قابلیت چهار گیاه آبزی در زیست پالایی رودخانه گهررود، زرجوب، آبگیر عینک و تالاب انزلی (استان گیلان)

علی شیرین پور ولدی[۱]
عبداله حاتم زاده[۲]
شهرام صداقت حور[۳*]

۱. دانشجوی دکتری گیاهان زینتی و فضای سبز، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۲. استاد گروه باغبانی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران
۳. دانشیار گروه باغبانی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

***مسئول مکاتبات:**
sedaghathoor@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰
این مقاله برگرفته از رساله دکتری است.

چکیده

یکی از مشکلات عمده زیست‌محیطی در جهان آلودگی با فلزات سنگین می‌باشد که برای حذف فلزات سنگین و ایجاد محیط‌زیست پایدار از فن‌آوری نوین گیاه‌پالایی استفاده می‌شود. لذا به‌منظور بررسی توان گیاه‌پالایی گیاهان زینتی آبزی در محیط‌های آبی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. در این آزمایش، ۴ گیاه شامل نخل مرداب، عدسک آبی، سنبل آبی و گل اختر در ۵ محیط آبی آلوده شامل رودخانه گهررود، زرجوب، آبگیر عینک، تالاب انزلی و شاهد (دارای فلزات کادمیوم، کروم، سرب و روی) موردمطالعه قرار گرفت. فلزات سنگین شامل سرب، نیکل، کادمیوم و روی با استفاده از دستگاه ICP مورداندازه‌گیری قرار گرفتند. همچنین میزان ازت، پرولین و پروتئین هم مورد ارزیابی واقع شد. نتایج نشان داد که بیشترین میزان جذب فلزات سرب، نیکل، کادمیوم و روی مربوط به فروند عدسک آبی بوده است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از اثر آب‌های آلوده بر میزان جذب عناصر سنگین، بیشترین میزان جذب کادمیوم، سرب و روی و همچنین بیشترین میزان پروتئین، پرولین و نیتروژن مربوط به تیمار شاهد بوده است. به‌طورکلی براساس نتایج این پژوهش می‌توان بیان داشت که عدسک آبی برای گیاه‌پالایی اکثر فلزات سنگین مناسب می‌باشد.

واژگان کلیدی: عدسک آبی، فلزات سنگین، آلودگی، پرولین، گیاه‌پالایی.

مقدمه

آلودگی فلزات سنگین یک مشکل موجود، و درحال‌توسعه در جهان می‌باشد (Matlock *et al*., 2001). فلزات سنگین مثل سرب، مس، کادمیوم و نیکل ازجمله بیشترین آلودگی‌های عمومی هستند که در فاضلاب‌های صنعتی یافت می‌شوند. این فلزات حتی در غلظت‌های کم نیز می‌توانند برای موجودات زنده که انسان‌ها را هم شامل می‌شود سمی باشند (Malkoc and Nuhoglo, 2005). گیاه‌پالایی فن‌آوری نوینی است که در آن گیاهان برای حذف آلاینده‌های محیطی نظیر فلزات سنگین استفاده می‌نمایند و گیاهانی که در این فن‌آوری استفاده می‌شوند دارای ویژگی‌هایی چون، تحمل سطوح بالای غلظت فلز در محیط رشد، انباشته کردن سطوح بالای فلز به‌صورتی که قابل‌برداشت باشد و رشد سریع و تولید زیست‌توده بالا می‌باشند (Meagher,2000; Pilon–Smits, 2005). گیاه‌پالایی می‌تواند در سطح آزمایشگاهی یا مزرعه‌ای انجام شود. این آلاینده‌ها شامل فلزات سنگین، حلال‌های کلر، هیدروکربن‌های نفتی، حشره‌کش و غیره می‌باشند (Khan *et al*., 2004). بعضی از گونه‌های گیاهی معین می‌توانند غلظت‌های بالایی از عناصر و فلزات را در بافت‌هایشان بدون نشان دادن علائم سمیت در خود ذخیره کنند (Bennett *et al*., 1997) و در صورت کافی بودن زیست‌توده آن‌ها با توجه به میزان فلزات سنگین می‌توان به‌طور موفقیت‌آمیز در گیاه‌پالایی استفاده کرد (Ebbs and Kochian, 1998). در گیاه‌پالایی، ریشه‌های استقراریافته گیاهان، عناصر فلزی را از خاک جذب و آن‌ها را به اندام‌های هوایی ساقه جهت انباشته شدن هدایت و جابجا می‌کند. پس از رشد کافی گیاهان و انباشت فلز، اندام‌های بالایی سطح زمین از گیاه برداشت و حذف می‌شود و درنتیجه حذف دائم فلزات امکان‌پذیر می‌شود (Nandakumar *et al*., 1995). گیاهان قادر به تجمع فلزات ضروری (کلسیم،

