند. آلودگی آب یکی از بزرگترین مشکلات ناشی از این آلاینده ها می باشد (دانشور و همکاران، ۱۳۸۵؛ سمرقندی و همکاران، ۱۳۹۰). فلزات سنگین مثل سرب، مس، کادمیوم و نیکل از جمله بیشترین آلودگی های عمومی هستند که در فاضلاب های صنعتی یافت می شوند. این فلزات حتی در غلظت های کم نیز می توانند



برای موجودات زنده که انسان ها را هم شامل می شود سمی باشند (Malkoc and Nuhoglo, 2005). صنایعی مثل معدن، استخراج فلزات، کارخانه ها ماشین، صنایع شیمیایی و الکترونیکی، آب کاری فلزات، قلیا کاری، کارخانه های ذخیره سازی باتری و ... هر ساله مقدار زیادی از فلزات سنگین را وارد آب می کنند (Ying and Fang, 2006). با توجه به تخلیه مقدار زیادی از فلزات آلوده در فاضلاب، صنعت آب کاری یکی از پرخطرترین صنایع شیمیایی است (Agustionokurniawan *et al.*, 2006)؛ بنابراین، به منظور محافظت از مردم و محیط زیست، این فلزات سنگین باید از پسماندها و فاضلاب ها حذف گردند. روش های متعددی برای حذف یون های فلزات سنگین، مورد استفاده قرار می گیرند که متداول ترین آن ها عبارتند از ته نشینی، لخته سازی، احیا، تبادل یون، تبخیر و فرآیندهای غشایی (Fu and Wang, 2011).

هر کدام از این روش ها در کنار مزایای کاربرد، معایب متعددی نیز دارند. از جمله، کم اثر بودن در حذف یون های فلزات سنگین، مصرف مقدار زیادی معرف و مواد شیمیایی، تولید لجن های سمی در مقادیر بالا، هزینه بالا و مسائل مربوط به دفع ایمن مواد حاصله؛ بنابراین نیاز به فناوری های نوین که بتوانند غلظت فلزات سنگین را با هزینه های مقبول به سطوح قابل قبول از نظر زیست محیطی کاهش دهند، احساس می شود (Lawrence *et al.*, 2010). از این رو ارائه یک روش مطمئن که ضمن رفع آلودگی، کم هزینه و سازگار با محیط زیست باشد بسیار ضروری است. گیاه پالایی روشی است که این ویژگی ها را شامل می شود. گیاه پالایی، یک تکنیک با صرفه اقتصادی، زیست محیطی و علمی است که برای کشورهای در حال توسعه مناسب است و تجارت بازرشی محسوب می شود. گیاه پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب و خاک یا کاهش خطرات آلاینده های محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به کار برده می شود. مهم ترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین بوده و میکروارگانیزم های خاک قادر به تجزیه آلاینده های آلی هستند، اما برای تجزیه میکروبی فلزات نیاز به آلی شدن با تغییرات فلزی آن ها وجود دارد که امروزه از گیاهان برای این بخش استفاده می شود (بحرینی، ۱۳۹۰).

گیاه عدسک آبی در آب های شیرین و راکد نواحی شمالی، غربی، جنوبی و دیگر نقاط کشور پراکنده اند. 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 ریشه ای قوی و رشد یافته که این گیاه را قادر ساخته است در زمستان نیز رشد کند از دلایل افزایش روزافزون این گیاه می باشد (دیانتی و همکاران، ۱۳۹۲). مطالعات مختلفی درباره کاربرد این گیاه مانند تصفیه فاضلاب، حذف رنگ و حذف فلزات سنگین انجام شده است که نتایج بسیار خوبی نیز در این رابطه حاصل شده است (دیانتی و همکاران، ۱۳۹۲؛ تلیکی، ۱۳۸۹؛ داشی و جعفر زاده، ۱۳۸۸).

