# بررسی کارآیی عدسک آبی (*Lemna minor*) در حذف فلزات سنگین از محلول‌های آبی

داریوش نقی پور[۱]
کامران تقوی[۱]
شهرام صداقت حور[۲*]
مرضیه واعظ زاده[۱]

۱. دانشـــکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی گیلان، رشت، ایران
۲. دانشکده کشاورزی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات
Sedaghathoor@iaurasht.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۹/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۲
کد مقاله: ۱۳۹۴۰۱۰۱۴۷

**این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد است.**

## چکیده

آلودگی فلزات سنگین یک مشکل موجود و در حال توسعه در جهان می‌باشد. 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 مدل ICP-OES 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. هم چنین این تحقیق نشان داد که هر ۴ فلز سنگین مذکور باعث کاهش رشد عدسک آبی می شوند. این کاهش رشد برای کروم بیش‌ترمی باشد. 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.

## مقدمه

سالیانه مقادیر زیادی فاضلاب از منابع خانگی، کشاورزی و صنعتی وارد محیط‌زیست 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 ازجمله بیش‌ترین آلودگی های عمومی هستند که در فاضلاب های صنعتی یافت می شوند. این فلزات حتی در غلظت های کم نیز می‌توانند



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]

برای موجودات زنده که انسان ها را هم شامل می شود سمی باشند (Malkoc and Nuhoglu, 2005). صنایعی مثل معدن، استخراج فلزات، کارخانه‌ها ماشین، صنایع شیمیایی و الکترونیکی، آب‌کاری فلزات، قلیاکاری، کارخانه‌های ذخیره سازی باتری و ... هرساله 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 آب‌کاری یکی از پرخطرترین صنایع شیمیایی است (Agustionokurniawan *et al.*, 2006)؛ بنابراین، به‌منظور محافظت از مردم و محیط‌زیست، این فلزات سنگین باید از پسماندها و فاضلاب ها حذف گردند. روش های متعددی برای حذف یون های فلزات سنگین، مورداستفاده قرار می گیرند که متداول ترین آن ها عبارت‌اند از ته نشینی، لخته سازی، احیا، تبادل یون، تبخیر و فرآیندهای غشایی (Fu and Wang, 2011).

هرکدام از این روش ها در کنار مزایای کاربرد، معایب متعددی نیز دارند. ازجمله، 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 قابل‌قبول ازنظر زیست‌محیطی کاهش دهند، احساس می شود (Lawrence *et al*., 2010). ازاین‌رو ارائه یک روش مطمئن که ضمن رفع آلودگی، کم‌هزینه و سازگار با محیط‌زیست باشد بسیار ضروری است. گیاه پالایی روشی است که این ویژگی ها را شامل می شود. گیاه‌پالایی، یک تکنیک باصرفه اقتصادی، زیست‌محیطی و علمی است که برای کشورهای درحال‌توسعه مناسب است و تجارت باارزشی محسوب می شود. گیاه پالایی با استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه های علفی و چوبی برای برداشت مواد آلاینده از آب‌وخاک یا کاهش خطرات آلاینده های محیط‌زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو به‌کاربرده می شود. مهم ترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین بوده و میکروارگانیسم 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 پراکنده‌اند. 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 انجام‌شده است که نتایج بسیار خوبی نیز در این رابطه حاصل‌شده است (دیانتی و همکاران، ۱۳۹۲؛ تیلکی، ۱۳۸۹؛ داشی و جعفر زاده، ۱۳۸۸).

تحقیقی که Mishra (۲۰۰۸) با عنوان (حذف هم‌زمان فلزات سنگین با ۳ ماکروفیت آبزی) انجام داد، نشان داد که این ۳ گیاه آبزی، ازجمله عدسک آبی، قادرند فلزات سنگین (آهن، مس، روی، کروم و کادمیوم) را طی ۱۵ روز آزمایش بیش از ۹۰ درصد حذف نمایند. هم‌چنین 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 آبزی به طور مستقیم و غیرمستقیم در حذف آلاینده های آلی نوظهور از تالاب ها کمک می کنند.

طی تحقیق دیگری که Kocberber Kilic و همکاران (۲۰۱۰) بر روی حذف رنگ آبی درخشان از محیط کشت به‌وسیله 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. هم‌چنین این تحقیق نشان داد که عدسک آبی می تواند به‌طور مؤثر برای تصفیه فاضلاب های آلوده به رنگ مورداستفاده 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. هم‌چنین 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 به‌وسیله 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. هم‌چنین در این تحقیق اثر بازدارندگی این فلزات سنگین بر رشد گیاه عدسک آبی نیز موردبررسی قرارگرفته است.