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

کبالت، مس، آهن، پتاسیم، منیزیم، منگنز، مولیبدن، سدیم، آلومینیوم و روی) از محلول خاکی هستند و نیاز به غلظت‌های متفاوتی از این عناصر برای رشد و نمو دارند. این توانایی همچنین به گیاهان اجازه می‌دهد که سایر عناصر غیرضروری را هم جذب و در گیاه ذخیره کند ازجمله آرسنیک، نقره، کروم، جیوه، سرب، پالادیوم، پلاتین و اورانیوم که کارکردهای بیولوژیک ناشناخته‌ای دارند. فلزات سنگینی مانند کادمیوم، مس، سرب، کروم، روی و نیکل از مهم‌ترین آلاینده‌های زیست‌محیطی، به‌ویژه در مناطق صنعتی با تراکم بالای جمعیتی به شمار می‌روند (Djingova and Kuleff, 2000). Mishra و همکاران (۲۰۰۸) نشان دادند که ۳ گیاه آبزی سنبل آبی، کاهوی آبی و عدسک آبی، قادرند فلزات سنگین (آهن، مس، روی، کروم و کادمیوم) را طی ۱۵ روز بیش از ۹۰ درصد حذف نمایند. همچنین این تحقیق نشان داد که بیشترین حذف در ۱۲ روز صورت می‌گیرد و سپس درصد حذف کاهش می‌یابد. نجف‌پور و همکاران (۱۳۸۸) نشان دادند که گیاه عدسک آبی می‌تواند نیترات را در غلظت‌های پایین از محلول‌های آبی جذب نماید اما با افزایش غلظت نیترات این جذب کاهش می‌یابد. Xing Li و همکاران (۲۰۱۱) دریافتند که پودر عدسک آبی قادر به حذف جیوه آلی و غیرآلی از محلول‌های آبی است. سنبل آبی برای تصفیه پساب‌های صنعتی مورداستفاده قرار می‌گیرد. تجمع بعضی از فلزات سنگین و عناصر کمیاب در بسیاری از گونه‌های گیاهان تالاب ثابت شده است (Dunbabin and Bowmer, 1992). سنبل آبی در حذف محسوس مقدار فلزات سنگین کادمیوم، کروم، مس، منگنز، سرب، نیکل و روی از آب شیرین مخصوصاً در غلظت کم مؤثر است (Soltan and Rashed, 2003). ناصری و همکاران (۱۳۹۲) گزارش کرده‌اند که گل اختر، رازقی و شمعدانی به‌عنوان بیش‌اندوزهای سرب هستند و قادرند از ۱۴۶ تا ۶۵۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم سرب را در خود تجمع دهند. تالاب انزلی یکی از بوم‌سازگان‌های مهم آبی در ایران است که در جنوب غربی دریای خزر قرارگرفته و زیستگاه ماهیان، آبزیان و پرندگان باارزش است که تحت تأثیر افزایش جمعیت و صنعتی شدن شهرهای حاشیه خود قرارگرفته و موقعیت نگران‌کننده‌ای ازلحاظ میزان آلاینده‌ها پیدا نموده است. آلودگی‌های انسانی و غیرانسانی وارد شده به اکوسیستم‌های آبی نهایتاً منجر به افزایش میزان آلاینده‌های آلی و معدنی و به‌ویژه فلزات سنگین در آب و در رسوبات و به‌تبع آن در آبزیان می‌شود (خسروی و همکاران، ۱۳۹۰). رودخانه‌های زرجوب، آبگیر عینک و گهررود از محیط‌های آبی مهم شهر رشت می‌باشند. دو رودخانه زرجوب و گهررود از میان شهر رشت عبور می‌کنند و بیشترین آب مصرفی شرب و کشاورزی منطقه را تأمین می‌کنند. از بین دو حوزه زرجوب و گهررود رودخانه زرجوب که عمده آب شهرستان را تأمین می‌کند، آلوده‌ترین رودخانه در سطح گیلان و حتی کشور است و بسیاری از بیماری‌های میکروبی را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم گسترش می‌دهد (قدرتی و همکاران، ۱۳۸۶). باتوجه به اهمیت و توان بالای گیاهان در پالایش محیط‌های آلوده، در نظر است قابلیت ۴ گیاه زینتی آبزی سنبل آبی (*Eichhornia crassipes*)، عدسک آبی (*Lemna minor*)، اختر (*Canna × generalis*) و نخل مرداب (*Cyperus alternifolius*) در پالایش آب حاصل از چند محیط آبی گیلان ازجمله رودهای زرجوب، گهررود، عینک، تالاب انزلی و آب شهری رشت مورد ارزیابی قرار گیرد.

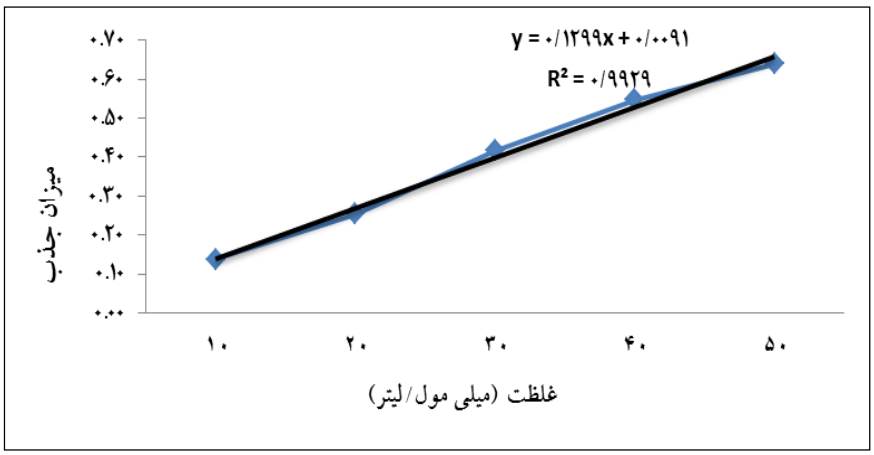
مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۶ انجام شد. فاکتور اول ۴ گیاه زینتی نخل مرداب، عدسک آبی، سنبل آبی و گل اختر، که کلیه گیاهان به‌جز عدسک آبی ازنظر رشدی در مرحله ۴ برگی به بالا بودند. فاکتور دوم ۵ محیط‌آبی آلوده شامل: رودهای گهررود، زرجوب، آبگیر عینک، تالاب انزلی (روستای آبکنار) و شاهد (دارای فلزات کادمیوم، سرب و روی با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بود. برای تعدیل آلودگی ناشی از محل رشد، گیاهان مورد آزمایش به مدت ده روز در شرایط کنترل‌شده با آب شهر نگهداری شدند. برای اجرای آزمایش ۶۰ کرت آزمایشی (پلات) و در هر واحد آزمایشی ۴ گیاه و درمجموع ۲۴۰ گیاه موردمطالعه قرار گرفت. محیط رشد گیاهان، محیط آبی داخل ظروف پلاستیکی ۳ لیتری بود که حدود ۱۰ هفته گیاهان در این محیط رشد کردند.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

برای عصاره‌گیری و هضم بخش‌های هوایی گیاهان از تهیه خاکستر به روش Wilson (۱۹۸۳) استفاده شد. یک گرم از هر نمونه خشک توزین و داخل بوته‌های چینی ریخته سپس نمونه‌ها داخل کوره به مدت ۴ ساعت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. خاکستر حاصل پس از کوبیدن در بشر ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۰/۱ مولار نیتریک اسید (HNO_3) به آن اضافه گردید و مخلوط حاصل به مدت نیم ساعت روی اجاقک قرار گرفت، تا با جوشاندن ملایم (دمای ۴۰-۳۰ درجه سانتی‌گراد) هضم گردد. محتویات داخل بشر در یک استوانه مدرج ۵۰ میلی‌لیتر در حالت ولرم صاف گردید و محلول صاف‌شده برای اندازه‌گیری فلزات سنگین جذب‌شده توسط اندام‌های هوائی و ریشه گیاه استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین از دستگاه ICP-MS هم در آب و هم در اندام گیاه (ریشه و ساقه به‌غیراز عدسک آبی) استفاده شد. در عدسک آبی فقط یک اندازه‌گیری از کل گیاه انجام شد. فلزات مورداندازه‌گیری شامل: سرب، نیکل، کادمیوم و روی بود.