تحقیقی که Mishra (۲۰۰۸) با عنوان (حذف هم زمان فلزات سنگین با ۳ ماکروفیت آبی) انجام داد، نشان داد که این ۳ گیاه آبی، از جمله عدسک آبی، قادرند فلزات سنگین (آهن، مس، روی، کروم و کادمیوم) را طی ۱۵ روز آزمایش بیش از ۹۰ درصد حذف نمایند. هم چنین این تحقیق نشان داد که بیشترین حذف در ۱۲ روز آزمایش صورت می گیرد و سپس درصد حذف کاهش می یابد. طی مطالعه دیگری که Reinhold و همکاران (۲۰۱۰) انجام دادند، نتایج نشان داد که گیاهان آبی به طور مستقیم و غیرمستقیم در حذف آلاینده های آلی نوظهور از تالاب ها کمک می کنند.

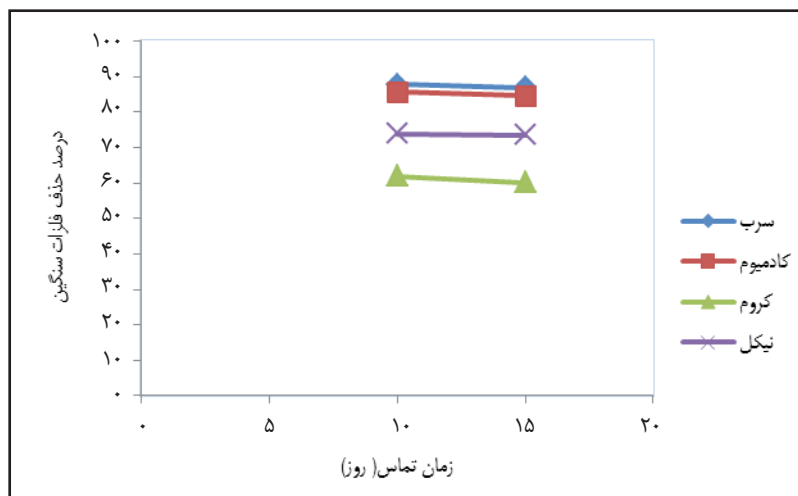
طی تحقیق دیگری که Kocerberber Kilic و همکاران (۲۰۱۰) بر روی حذف رنگ آبی درخشان از محیط کشت به وسیله عدسک آبی با استفاده از هورمون تری اکانتانول انجام دادند، نشان داد که افزودن این هورمون هم باعث افزایش بیومس و هم باعث افزایش میزان حذف رنگ می شود. هم چنین این تحقیق نشان داد که عدسک آبی می تواند به طور مؤثر برای تصفیه فاضلاب های آلوده به رنگ مورد استفاده قرار گیرد. نجف پور و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که گیاه عدسک آبی می تواند نیترات را در غلظت های پایین از محلول های آبی جذب نماید اما با افزایش غلظت نیترات این جذب کاهش می یابد. هم چنین طی مطالعه دیگری که ختایی و همکاران (۱۳۹۱) انجام دادند مدلی جهت پیش بینی حذف بیولوژیک رنگ طراحی گردید. داده های حاصل از تحقیق نشان داد که این مدل قادر است وضعیت واقعی را پیش بینی نماید. تحقیق دیگری که توسط Xing Li و همکاران (۲۰۱۱) انجام شد نشان داد که پودر عدسک آبی قادر به حذف جیوه آلی و غیر آلی از محلول های آبی است. نتایج تحقیق دیانتی و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که گیاه عدسک آبی قادر است فنل را از آب حذف نماید و افزودن کربوهیدرات سوربیتول به محیط کشت موجب افزایش رشد و تکثیر و افزایش کارایی حذف فنل به وسیله گیاه عدسک آبی می گردد. هدف اصلی از این تحقیق تعیین کارایی حذف فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و کروم از محیط های آبی با استفاده از گیاه عدسک آبی می باشد. هم چنین در این تحقیق اثر بازدارندگی این فلزات سنگین بر رشد گیاه عدسک آبی نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش ها