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]

## 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. به‌منظور تهیه محلول های آبی فلزات سنگین، با استفاده از محلول استوک ۱۰۰ پی‌پی‌ام، محلول هایی با غلظت های ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر ساخته شد. پس از تهیه محلول های فلزات سنگین با غلظت ۱۰ میلی گرم بر لیتر، پی اچ محلول آبی هر یک از فلزات سنگین در غلظت مذکور موردسنجش قرار گرفت. به‌منظور تماس گیاه با محلول های آبی فلزات سنگین از ظروف یک‌بارمصرف به حجم ۱۰۰ میلی لیتر استفاده شد. این ظروف طی سه مرحله با اسید، آب شهری و درنهایت با آب مقطر شستشو داده شدند. محلول های فلزات سنگین نامبرده به ظروف یک‌بارمصرف منتقل شد. سپس گیاه عدسک آبی به وزن های ۰/۸ گرم به ظروف افزوده شد. همان‌طور 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 پس‌ازآن بلافاصله توسط ترازو توزین شد. پس‌ازاین 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 به‌منظور تعیین فلزات سنگین تبخیر شده یا جذب‌شده توسط ظروف یک‌بارمصرف، مورد آزمایش قرار گرفت. برای جبران آب ازدست‌رفته 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 یک‌بارمصرف 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 درروی کاغذ صافی با آب مقطر شستشو داده شدند و محلول شستشو هم به محلول صاف‌شده فلزات سنگین افزوده شد. سپس محلول صاف‌شده 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 پلی‌اتیلن 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 تجزیه‌وتحلیل داده ها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

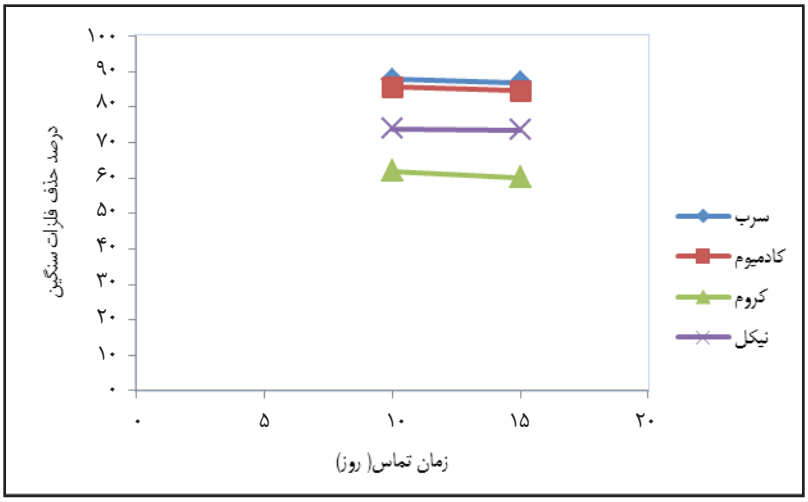
## نتایج

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 داده‌شده است.

نتایج نشان داد که در زمان تماس ۱۰ روز راندمان حذف هر ۴ فلز سنگین سرب، کادمیوم، کروم و نیکل بیش‌تر از زمان تماس ۱۵ روز است. هم‌چنین بیش‌ترین راندمان حذف مربوط به سرب می باشد، این مقدار ۸۷/۸۳ درصد است. کم‌ترین 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 ارائه‌شده در شکل ۱ شامل حذف توسط تبخیر نمی باشد. شکل ۱ درصد حذف فلزات مختلف را نشان می‌دهد.



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]




**شکل ۱: تأثیر زمان تماس بر حذف گیاهی فلزات سنگین در عدسک آبی (*Lemna minor*).**

(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر – وزن گیاه عدسک آبی ۰/۸ گرم)

نتایج حاصل از آزمایش‌ها 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 داده‌شده 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 میلی‌گرم بر لیتر، بدون عدسک آبی).

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

**جدول ۲: راندمان حذف گیاهی همرا باراندمان تبخیر فلزات سنگین مختلف در زمان های تماس ۱۰ و ۱۵ روز.**

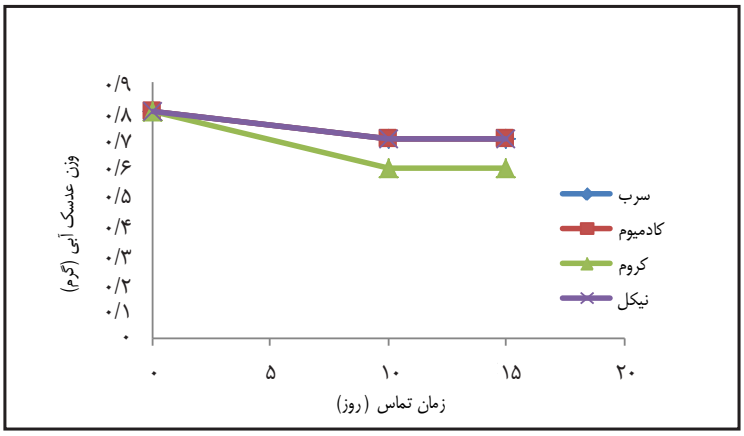
(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، وزن گیاه عدسک آبی ۰/۸ گرم).

| زمان تماس (روز) / راندمان حذف فلزات سنگین | سرب | کادمیوم | کروم | نیکل |
|---|---|---|---|---|
| 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 یک‌میزان است اما برای کروم کاهش رشد گیاه عدسک آبی بیش‌تر می باشد. هم‌چنین پس از طی زمان تماس ۱۵ روز این کاهش رشد در ۴ فلز سنگین مذکور ثابت می باشد.