اندازه‌گیری پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) انجام پذیرفت. جهت اندازه‌گیری پرولین ۰/۱ گرم از بافت تر را در ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۳ درصد اسید سولفوسالیسیلیک ساییده و مخلوط یکنواختی تهیه گردید. عصاره حاصل با استفاده از سانتریفیوژ مدل NAPCO2028R به مدت ۵ دقیقه در ۱۰۰۰۰ دور سانتریفیوژ شد. سپس ۲ میلی‌لیتر از مایع رویی را با ۲ میلی‌گرم معرف نین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر استیک اسید خالص مخلوط کرده و ۱ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد حمام آب گرم، قرار گرفت. بعدازاین مدت، جهت قطع انجام کلیه واکنش‌ها، لوله‌های محتوی مخلوط در حمام یخ، سرد گردید، سپس ۴ میلی‌لیتر تولوئن به مخلوط اضافه گردید و لوله‌ها به‌خوبی تکان داده شد. با ثابت نگه‌داشتن لوله ها به مدت ۱۵-۲۰ ثانیه، ۲ لایه کاملاً مجزا در آن‌ها تشکیل شد. از لایه رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین بود، برای اندازه‌گیری غلظت پرولین استفاده گردید. جذب مقدار مشخصی از این ماده رنگی در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر تعیین شد و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد، تعیین گردید.



شکل ۱: منحنی استاندار پرولین.

در رابطه مربوطه Y برابر جذب خوانده‌شده و X برابر با غلظت پرولین برحسب میلی‌مول بر لیتر است.

برای سنجش مقدار پروتئین کل از روش Bradford (۱۹۷۶) استفاده شد. مبنای این روش بر اساس اتصال رنگ کوماسی برلیانت بلوG250 موجود در معرف اسیدی به مولکول پروتئین است. برای این منظور ابتدا عصاره پروتئینی استخراج شد. بدین‌صورت که یک گرم بافت برگ تازه در هاون چینی دارای ۵ میلی‌لیتر بافر تریس-HCl ۰/۰۵ مولار با pH ۷/۵ به‌طور کامل سائیده شد، سپس محلول برای مدت ۲۵ دقیقه در ۱۰۰۰ دور در دمای ۴ درجه سلسیوس، سانتریفیوژ شد، سپس محلول رویی برای اندازه‌گیری پروتئین استفاده شد. برای سنجش غلظت پروتئین به لوله‌های آزمایش دارای ۱۰۰ میکرولیتر عصاره، ۵ میلی‌لیتر معرف بیوره افزوده شد و بی‌درنگ به‌هم زده شد. پس از ۲۴ دقیقه جذب آن با دستگاه اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۹۵ نانومتر خوانده شد و غلظت پروتئین با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه گردید. مقدار نیتروژن در نمونه‌ها با

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

دستگاه کجلدال تعیین شد (Bremner and Mulvaney, 1982). تجزیه آماری داده‌ها با نرم‌افزار MSTATC و مقایسه میانگین داده‌ها با آزمون LSD انجام شد.

نتایج

میزان آلودگی محیط‌های موردمطالعه (جدول ۱) نشان می‌دهد که بیشترین میزان نیکل مربوط به زرجوب و آبگیر عینک و همچنین بیشترین میزان کادمیوم متعلق به آبگیر عینک، بیشترین میزان سرب، روی مربوط به تالاب انزلی بوده است.

جدول ۱: مقایسه میزان آلودگی محیط‌های موردمطالعه.

Sample	Pb (ppb)	Ni (ppb)	Zn (ppb)	Cd (ppb)
گهر رود	۱/۰۲۶	۵/۷۹۷	۶/۳۸۷	۰/۰۳۳
زرجوب	۰/۸۱۷	۵/۸۸۹	۲/۶۹۵	۰/۰۲۷۴
آبگیر عینک	۰/۱۴۶	۵/۸۸۲	۲/۹۰۹	۰/۰۵۲
تالاب انزلی	۱۶/۵۰۷	۳/۲۲۴	۲۶/۴۷۱	۰/۰۳۸

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر آب‌های آلوده در سطح احتمال یک درصد بر میزان پروتئین در گیاه معنی‌دار بوده است. اما اثر ساده نوع گیاه و اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲).

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع گیاه در سطح احتمال پنج درصد و اثر آب‌های آلوده و اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" در سطح یک درصد بر میزان پرولین معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین میزان پرولین در گیاه مربوط به سنبل آبی (۱۰/۹۳ میکرومول در گرم وزن تر) بوده است و کمترین میزان پرولین هم مربوط به عدسک آبی (۷/۷۶ میکرومول در گرم وزن تر) بوده است (جدول ۳). بیشترین میزان پرولین از تیمار شاهد (۱۳/۰۶ میکرومول در گرم وزن تر) به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت و کمترین میزان آن مربوط به گهر رود (۶/۵۶ میکرومول در گرم وزن تر) بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" (جدول ۵) بر میزان پرولین نشان داد که بیشترین میزان پرولین مربوط به تیمار "نخل مرداب در شاهد" (۲۰/۹۴ میکرومول در گرم وزن تر) بوده است و کمترین میزان پرولین هم از تیمار "نخل مرداب در گهر رود" (۳/۸۴ میکرومول در گرم وزن تر) به‌دست‌آمده است.

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر آب‌های آلوده در سطح احتمال یک درصد بر میزان جذب نیتروژن توسط ساقه معنی‌دار بوده است اما اثر نوع گیاه و اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر این صفت معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر آب‌های آلوده بر میزان غلظت نیتروژن نشان داد که بیشترین میزان غلظت نیتروژن از تیمار شاهد (۱۳/۰۶٪) به دست آمد و کمترین میزان غلظت نیتروژن مربوط به گهررود (۶/۵۶٪) بود (جدول ۴).

نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده نوع گیاه و آب‌های آلوده و اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر میزان جذب کادمیوم توسط ساقه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین جذب کادمیوم در اندام هوایی مربوط به عدسک آبی (۸۸۰/۴ppm) بود و کمترین میزان جذب هم مربوط به گل اختر (۳۷/۱۷ ppm) بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر آب‌های آلوده بر میزان غلظت کادمیوم بیشترین میزان غلظت کادمیوم از تیمار شاهد (۱۴۴۵/۰ ppm) به دست آمد و کمترین میزان غلظت کادمیوم مربوط به زرجوب (۱/۳۳ ppm) بود که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثرمتقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" (جدول ۵) بر میزان جذب کادمیوم در اندام هوایی نشان داد که تیمار "عدسک آبی در شاهد" (ppm

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

۴۳۸۰/۰) بیشترین میزان جذب کادمیوم را به خود اختصاص داده است و کمترین میزان جذب هم مربوط به تیمار "عدسک آبی در زرجوب" (۰/۲۳ ppm) بود.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ۲: تجزیه واریانس اثر فاکتورهای آزمایشی بر صفات مورد مطالعه.