این مطالعه در شهر رشت، مرکز استان گیلان در آزمایشگاه دانشکده بهداشت، در بهار سال ۱۳۹۳ انجام گرفت. ابتدا گیاه عدسک آبی (*Lemna minor*) از کارگاه تکثیر و پرورش ماهی واقع در شهر رشت، کوی امام رضا تهیه شد و پس از منتقل شدن به آزمایشگاه دانشکده بهداشت رشت، قبل از قرار دادن آن در هر یک از ظروف نمونه چندین بار با آب مقطر شستشو داده شد تا آلودگی های احتمالی آن برطرف شود. برای تهیه محلول های فلزات سنگین از نیترات سرب، نیترات کادمیوم، نیترات کروم و سولفات نیکل استفاده شد. به منظور تهیه محلول های آبی فلزات سنگین، با استفاده از محلول استوک ۱۰۰ پی پی ام، محلول هایی با غلظت های ۱۰ میلی گرم بر لیتر ساخته شد. پس از تهیه محلول های فلزات سنگین با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر، پی ایچ محلول آبی هر یک از فلزات سنگین در غلظت مذکور موردسنجش قرار گرفت. به منظور تماس گیاه با محلول های آبی فلزات سنگین از ظروف یک بار مصرف به حجم ۱۰۰ میلی لیتر استفاده شد. این ظروف طی سه مرحله با اسید، آب شهری و در نهایت با آب مقطر شستشو داده شدند. محلول های فلزات سنگین نامبرده به ظروف یک بار مصرف منتقل شد. سپس گیاه عدسک آبی به وزن های ۰/۸ گرم به ظروف افزوده شد. همان طور که قبلاً اشاره شد قبل از افزودن گیاه عدسک آبی به ظروف نمونه، این گیاه توسط آب مقطر شستشو داده شد. سپس گیاه روی حوله کاغذی قرار داده شد تا رطوبت اضافی آن خارج شود و پس از آن بلافاصله توسط ترازو توزین شد. پس از این مراحل با استفاده از لامپ فلورسنت، نور موردنیاز گیاه تأمین شد. ظروف کنترل حاوی فلزات سنگین در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر اما فاقد گیاه به منظور تعیین فلزات سنگین تبخیر شده یا جذب شده توسط ظروف یک بار مصرف، مورد آزمایش قرار گرفت. برای جبران آب ازدست رفته طی تبخیر، قبل از آنالیز فلزات سنگین، از محلول هایی با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر استفاده گردید. این محلول ها در روز های تماس هفتم و دوازدهم به منظور جبران تبخیر به ظروف یک بار مصرف افزوده شد. پس از زمان مواجهه لازم که ۱۰ و ۱۵ روز می باشد، محلول های فلزات سنگین از کاغذ صافی عبور داده شدند و ظروف و عدسک های آبی موجود در روی کاغذ صافی با آب مقطر شستشو داده شدند و محلول شستشو هم به محلول صاف شده فلزات سنگین افزوده شد. سپس محلول صاف شده با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم ۱۰۰ رسانده شد و pH محلول اندازه گیری شد. در مرحله بعد با افزودن چند قطره اسید نیتریک pH آن به ۲ رسانده شد و در بطری های پلی اتیلن به حجم ۱۰۰ میلی لیتر منتقل شد و تا زمان سنجش در این بطری ها نگهداری شد سپس توسط دستگاه ICP مدل OES-ICP واقع در آزمایشگاه دانشکده بهداشت رشت موردسنجش قرار گرفت. لازم به ذکر است که گیاه عدسک آبی باقیمانده بر روی صافی پس از منتقل شدن بر روی حوله کاغذی مجدداً توزین شد (Mishra, 2008). جهت تجزیه و تحلیل داده ها از نرم افزار اکسل استفاده شد.

## نتایج

نتایج حاصل از این مطالعه در خصوص تأثیر زمان تماس بر راندمان حذف فلزات سنگین و اثر بازدارندگی فلزات سنگین بر میزان رشد گیاه عدسک آبی در جداول ۱ تا ۳ و شکل های ۱ و ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در زمان تماس ۱۰ روز راندمان حذف هر ۴ فلز سنگین سرب، کادمیوم، کروم و نیکل بیش تر از زمان تماس ۱۵ روز است. همچنین بیش ترین راندمان حذف مربوط به سرب می باشد، این مقدار ۸۷/۸۳ درصد است. کم ترین راندمان به کروم مربوط می باشد. این مقدار ۶۱/۹۴ درصد می باشد. کادمیوم پس از سرب دومین راندمان را داشت که راندمان حذف آن بسیار به راندمان حذف سرب نزدیک بوده است. پس از کادمیوم، نیکل در جایگاه سوم قرار گرفت. همچنین ترتیب راندمان حذف این فلزات سنگین در ۱۵ روز تماس نیز مشابه ۱۰ روز تماس می باشد. لازم به ذکر است که درصد های ارائه شده در شکل ۱ شامل حذف توسط تبخیر نمی باشد. شکل ۱ درصد حذف فلزات مختلف را نشان می دهد.