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]




**شکل ۲: تأثیر زمان تماس بر حذف گیاهی فلزات سنگین در عدسک آبی (*Lemna minor*).**
(غلظت فلزات سنگین ۱۰ میلی‌گرم 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 آب‌وهوای شهر رشت، انجام‌شده 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 پس‌ازآن راندمان حذف، کاهش می یابد که با نتایج به‌دست‌آمده در تحقیق انجام‌شده 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 بیش‌تر از نیکل بوده است؛ اما تحقیقی در خصوص مقایسه میزان حذف ۴ فلز سنگین موردبررسی در این تحقیق، توسط عدسک آبی در شرایط یکسان انجام‌نشده 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 موردمطالعه، 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 غیرضروری 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 (مسیرآپوپلاستی) و به‌وسیله عبور از مسیر سیم پلاستی وارد ریشه گیاه شود. کادمیوم پس از ورود به ریشه می تواند از مسیر سلولی حرکت کرده و درنهایت 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.*,



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]

2006). نیکل از جدیدترین عناصر ضروری شناخته‌شده برای گیاه است. اگرچه نیکل هم‌اکنون به‌عنوان یک عنصر ضروری بسیار کم‌مصرف شناخته‌شده است، اما تنها نقش تعریف‌شده این عنصر، شرکت در سوخت‌وساز اوره می باشد که این فرایند در گیاهانی که از اوره به‌عنوان 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 همین‌طور 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 به‌طور عمده در ریشه انباشته می شود و دلیل آن نیز غیر متحرک شدن کروم در واکوئل های ریشه می باشد. این غیر متحرک شدن کروم در واکوئل ها سبب کاهش سمیت کروم در گیاه می شود. اختلال در عمل غشای پلاسمایی H+ATPase عامل دیگری برای کاهش جذب در گیاهان تغذیه‌شده با کروم ذکرشده 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 درنتیجه 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). هم‌چنین 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 کم‌ترین 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 می‌رساند و کم‌ترین 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 قرارگرفته است (Jafari and Kaur *et al.*, 2012; Akhavan, 2011).

مطالعه حاضر هم‌چنین نشان داد که غلظت ۱۰ میلی‌گرم 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 قابل‌ذکر اینکه فرایند ریزوفیلتراسیون ازنظر 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 به‌جای 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 Pb، Cd، Ni، Zn و Cr 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، باوجود کاهش وزن گیاه نتایج مثبتی در حذف فلزات سنگین به دست آمد. پیشنهاد می شود در مطالعات بعدی آزمون ها در دامنه‌ای از pH های مختلف در محدوده pH بهینه تکرار گردد. هم‌چنین 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.** گیاه‌پالایی، مجله خوشه، ۲۶۶ (۹۱). صفحات ۶۷-۶۹.

**تیلکی، ر. م.، ۱۳۸۹.** بررسی اثر گلوکز و لاکتوز برجذب فنل توسط عدسک آبی (*Lemna minor*). مجله بهداشت محیط، جلد ۷، شماره ۲، صفحات ۸۰-۱۲۳.



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]

**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 محیطزیست، جلد ۸۰، صفحات ۲۹۱-۲۹۸.

**داشی، م.، جعفر زاده، ن.، ۱۳۸۸.** کاربرد عدسک آبی در کاهش نهایی 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 آفت‌کش آلی فسفره *Phosalone* در محلول آبی دی‌اکسید 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 سیبنی، م.، ملکی، ا.، جعفری، س. ج. و ناظمی، ف.، ۱۳۹۰.** تعیین سینیتیک و کارایی فرآیند فتوکاتالیستی دی‌اکسید تیتانیوم در حذف رنگ *Reactive Black ۵ (RB۵)*و سیانید از محلول های آبی. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، جلد ۲۱ (۸۱)، صفحات ۴۴-۵۲.

**نجف پور، ع. ا.، قاسم‌زاده، ف.، طیبان، 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 خاک‌آلوده توسط قسمت های مختلف ریشه. مجله آب و فاضلاب، جلد ۲۰ (۴)، صفحات۶۰-۷۰.

**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-



[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]

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 dipropyldithiophosphate. 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.

[ Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2025-06-07 ]