		میانگین مربعات								
منابع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین	پرولین	نیتروژن (ساقه)	سرب (ساقه)	نیکل (ساقه)	نیکل (ریشه)	کادمیوم (ساقه)	کادمیوم (ریشه)	روی (ساقه)
تکرار	۲	ns۲/۶۹	ns۱/۵۸	ns۰/۳۸	ns۵۹۳۹۰/۹۶	ns۰/۱۶۳	ns۰/۰۰۴	ns۱۰۲۷۷/۰۸	ns۱۳/۴۷	ns۱۲۱۳۱/۳۴
گیاهان (A)	۳	ns۷/۵۶	*۲۷/۲۹	ns۱/۰۸	+۱۲۰۵۶۰۹/۹۴	**۶/۷۰	**۰/۰۵۰	**۲۳۱۵۴۶۶/۵۴	**۹۴۷/۲۳	**۱۳۷۵۲۷/۴۳
آب‌های آلوده (B)	۴	**۴۴۰۶/۷۶	**۶۶/۹۲	**۶۲۷/۴۵	**۳۰۱۱۳۱۵/۱۲	ns۲/۸۰	ns۰/۰۱۵	**۴۹۳۹۹۶۲/۸۱	**۶۴۹۳/۶۸	**۲۱۸۰۷۵/۲۵
AB	۱۲	ns۷/۳۹	**۴۱/۸۱	ns۱/۰۵	*۱۱۸۳۰۶۱/۵۲	*۳/۰۲	ns۰/۰۱۴	**۲۳۵۶۷۵۰/۸۹	**۲۳۵۸/۸۸	**۴۱۷۷۷/۳۲
خطا	۳۸	۶/۲۹	۹/۲۱	۰/۹۰	۵۲۵۷۶۰/۳۲	۱/۴۰	۰/۰۰۷	۸۷۱۹/۳۶	۲۱/۸۶	۱۰۰۴۱/۱۲
ضریب تغییرات (٪)		۶/۷۸	۳۲/۴۲	۶/۷۸	۲۳۸/۵۰	۳۴/۵۶	۰/۴۰	۳۱/۴۳	۲۵/۸۷	۴۱/۷۶

ns: اختلاف غیر معنی‌دار، **: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱٪ و *: اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، +: اختلاف معنی‌دار در سطح ۱۰٪

جدول ۳: مقایسه میانگین اثر نوع گیاه بر صفات مورد مطالعه.

تیمار	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر)	سرب (ساقه) ppm	نیکل (ساقه) ppm	نیکل (ریشه) ppm	کادمیوم (ساقه) ppm	کادمیوم (ریشه) ppm	روی (ساقه) ppm
نخل مرداب	۹/۸۴	۳۰۴/۶ab	۳/۳۳bc	۰/۲۰a	۹۶/۷۶c	۹/۳۶c	۱۴۳/۵c
عدسک آبی	۷/۷۶	۷۰۴/۵a	۴/۲۳a	–	۸۸۰/۴a	–	۳۷۰/۱a
سنبل آبی	۱۰/۹۳	۱۱۵/۷b	۲/۶۰c	۰/۰۹b	۱۷۳/۹b	۱۹/۹۳b	۲۴۱/۶b
گل اختر	۸/۹۲	۹۱/۲۶ b	۳/۵۱ab	۰/۱۸a	۳۷/۱۷c	۲۵/۹۳a	۲۰۴/۵bc

حروف مشترک در ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

جدول ٤: مقایسه میانگین اثر آب‌های آلوده بر صفات مورد مطالعه.

	پروتئین (٪)	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر)	نیتروژن (ساقه) (٪)	سرب (ساقه) ppm	کادمیوم(ساقه) ppm	کادمیوم(ریشه) ppm	روی (ساقه) ppm
گهر رود	۱۲/۹۶e	۶/۵۶c	۶/۵۶c	۸۲/۴۹b	۵/۵۹b	۰/۰۹۵c	۱۸۳/۵bc
زرجوب	۲۴/۸۰d	۹/۰۳bc	۹/۰۳bc	۶۶/۸۲b	۱/۳۳b	۰/۰۳۶c	۱۳۳/۲c
آبگیر عینک	۳۶/۶۵c	۸/۵۷bc	۸/۵۷bc	۷۹/۱۱b	۱۱/۱۶b	۰/۰۴۷c	۱۸۵/۵bc
تالاب انزلی	۴۹/۴۵b	۹/۵۸b	۹/۵۸b	۹۱/۷۲b	۲۲/۵۰b	۳۰/۰۶b	۲۲۳/۳b
شاهد	۶۱/۲۳a	۱۳/۰۶a	۱۳/۰۶a	۱۲۰۰/۰a	۱۴۴۵/۰a	۶۰/۱۳a	۴۷۴/۲a

حروف مشترک در ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

جدول ۵: مقایسه میانگین اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر صفات مورد مطالعه.

تیمار	پرولین (میکرومول در گرم وزن تر)	سرب (ساقه) ppm	نیکل (ساقه) ppm	کادمیوم (ساقه) ppm	کادمیوم (ریشه) ppm	روی (ساقه) ppm
"نخل مرداب در گهررود"	۳/۸۴fg	۵۴/۹۰b	۳/۲۷c-g	۰/۷۰e	۰/۰۶d	۱۲۲/۷c-f
"نخل مرداب در زرجوب"	۸/۷۸b-g	۴۷/۶۷b	۳/۶۰a-g	۰/۳۵e	۰/۰۲d	۷۱/۵۷f
"نخل مرداب در آبگیرعینک"	۹/۷۲b-f	۶۴/۳۵b	۲/۷۰efg	۲۵/۵۳de	۰/۰۳d	۹۵/۹۷def
"نخل مرداب در تالاب انزلی"	۵/۸۹d-g	۱۲۰/۶b	۳/۴۳a-g	۸۵/۰۵de	۴/۳۷d	۱۷۳/۶c-f
"نخل مرداب در شاهد"	۲۰/۹۴a	۱۲۳۶b	۳/۶۷a-g	۳۷۲/۲c	۴۲/۳۵c	۲۵۳/۵cd
"عدسک آبی در گهررود"	۵/۰۵fg	۹۵/۲۸b	۲/۶۳efg	۱۷/۹۸e	–	۲۶۸/۶c
" عدسک آبی در زرجوب"	۱۰/۸۳bcd	۸۳/۲۸b	۵/۰۳abc	۰/۲۳e	–	۲۰۷/۶c-f
" عدسک آبی در آبگیرعینک"	۵/۷۳efg	۸۱/۰۰b	۴/۱۷a-f	۱/۵۵e	–	۲۴۵/۴cde
" عدسک آبی در تالاب انزلی"	۶/۵۰d-g	۸۸/۶۰b	۴/۰۲a-f	۱/۶۷e	–	۲۳۸/۹cde
" عدسک آبی در شاهد"	۱۰/۶۷b-e	۳۱۷۴a	۵/۲۸a	۴۳۸۰/۰a	–	۸۹۰/۰a
"سنبل آبی در گهررود"	۸/۰۰c-g	۸۱/۱۸b	۲/۹۳efg	۰/۴۳e	۰/۰۷d	۱۵۷/۳c-f
" سنبل آبی در زرجوب"	۱۱/۶۷bc	۵۴/۶۷b	۱/۷۳g	۰/۶۷e	۰/۰۴d	۸۵/۸۰ef
" سنبل آبی در آبگیرعینک"	۱۰/۸۳bcd	۹۶/۴۱b	۳/۳۲b-g	۱۳/۴۹e	۰/۰۴d	۲۰۵/۷c-f
" سنبل آبی در تالاب انزلی"	۱۲/۶۱bc	۶۷/۳۰b	۲/۹۵efg	۱/۴۴e	۰/۲۷d	۲۸۰/۴c
" سنبل آبی در شاهد"	۱۱/۵۴bc	۲۷۹/۰b	۲/۰۷fg	۸۵۳/۵b	۹۹/۲۱a	۴۷۹/۰b
"گل اختر در گهررود"	۹/۳۳b-f	۹۸/۵۸b	۳/۰۰d-g	۳/۲۳e	۰/۱۵d	۱۸۵/۴c-f
" گل اختر در زرجوب"	۴/۸۳fg	۸۱/۶۵b	۱/۸۵g	۴/۰۵e	۰/۰۵d	۱۶۸/۰c-f
" گل اختر در آبگیرعینک"	۸/۰۰c-g	۷۴/۶۷b	۴/۹۲a-d	۴/۰۵e	۰/۰۷d	۱۹۴/۸c-f
" گل اختر در تالاب انزلی"	۱۳/۳۳b	۹۰/۴۰b	۲/۵۲efg	۱/۸۵e	۸۵/۵۴b	۲۰۰/۲c-f
" گل اختر در شاهد"	۹/۰۸b-f	۱۱۱/۰b	۵/۲۷ab	۱۷۲/۷d	۳۸/۸۴c	۲۷۴/۲c