شکل ۱: تأثیر زمان تماس بر حذف گیاهی فلزات سنگین در عدسک آبی (*Lemna minor*).  
(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی گرم بر لیتر - وزن گیاه عدسک آبی ۰/۸ گرم)

نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد که حدود ۱۰ تا ۱۲ درصد فلزات سنگین توسط تبخیر از محلول حذف می شود. در این مرحله میزان حذف فلزات سنگین از ظروف کنترل که فاقد گیاه عدسک آبی می باشد، موردسنجش قرار گرفت؛ و پس از محاسبه، میزان حذف گیاهی به دست آمد. میزان تبخیر فلزات سنگین مختلف در جدول ۱ نشان داده شده است. راندمان حذف گیاهی همراه باراندمان تبخیر فلزات سنگین نیز در جدول ۲ آمده است.

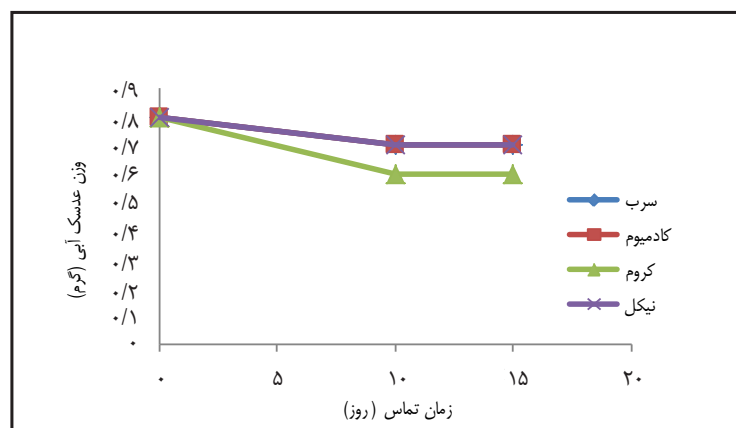
جدول ۱: میزان تبخیر فلزات سنگین مختلف در زمان های تماس ۱۰ و ۱۵ روز.  
(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی گرم بر لیتر، بدون عدسک آبی).

فلز سنگین	زمان تماس (روز)	سرب	کادمیوم	کروم	نیکل
راندمان حذف فلزات سنگین	۱۰	۱۱/۱۴	۱۰/۷۹	۱۰/۲۳	۱۰/۴۳
	۱۵	۱۱/۴۶	۱۱/۶۶	۱۱/۲۵	۱۰/۶۴

جدول ۲: راندمان حذف گیاهی همراه باراندمان تبخیر فلزات سنگین مختلف در زمان های تماس ۱۰ و ۱۵ روز.  
(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی گرم بر لیتر، وزن گیاه عدسک آبی ۰/۸ گرم).

فلز سنگین	زمان تماس (روز)	سرب	کادمیوم	کروم	نیکل
راندمان حذف فلزات سنگین	۱۰	۹۸/۹۶	۹۶/۳۳	۷۲/۱۶	۸۴/۲۸
	۱۵	۹۸/۳۸	۹۶/۱۵	۷۱/۴۱	۸۴/۰۳

همان طور که شکل ۲ نشان می دهد هر ۴ فلز سنگین مذکور باعث کاهش رشد گیاه عدسک آبی می شود. این کاهش رشد در زمان تماس ۱۰ روز برای ۳ فلز سنگین سرب، کادمیوم و نیکل به یک میزان است اما برای کروم کاهش رشد گیاه عدسک آبی بیش تر می باشد. هم چنین پس از طی زمان تماس ۱۵ روز این کاهش رشد در ۴ فلز سنگین مذکور ثابت می باشد.



شکل ۲: تأثیر زمان تماس بر حذف فلزات سنگین در عدسک آبی (*Lemna minor*).  
(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی گرم بر لیتر - وزن گیاه عدسک آبی ۰/۸ گرم)

pH اولیه محلول های فلزات سنگین سرب، کادمیوم، کروم و نیکل در غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر، به ترتیب ۵/۷۹، ۵/۴۲، ۴/۰۱، ۵/۳۸ بود. لازم به ذکر است که آزمون ها در دمای محیط در فصل بهار و در محدوده آب و هوای شهر رشت، انجام شده است.

### بحث و نتیجه گیری

حذف فلزات سنگین با استفاده از گیاه عدسک آبی امکان پذیر است. زمان ماند مناسب، pH اولیه محلول آبی و نوع فلز سنگین از عوامل مؤثر در میزان حذف می باشد. زمان تماس مناسب در این مطالعه ۱۰ روز می باشد و پس از آن راندمان حذف، کاهش می یابد که با نتایج به دست آمده در تحقیق انجام شده توسط Mishra (۲۰۰۸) مطابقت دارد. در زمان تماس ۱۰ روز میزان جذب فلزات سنگین توسط گیاه عدسک آبی حداکثر است بنابراین، حضور فلزات سنگین باعث ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS: reactive oxygen species) می گردد. گونه های فعال اکسیژن باعث ایجاد اثرات سمی مختلف در گیاهان نظیر کاهش رشد، کاهش محتویات کلروفیل و فتوسنتز، مهار فعالیت های آنزیمی، آسیب به مولکول های زیستی نظیر لیپیدها، پروتئین ها و اسیدهای نوکلئیک به خصوص DNA، پراکسیداسیون غشای سلولی که از دست دادن یون ها را به همراه دارد می شود (Gill, 2014). پراکسیداسیون غشای سلولی منجر به خروج مجدد فلزات سنگین و کاهش راندمان حذف در فاصله زمانی بین ۱۰ تا ۱۵ روز می شود. یکی دیگر از عوامل مؤثر بر میزان حذف فلز سنگین نوع فلز سنگین می باشد. در این مطالعه بیشترین میزان حذف برای فلزات سنگین به ترتیب مربوط به سرب، کادمیوم، نیکل و کروم می باشد. این یافته ها با نتایج تحقیق Kaur و همکاران مطابقت دارد (۲۰۱۲) در تحقیق مذکور نیز در pH های مختلف راندمان حذف سرب توسط عدسک آبی بیش تر از نیکل بوده است؛ اما تحقیقی در خصوص مقایسه میزان حذف ۴ فلز سنگین مورد بررسی در این تحقیق، توسط عدسک آبی در شرایط یکسان انجام نشده است. تفاوت در میزان جذب فلزات سنگین مختلف توسط گیاه می تواند مربوط به مکانیسم های مختلف جذب فلزات سنگین توسط گیاه باشد. بیشترین حذف توسط گیاه، در میان فلزات سنگین مورد مطالعه، به فلز سرب تعلق دارد. سرب، در واکنش های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی ندارد، اما به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن توسط گیاهان وجود دارد (Pais and Jones, 2000). Ingole و Vardanyan (۲۰۰۴) با بررسی غلظت فلزات سنگین در بافت های گیاهان شور پسند در ارمنستان و هند نشان دادند که فلزات ضروری در بافت های گیاه تجمع بیشتری یافته و کمترین غلظت فلزات مربوط به عناصر غیر ضروری است.

کادمیوم نیز مانند سرب در فرآیندهای متابولیکی گیاه کارکرد مشخصی ندارد، اما به دلیل شباهت شیمیایی به کلسیم توسط گیاه جذب می شود (Bhattacharya et al., 2000). کادمیوم محلول می تواند از طریق حرکت در فضای آزاد دیواره سلولی (مسیر آپوپلاستی) و به وسیله عبور از مسیر سیم پلاستی وارد ریشه گیاه شود. کادمیوم پس از ورود به ریشه می تواند از مسیر سلولی حرکت کرده و در نهایت وارد جریان انتقالی شیره خام گیاه شود (Salt et al., 1998).

عنصر نیکل نیز در متابولیسم نیتروژن در گیاه نقش دارد و گیاهان این عنصر را به این منظور جذب می کنند (Baycu et al.,).