حروف مشترک در ستون نشانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون LSD است.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

ازآنجایی‌که ریشه‌های عدسک آبی قابل جداسازی نبود لذا میزان جذب فلزات در ریشه سه گیاه سنبل آبی، نخل مرداب و گل اختر مطالعه شد. براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر ساده نوع گیاه و آب‌های آلوده و اثرمتقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر میزان جذب کادمیوم توسط ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که، ریشه گل اختر (۲۵/۹۳ قسمت در میلیون) بیشترین میزان کادمیوم را جذب نمود و کمترین میزان جذب مربوط به ریشه نخل مرداب (۹/۳۶ قسمت در میلیون) بود (جدول ۳). همچنین نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر آب‌های آلوده بر میزان جذب کادمیوم نشان داد که بیشترین میزان جذب کادمیوم از تیمار شاهد (۶۰/۱۳ قسمت در میلیون) به دست آمد و کمترین میزان جذب کادمیوم مربوط به زرجوب (۰/۰۳۶ قسمت در میلیون) بود که با گهررود (۰/۰۹۵ قسمت در میلیون) و آبگیرعینک (۰/۰۴۷ قسمت در میلیون) تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر میزان جذب کادمیوم در ریشه نشان داد که تیمار "سنبل آبی در شاهد" (۹۹/۲۱ قسمت در میلیون) بیشترین میزان جذب کادمیوم را داشت و تیمار "نخل مرداب در زرجوب" (۰/۰۲ قسمت در میلیون) کمترین میزان جذب کادمیوم را داشت (جدول ۵).

با توجّه به جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر ساده نوع گیاه و آب‌های آلوده و اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر میزان جذب روی توسط اندام‌هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین جذب روی مربوط به عدسک آبی (۳۷۰/۱ قسمت در میلیون) بود و کمترین میزان جذب هم مربوط به نخل مرداب (۱۴۳/۵ قسمت در میلیون) بود (جدول ۳). براساس نتایج مقایسه میانگین داده‌های اثر آب‌های آلوده بر میزان غلظت روی توسط ساقه، بیشترین میزان غلظت مربوط به تیمار شاهد (۴۷۴/۲ قسمت در میلیون) بوده است و کمترین میزان غلظت روی (۱۳۳/۲ قسمت در میلیون) مربوط به زرجوب بود (جدول ۴). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" (جدول ۵) بر میزان جذب روی در اندام‌هوایی نشان داد که تیمار "عدسک آبی در شاهد" (۸۹۰ قسمت در میلیون) بیشترین میزان جذب روی در فروند را داشت و کمترین میزان جذب هم مربوط به تیمار "نخل مرداب در زرجوب" (۷۱/۵۷ قسمت در میلیون) بود.

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر نوع گیاه در سطح احتمال یک درصد و اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" در سطح پنج درصد بر میزان جذب نیکل توسط ساقه معنی‌دار بوده است. اما اثر آب‌های آلوده بر این صفت معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین جذب نیکل مربوط به عدسک آبی (۴/۲۳ قسمت در میلیون) بود و کمترین میزان جذب هم مربوط به سنبل آبی (۲/۶۰ قسمت در میلیون) بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" (جدول ۵) بر میزان جذب نیکل در اندام‌هوایی نشان داد که تیمار "عدسک آبی در شاهد" با ۵/۲۸ قسمت در میلیون بیشترین میزان جذب نیکل را به خود اختصاص داده است و کمترین میزان جذب هم مربوط به تیمارهای "سنبل آبی در زرجوب" (۱/۷۳ قسمت در میلیون) و "گل اختر در زرجوب" (۱/۸۵ قسمت در میلیون) بود. نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده نوع گیاه بر میزان جذب کادمیوم توسط ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است، اما اثر ساده آب‌های آلوده و اثرمتقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" بر این صفت معنی‌دار نبوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که، ریشه نخل مرداب (۰/۲۰ قسمت در میلیون) و ریشه گل اختر (۰/۱۸ قسمت در میلیون) بیشترین میزان نیکل را جذب نمود و کمترین میزان جذب هم مربوط به سنبل آبی (۰/۰۹ قسمت در میلیون) بوده است (جدول ۳).