2006). نیکل از جدیدترین عناصر ضروری شناخته شده برای گیاه است. اگرچه نیکل هم اکنون به عنوان یک عنصر ضروری بسیار کم مصرف شناخته شده است، اما تنها نقش تعریف شده این عنصر، شرکت در سوخت و ساز اوره می باشد که این فرایند در گیاهانی که از اوره به عنوان منبع نیتروژن استفاده می کنند، بسیار حائز اهمیت است (Brown et al., 1987).

کروم برای جذب، سازوکار به خصوصی ندارد. بنابراین، جذب این فلز سنگین از راه اشغال ناقل های عناصر ضروری گیاه انجام می شود. تأثیر سمی کروم بر گیاه و همین طور جذب، انتقال و انباشتگی آن در ابتدا وابسته به گونه فلزی آن است. هم چنین کروم با آهن و فسفر نیز بر سر اتصال به ناقل ها رقابت دارند (Wallace et al., 1976). نتایج تحقیق Shanker و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد که کروم به طور عمده در ریشه انباشته می شود و دلیل آن نیز غیر متحرک شدن کروم در واکنش های ریشه می باشد. این غیر متحرک شدن کروم در واکنش ها سبب کاهش سمیت کروم در گیاه می شود. اختلال در عمل غشای پلاسمایی H+ATPase عامل دیگری برای کاهش جذب در گیاهان تغذیه شده با کروم ذکر شده است. ATPase نقش مهمی در سازش به شرایط سمیت عناصر سنگین دارد. کاهش فعالیت ATPase طی شکستن پیوندهای غشایی که خود نتیجه تشکیل رادیکال های آزاد می باشد، رخ می دهد. کاهش فعالیت ATPase سبب کاهش ترشح پروتون می شود که این تغییر سبب جلوگیری از انتقال فعال در غشای پلاسمایی سلول های ریشه شده و در نتیجه از جذب عناصر غذایی جلوگیری می کند (Zaccheo et al., 1982).

pH اولیه محلول فلزات سنگین نیز یکی از عوامل مؤثر بر میزان حذف فلزات سنگین است. pH بهینه برای عدسک آبی ۷/۵ تا ۴/۵ است. (داشی و جعفر زاده، ۱۳۸۸). هم چنین مکانیسم جذب آلاینده ها توسط عدسک آبی ریزوفیلتراسیون است و pH نقش مهمی در حذف فلزات سنگین توسط این مکانیسم را دارد (Krishna et al., 2012) و در pH های مختلف راندمان حذف فلزات سنگین متغیر خواهد بود. در این تحقیق کم ترین راندمان مربوط به کروم می باشد زیرا محلول کروم در محدوده pH بهینه قرار ندارد باعث کاهش بیش تری در وزن گیاه شده و به آن آسیب می رساند و کم ترین راندمان حذف را در میان فلزات سنگین مذکور دارد. اثر pH بر میزان حذف فلزات سنگین توسط عدسک آبی در تحقیقات دیگر نیز مورد تأیید قرار گرفته است (Jafari and Kaur et al., 2012; Akhavan, 2011).

مطالعه حاضر هم چنین نشان داد که غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر فلزات سنگین سرب، کادمیوم، نیکل و کروم باعث کاهش رشد گیاه عدسک آبی شده و وزن آن را کاهش می دهد. علت کاهش وزن گیاه ایجاد تنش اکسیداتیو و افزایش تولید گونه های فعال اکسیژن (ROS) است که باعث ایجاد اثرات سمی مختلف در گیاهان نظیر کاهش رشد می شود. این یافته ها با نتایج حاصل از تحقیقات دیگر همخوانی دارد (Khellaf and Zerdaoui, 2009). مطالعات دیگر نیز نشان داده است که غلظت های مختلف فلزات سنگین باعث کاهش رشد گیاهان می شود (Gill, 2014).