براساس تجزیه واریانس داده‌ها، اثر آب‌های آلوده در سطح یک درصد، اثر متقابل "نوع گیاه در آب‌های آلوده" در سطح پنج درصد و اثر نوع گیاه در سطح ده درصد بر میزان جذب سرب توسط ساقه معنی‌دار بوده است (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بیشترین جذب سرب مربوط به فروند عدسک آبی (۷۰۴/۵ قسمت در میلیون) و کمترین میزان جذب سرب مربوط به ساقه گل اختر (۹۱/۲۶ قسمت در میلیون) بوده است که با سنبل آبی (۱۱۵/۷ قسمت در میلیون) تفاوت معنی‌داری نداشته است (جدول ۴). براساس نتایج مقایسه میانگین آب‌های آلوده بر میزان غلظت سرب توسط ساقه گیاهان، بیشترین میزان غلظت سرب از تیمار شاهد (۱۲۰۰/۰ قسمت در میلیون) به دست آمد و کمترین میزان غلظت سرب مربوط به زرجوب (۶۶/۸۲ قسمت در میلیون) بوده است که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). نتایج داده‌های

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

مربوط به اثر متقابل"نوع گیاه در آب‌های آلوده" (جدول ۵) بر میزان جذب سرب در اندام‌هوایی نشان داد که تیمار "عدسک آبی در شاهد" (۳۱۷۴ قسمت در میلیون) بیشترین میزان جذب سرب را داشت. سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

بحث و نتیجه‌گیری

ترتیب فلزات سنگین در محیط‌های آبی موردمطالعه به ترتیب روی،سرب، نیکل و کادمیوم بود و مقادیر این عناصر در تیمار شاهد یکسان و ۱۰ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته‌شده بود. خسروی و همکاران (۱۳۹۰) ترتیب عناصر موجود در نمونه رسوب تالاب انزلی را به‌صورت روی، مس، جیوه، کادمیوم و سرب گزارش نمودند که با تحقیق حاضر ازنظر میزان عنصر روی مطابقت دارد. تجمع بالای عناصر سنگین در محیط‌های آبی می‌تواند منجر به تغییرات اکولوژیکی و تهدید جدی برای اکوسیستم‌های آبی باشد (خسروی و همکاران، ۱۳۹۰). لذا کاربرد گیاهان آبزی در پالایش آب تالاب‌ها و رودخانه‌ها امری ضروری می‌باشد.

براساس نتایج این پژوهش بیشترین میزان پروتئین مربوط به تیمار شاهد بوده است که اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت و کمترین میزان آن‌هم مربوط به گهررود بوده است. علت افزایش پروتئین در تیمار شاهد را می‌توان بهبود شرایط محیط برای رشد گیاه و کاهش جذب فلزات سنگین توسط گیاه در این محیط دانست. تجمع فلزات سنگین در محیط‌های آبی آلوده اثرات زیان‌باری بر رشد گیاهان می‌گذارند به‌طوری‌که فلزات سنگین بر مولکول‌های آلی مانند پروتئین‌ها و لیپیدها تأثیر نامطلوب داشته و ازجمله تغییرات آن‌ها می‌توان به غیرفعال کردن پروتئین‌ها، اکسید کردن چربی‌ها و اختلال در متابولیسم قندها اشاره کرد (Savabeghi and Malakooti, 2000).

براساس نتایج حاضر بیشترین میزان پرولین از تیمار شاهد به دست آمد که تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارها داشت و کمترین میزان آن مربوط به گهررود بود همچنین بیشترین میزان پرولین در گیاه مربوط به سنبل آبی و کمترین میزان آن مربوط به عدسک آبی بوده است. افزایش پرولین نشان‌دهنده نقش این اسیدآمینه در تنظیم فشار اسمزی می‌باشد. تنظیم اسمزی در گیاهان مکانیسم عمده اجتناب از تنش‌های کم‌آبی در محیط‌های خشک و شور است و به‌طورکلی به کاهش پتانسیل اسمزی در اثر تجمع مواد محلول در شرایط تنش‌های خشکی و شوری اطلاق می‌گردد و شدت انجام آن به‌سرعت و میزان توسعه تنش، نوع و سن اندام گیاهی و تنوع ژنتیکی درون و بین‌گونه‌ای بستگی دارد (Bajji *et al.*,2001). علاوه بر تنظیم اسمزی، پرولین به‌عنوان یک محافظ در برابر تنش عمل می‌کند به‌این‌ترتیب که به‌طور مستقیم با ماکرومولکول‌ها اثر متقابل داشته و از این طریق به حفظ شکل و ساختار طبیعی آن‌ها تحت شرایط تنش کمک می‌کنند (Kuznetsov and Shevyakova,1999). نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که میزان غلظت نیتروژن در مناطق آبی موردمطالعه بین ۶ تا ۱۳ درصد می‌باشد. نتایج پالایش چند تالاب گیاهی استفاده‌شده برای تیمار فاضلاب نشان داد جذب گیاهی نیتروژن بین ۳ تا ۱۹ درصد است (Christian and Lauchlan, 2005). مطالعات نشان داده است مقادیر کم نیتروژن در حدود ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر در آب‌های آرام مانند جویبارها و دریاچه‌ها باعث رشد سریع انواع جلبک‌ها شده و رشد آن‌ها سبب کاهش غلظت اکسیژن محلول و نفوذ نور به زیر آب می‌شود که نابودی ماهی‌ها و میکروارگانیسم‌ها را به دنبال دارد و با مرگ این موجودات تقاضای اکسیژن برای تجزیه آن‌ها افزایش می‌یابد و در این شرایط محیط هوازی به غیرهوازی تبدیل‌شده و همه این فرآیندها سبب پدیده غنی شدن آب‌ها می‌شود. علاوه بر بروز مشکلات ناشی از این پدیده برای محیط‌زیست، بهای خالص‌سازی این آب‌ها نیز امری هزینه‌بر و نامطلوب است (Camargo and Alonso, 2006). محققین نشان دادند که گل اختر ضمن افزایش جزئی pH، موجب کاهش غلظت نیترات، فسفات و ترکیبات فنلی در محیط رشد خود می‌شود و به همین خاطر، این گیاه را برای پالایش محیط‌های آلوده به مواد نیتروژنی مناسب ارزیابی کردند می‌شود (Ojoawo *et al.*, 2015).

کادمیوم در گروه فلزات سنگین بسیار سمی طبقه‌بندی‌شده و باعث توقف رشد، کاهش تولید پروتئین و منجر به تنش اکسیداتیو، تشکیل رادیکال‌های آزاد و گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن نیز می‌شود (Zhou *et al.*, 2007). کادمیوم با تولید فرم‌های مختلفی از انواع اکسیژن، واکنش

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

سمی ایجاد کرده و موجب آسیب به پروتئین‌ها، کربوهیدرات‌ها و DNA شده و درنهایت منجر به ایجاد تنش اکسیداتیو می‌شود (Zhang *et al.*, 2010). طبق یافته‌های Lu و همکاران (۲۰۰۴) با افزایش زمان و غلظت فلزات (کادمیوم و روی)، میزان جذب کادمیوم و روی در سنبل آبی توسط شاخه‌ها و ریشه‌ها افزایش می‌یابد که این نتایج با یافته‌های ما مطابقت دارد. معطر و همکاران (۱۳۸۸) در بررسی که بر روی توان نیلوفر آبی در جذب فلزات سنگین انجام دادند، دریافتند که در محیط با غلظت و pH کم، بیشترین جذب در برگ مربوط به سرب و در ساقه، ریشه و ریزوم مربوط به منگنز می‌باشد و کمترین جذب در هر چهار بخش گیاهی مربوط به کادمیوم است. هنگامی‌که مقدار کل کادمیوم در خاک به ۸ میلی‌گرم در کیلوگرم برسد برای گیاهان سمی است (Robinson *et al.*, 2000). به‌طورقطع کادمیوم یک آلاینده خطرناک منابع آب می‌باشد و پاک‌سازی آبی که آلوده به آن است، بسیار دشوار است. اصولاً منابع آب آبیاری می‌بایست موردتوجه ویژه قرار گیرند، بسته به اینکه آب از چه تشکیلات زمین‌شناسی عبور نماید، یا اینکه از چه رودخانه، دریاچه، یا کانال آبیاری می‌آید ممکن است حاوی غلظت‌های متفاوتی از فلزات سمی‌باشد (Orcutt *et al.*, 2000). با توجه به جایگاه محیط‌های آبی موردمطالعه در چشم‌انداز شهری و زیست‌محیطی، آلودگی بیش‌ازحد آن‌ها نگران‌کننده است و استفاده از گیاهان برای رفع آلودگی مقرون‌به‌صرفه و سازگار با محیط خواهد بود. میزان سمیت هر عنصر در گیاهان مختلف متفاوت و بسیار پیچیده می‌باشد که بستگی به گونه گیاهی، نوع عنصر، غلظت آن، اسیدیته و نوع ترکیبات محیط رشد دارد. بسیاری از عناصر برای رشد گیاه ضروری هستند. بااین‌وجود، مقدار بیش‌ازحد یک عنصر ضروری یا غیرضروری می‌تواند اثر مخربی بر رشد و نمو گیاه داشته باشد. بنابراین گیاهان باید عناصر ضروری را تا حد پایین‌تر از آستانه سمیت جذب و از جذب عناصر غیرضروری اجتناب ورزند (کافی و همکاران، ۱۳۸۸). در تحقیقی که Mishra و همکاران (۲۰۰۸) بر حذف همزمان فلزات سنگین با ۳ ماکروفیت آبزی انجام داد، نشان داد که 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. نتایج پژوهش Karkhanis و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که کاهو آبی ظرفیت بالقوه بالایی در جذب فلزات سنگین (مس، روی و کروم) دارد، همچنین خزه پتانسیل خوبی برای جذب این فلزات بعد از کاهو آبی داشت. انباشته شدن فلزات سنگین در محیط ریشه سبب کاهش جذب آب و عناصر غذایی، مهار فعالیت آنزیم‌ها، کاهش متابولیسم سلولی، کاهش فتوسنتز، کاهش جذب و درنتیجه مهار رشد، تسریع پیری و حتی مرگ گیاه می‌شود (Countrey, 2006). میانگین غلظت نیکل در خاک‌های دنیا ۴۰ پی‌پی‌ام بر کیلوگرم می‌باشد (حسینی، ۱۳۷۳). Axtell و همکاران (۲۰۰۳) نشان دادند که راندمان حذف نیکل توسط عدسک آبی با غلظت نیکل ۱، ۳ و ۵ میلی‌گرم بر لیتر به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۹۵ درصد بوده است. مطالعات انجام‌یافته میزان نیکل در گیاهان مرتعی را در محدوده ۰/۳ تا ۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حد بحرانی آن را در گیاهان ۱۰ تا ۱۰۰ پی‌پی‌ام گزارش نموده است (Merian *et al.*, 2008). نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق عدم آلودگی بحرانی گیاهان به این عنصر را نشان می‌دهد. da Silva and Monteiro (۲۰۱۸) اظهار داشتند که نیکل بر رشد گیاه اثر منفی دارد و گیاهان اویارسلام تحت تیمار نیکل حدود ۸/۹ درصد کاهش وزن پیدا کرده و قدرت حذف نیترات و آمونیم این گیاهان را کاهش می‌دهد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین میزان جذب عناصر توسط گیاهان مربوط به عنصر سرب بوده است. بیشترین حذف توسط گیاه، در میان فلزات سنگین موردمطالعه، به فلز سرب تعلق دارد. فلز سرب، در واکنش‌های فیزیولوژیک گیاهان کارکرد مشخصی ندارد، اما به علت شباهت شیمیایی با عناصر ضروری امکان جذب آن توسط گیاهان وجود دارد (Pais and Jones, 2000). در مکان‌هایی که آلودگی سرب وجود دارد می‌توان از سنبل آبی برای پالایش محیط از سرب استفاده کرد (Soltan and Rashed, 2000). آفتاب‌طلب (۱۳۸۶) در بررسی خود با استفاده از شیوه گیاه‌پالایی توانایی دو گونه درختی چنار و سرو سیمین برای جذب دو عنصر سمی کادمیوم و سرب از طریق برگ را موردبررسی قرار داد و نشان داد که برگ گونه چنار در غلظت‌های بالای آلاینده، توانایی بیشتری در جذب سرب و کادمیوم داشته است، درحالی‌که مقدار تجمع هر دو عنصر در ساقه سرو بیش از چنار بوده است. هرچند اکثر پژوهش‌های انجام شده بیانگر این مطلب است که بیشتر غلظت سرب موجود در گیاه در ریشه متمرکز است ولی تقریباً همه بر این عقیده‌اند که مقدار قابل‌توجهی نیز به دیگر قسمت‌های گیاه منتقل می‌شود (Hampp and Holl, 1974). ثابت شده است که عدسک‌آبی در پالایش محیط‌زیست آلوده به آلودگی‌های ناخواسته آب و تسهیل حذف آلاینده‌ها با کمک

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

میکروارگانیسم‌های ریزوسفر مفید است و حساسیت این گیاهان به فعالیت سمی این آلاینده ها، استفاده از آن به عنوان مدل گیاه آبزی برای آزمایش‌های سمیت را افزایش داده است (Ziegler *et al.*, 2016).

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که عدسک آبی پتانسیل بالایی در پالایش محیط‌های آلوده به فلزات سنگین را دارا می‌باشد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از اثر آب‌های آلوده بر میزان جذب عناصر سنگین، بیشترین میزان جذب کادمیوم، روی، و سرب مربوط به تیمار آب شاهد بوده است، البته با توجه به این‌که تیمار شاهد حاوی عناصر کادمیوم، سرب و روی بود لذا چنین نتیجه‌ای دور از انتظار نبود. براساس نتایج، کمترین میزان جذب اکثر فلزات هم مربوط به زرجوب بوده است.

منابع

آفتاب‌طلب، ن.، ۱۳۸٦. بررسی توان پالایش دو عنصر سمی کادمیوم و سرب به‌وسیله نهال‌های دوساله دو گونه چنار (*Platanus orientails*) و سرو سیمین(*Cupressus arizonica*). پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۳۰ ص.

پرنیان، ا.، چرم، م.، جعفرزاده حقیقی‌فرد، ن. و دیناروند، م.، ۱۳۹۳. حذف زیستی کادمیوم به‌وسیله عدسک‌آبی (پتانسیل‌یابی پالایش سبزآب و پساب). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۸ (۷۰): صفحات۲۹۳-۲۸۳.