مکانیسم جذب آلاینده ها توسط عدسک آبی ریزوفیلتراسیون است. نکته قابل ذکر اینکه فرایند ریزوفیلتراسیون از نظر مفهومی مشابه فرایند استخراج گیاهی است اما این روش برای پالایش آب های زیرزمینی آلوده به کار گرفته می شود نه خاک های آلوده. در این فرایند، گیاه به روش هیدروپونیک به جای خاک در آب کاشته و آلاینده به سطح ریشه یا خود ریشه جذب می شود. به این صورت که امکان دارد ترکیبات توسط گیاه جذب شوند و یا در ریشه، عمل ریزوفیلتراسیون و در ساقه های جوان عمل بلاستوفیلتراسیون و یا توسط قارچ ها، جلبک ها و باکتری ها جذب زیستی صورت پذیرد (یارقلی و همکاران، ۱۳۸۸). این روش را می توان برای Ni, Cd, Pb, Cr و Zn که اصولاً در ریشه ها نگهداری می شوند، به کاربرد (Rasin and Ensley, 2000).

با توجه به هدف این تحقیق که بررسی کارایی عدسک آبی در حذف فلزات سنگین از محلول های آبی بود، با وجود کاهش وزن گیاه نتایج مثبتی در حذف فلزات سنگین به دست آمد. پیشنهاد می شود در مطالعات بعدی آزمون ها در دامنه ای از pH های مختلف در محدوده pH بهینه تکرار گردد. هم چنین با افزودن مواد مغذی به محلول های فلزات سنگین رشد عدسک آبی تقویت شود تا از کاهش رشد گیاه جلوگیری به عمل آید.

## منابع

- بحرینی، و.، ۱۳۹۰. گیاه پالایی، مجله خوشه، ۲۶۶ (۹۱). صفحات ۶۷-۶۹.  
تیلکی، ر. م.، ۱۳۸۹. بررسی اثر گلوکز و لاکتوز بر جذب فلز توسط عدسک آبی (*Lemna minor*). مجله بهداشت محیط، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۸۰-۱۲۳.

- ختایی، ع. ر.، موفقی، ا.، تربتی، س.، صالحی لیسار، س. ی. و زارعی، م.، ۱۳۹۱. پتانسیل عدسک آبی در تجزیه رنگ آزو سی دی اسید بلو ۹۲، طراحی شبکه عصبی مصنوعی. مجله بوم آلاینده شناسی و ایمنی محیط زیست، جلد ۸۰، صفحات ۲۹۱-۲۹۸.
- داشی، م.، جعفر زاده، ن.، ۱۳۸۸. کاربرد عدسک آبی در کاهش نهایه بار آلی و جامدات معلق از فاضلاب تصفیه شده شهری، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، تهران.
- دانشور، ن.، حجازی، م. ج.، رنگارنگی، ب. و ختایی، ع. ر.، ۱۳۸۵. بررسی تجزیه فتوکاتالیستی آفت کش آلی فسفره *Phosalone* در محلول آبی دی اکسید تیتانیوم، مجله سلامت و محیط، جلد ۳۹، صفحات ۲۸۵-۲۹۶.
- دیانتی، ر. م.، یزدانی، ج.، بلارک، د.، ۱۳۹۲. بررسی اثر سوربیتول بر میزان حذف فنل توسط عدسک آبی (*Lemna minor*)، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، جلد ۲۳، صفحات ۵۸-۶۴.
- سمرقندی، م.، شیرزاد سببانی، م.، ملکی، ا.، جعفری، س. ج. و ناظمی، ف.، ۱۳۹۰. تعیین سینتیک و کارایی فرآیند فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در حذف رنگ *Reactive Black 5* (RB5) و سیانید از محلول های آبی. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، جلد ۲۱ (۸۱)، صفحات ۴۴-۵۲.
- نجف پور، ع. ا.، قاسم زاده، ف.، طیبیان، س. م. ر.، یوسف زاده، ح. و نوع دوست، ف.، ۱۳۸۸. بررسی کارایی عدسک آبی در میزان جذب نیترات از محیط آبی در شرایط آزمایشگاهی. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، تهران.
- یارقلی، ب.، عظیمی، ع. ا.، باغوند، ا.، عباسی، ف.، لیاقت، ع. ا. و اسداله فردی، غ.، ۱۳۸۸. بررسی جذب و تجمع کادمیوم از خاک آلوده توسط قسمت های مختلف ریشه. مجله آب و فاضلاب، جلد ۲۰ (۴)، صفحات ۶۰-۷۰.
- Agustionokurniawan, T., Chan, G. Y. S., Lo, W. H. and Babel, S., 2006.** Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals. *Chemical Engineering*, 118: 83-98.
- Baycu, G., Doganay, T., Hakan, O. and Sureyya, G., 2006.** Ecophysiological and seasonal variations in Cd, Pb, Zn, and Ni concentrations in the leaves of urban deciduous trees in Istanbul. *Environ. Pollut.* 143:545-554.
- Bhattacharyya, M. H., Wilson, A. K., Rajan, S. S., and Jonah, M., 2000.** Biochemical pathways in cadmium toxicity. In *Molecular Biology and Toxicology of Metals* (Eds. R.K. Zalups and J. Koropatnick). Taylor and Francis, London. pp. 34-74.
- Brown, P. H., Welch, R. M. and Cary, E. E., 1987.** Nickel: A micronutrient essential for higher plants. *Plant Physiol.* 85: 801-803.
- Fu, F. and Wang, Q., 2011.** Removal of heavy metal ions from wastewaters, a review. *Environmental Management*. 92 (3): 407-418.
- Gill, M., 2014.** Heavy metal stress in plants: a review. *International Journal of Advanced Research*. 2 (6): 1043-1055.
- Jafari, N. and Akhavan, M., 2011.** Effect of pH and heavy metal concentration on Phytoaccumulation of zinc by three duckweed species. *American – Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*. 10 (1): 34-41.
- Kaur, L., Kasturi, G. and Sharma, S., 2012.** Role of pH in the accumulation of lead and nickel by common duckweed (*Lemna minor*). *International Journal of Bioassays*. 1 (12): 191-195.
- Khellaf, N. and Zerdaoui, M., 2009.** Growth Response of the Duckweed *Lemna minor* to Heavy Metal Pollution. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 6 (3): 161-166.
- Kocberber Kilic, N., Duygu, E. and Donmez, G., 2010.** Triacontanol hormone stimulates population, growth and Brilliant Blue R dye removal by common duckweed from culture media. *Journal of Hazardous Materials*. 182 (1): 525-530.
- Krishna, R., Fulekar, M. H. and Pathak, B., 2012.** Rhizofiltration: a green technology for remediation of heavy metals. *International Journal of Innovations in Biosciences*. 2 (4): 193-199.
- Lawrence, K., Wang, J. H. T., Stephen, T. L. T. and Yung, T. H., 2010.** Handbook of environmental bioengineering. Springer Science and Business Media. 375-399.
- Malkoc, E. and Nuhoglo, Y., 2005.** Investigations of nickel (II) removal from aqueous solutions using tea factory waste. *Journal of Hazardous Materials*. 127: 120-128.
- Pais, I. and Jones, J. B., 2000.** The Handbook of Trace Elements. St. Luice Press. Florida. pp 223.
- Rasin, I. and Ensley, B. D., 2000.** Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment. John Wiley and Sons., New York.
- Reinhold, D., Vishwanathan, S., Park, J., Oh, D. and Saundersa, M., 2010.** Assessment of plant-

driven removal of emerging organic pollutants by duckweed. Chemosphere. 80 (7), 687-692.

**Salt, D. E., Smith, R. D. and Raskin, I., 1998.** Phytoremediation. J. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol. 49: 643-668.

**Vardanyan, L. G. and Ingole, B. S., 2004.** Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake system, Institute of Hydroecology and Ichthyology of National Academy of Sciences. pp 1-27.

**Mishra, V. K., 2008.** Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. Bioresource Technology. 99 (15): 7091-7097.

**Wallace, A., Soufi, S. M., Cha, J. W. and Romney, E. M., 1976.** Some effects of chromium toxicity on bush bean plants grown in soil. J. Plant Soil. 44: 471-473.

**Xing Li, S., Ying, Z. F., Yang, H. and Cong, N. J., 2011.** Thorough removal of inorganic and organic mercury from aqueous solutions by adsorption on Lemna minor powder. Journal of Hazardous Materials. 86 (1): 423-429.

**Ying, X. and Fang, Z., 2006.** Experimental research on heavy metal wastewater treatment with dipropyl-dithiophosphate. Journal of Hazardous Materials. B137 (3): 1636-1642.

**Zaccheo, P., Genevini, P. L. and Cocucci, S., 1982.** Chromium ions toxicity on the membrane transport mechanism in segments of maize seedling roots. J. Plant Nutr. 5: 1217- 1227.