حسینی، م. ط.، ۱۳۷۳. بررسی برخی از عناصر کمیاب و آگاهی به میزان تجمع آن‌ها در تعدادی از خاک‌های اصفهان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۰۰ ص.

خسروی، م.، بهرامی‌فر، ن. و قاسم‌پوری، س. م.، ۱۳۹۰. بررسی آلودگی فلزات (Cu, Zn, Hg, Pb, Cd) در رسوب سه بخش تالاب انزلی. مجله سلامت و محیط، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، ۴ (۲): صفحات ۲۳۲-۲۲۳.

دیناروند، م.، ۱۳۹٦. فلور ایران شماره ۱۰۱: تیره‌های گیاهان آبزی (Elatinaceae). **نشر** موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع، ۱۳۴ ص.

قدرتی، ع.، صبح‌زاهدی، ش. و داداشی، م.ع.، ۱۳۸٦. بررسی آلودگی صنایع در رودخانه زرجوب شهرستان رشت- استان گیلان. منابع طبیعی ایران، ۶۰ (۴): صفحات ۲۲۴-۲۱۳.

کافی، م.، برزویی، ا.، صالحی، م.، معصومی، ع. و نباتی ج.، ۱۳۸۸. فیزیولوژی تنش‌های محیطی در گیاهان. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۵۰۴ ص.

معطر، ف.، کرباسی، ع. و منوری، س.، ۱۳۸۸. بررسی توانایی بخش‌های مختلف گیاه نیلوفر آبی در جذب فلز سنگین. سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران، ۸ ص.

ناصری، م.، سرچشمه پور، م. و صفاری، و.، ۱۳۹۲. استفاده از گیاهان زینتی به‌عنوان یک راهکار پربازده در زیست‌پالایی فلزات سنگین. اولین همایش تخصصی محیط‌زیست، انرژی و صنعت پاک، دانشگاه تهران، ۸ ص.

نجف‌پور، ع. ا.، قاسمزاده، ف.، طیبان، س. م. ر.، یوسف زاده، ح. و نوع‌دوست، ف.، ۱۳۸۸. بررسی کارایی عدسک آبی در میزان جذب نیترات از محیط آبی در شرایط آزمایشگاهی. دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط ایران، تهران، ۱۰ ص.

Axtell, N. R., Sternberg S. P. K. and Claussen, K., 2003. Lead and Nickel Removal using Microspora and Lemna minor. Bioresource Technology, 89: 41-48.

Bajji, M., Lutts, S. and Kinet, J. M., 2001. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. Plant Science, 160: 669-681.

Bates, L. S., Waldron, R. P. and Teare, I. D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant and Soil, 39: 205-208.

Bennett, L. E., Burkheed, B., Wull, C., Akohoue, S. and Zambrzuski, S., 1997. Evaluation of different plant species used for phytoremediation of high soil selenium. Journal of Environmental Quality, 26 (3): 639-646.

Bradford, M. M., 1976. A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Dye Binding. Analytical Biochemistry, 72: 248–254.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S., 1982. Nitrogen-Total. P 595-624, In: Miller, R.H., Page, A.L., and Keeney, D.R. (eds.), Methods of Soil Analysis Part 2 (second edition.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, 595-624.

Camargo, J. and Alonso, A., 2006. Ecological and toxicological effects of inorganic nitrogen pollution in aquatic ecosystems: A global assessment. Environment International, 32: 831-849.

Christian, R. and Lauchlan, H., 2005. The interacting effects of temperature and plant community type on nutrient removal in wetland microcosms. Bioresource Technology, 96: 1039-1047.

Countrey, N., 2006. Influence of cadmium on growth of root vegetable and accumulation of cadmium in the edible root. International Journal Applied Science and Engineering, 3: 243-252.

da Silva, M. M. and Monteiro, J. A., 2018. Nickel and nitrogen phytoremediation by *Cyperus involucratus*: nickel impairs biomass production and nitrogen removal. In: Mortal A. et al. (eds) International Congress on Engineering and Sustainability in the XXI Century, Faro, Portugal.

Dji

Djingova, R. and Kuleff, I., 2000. Instrumental techniques for trace analysis. In: Trace elements: Their distribution and effects in the environment. Vernet, J.P. (eds) Elsevier Science Ltd., United Kingdom, pp. 146.

Dunbabin, J. S. and Bowmer, K. H., 1992. Potential use of constructed wet lands for treatment of industrial wastewater containing metals. Science of The Total Environment. 111: 151-168.

Ebbs, S. D. and Kochian, L.V., 1998. Phytoextraction of zinc by oat (*Avina sativa*), barley (*Hordeum Vulgare*), and indian mustard (*Brassica juncea*). Environmental Science and Technology, 32: 802- 806.

Hampp, R. and Holl, W., 1974. Radial and axial of lead concentration in bark and xylem of hardwood. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 2: 627-630.

Karkhanis, M., jadia, C. D. and Fulekar, M. H., 2005. Rhizofiltration of heavy metals from coal ash leachate. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 3 (1): 91-94.

Khan, F. I., Hussain, T. and Hejazi, R., 2004. An overview and analysis of site remediation technologies. Journal of Environmental Management, (11): 95-122.

Kuznetsov, V. V. and Shevyakova, N. I., 1999. Proline under stress: biological role, metabolism and regulation. Russian Journal of Plant Physiology, 46: 274-287.

Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P. and Homyok, K., 2004. Removal of cadmium and zinc by water hyacinth. Science Asia, 30: 93-103.

Malkoc, E. and Nuhoglo, Y., 2005. Investigations of nickel (II) removal from aqueous solutions using tea factory waste. Hazardous Materials, 127:120–128.

Matlock, M., Howerton, B. S., Henke, K. R. and Atwood, D. A. A., 2001. Pyridine-thiol ligand with multiple bonding sites for heavy metal precipitation. Hazardous Materials, 82: 55–63.

Meagher, B., 2000. Phytoremediation of toxic elemental and organic Pollutants. Plant Biology, 3: 153-162.

Merian, E., Anke, M., Ihnat, M. and Stoeppler, M., 2008. Elements and their compound in the environment: Occurrence, analysis and biological relevance. Wiley-VCH, Weinheim, Germany.

Mishra, V. K., and Tripathi, B. D., 2008. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. Bioresource Technology. 99:7091–7097.

Nandakumar, P. B. A., Dushenkov, V., Motto, H. and Raskin, I., 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metal from soils. Environmental Science and Technolology, 29: 1232- 1238.

Ojoawo, S. O., Udayakumar, G. and Naik, P., 2015. Phytoremediation of phosphorus and nitrogen with *Canna x generalis* reeds in domestic wastewater through NMAMIT constructed wetland. Aquatic Procedia, 4: 349-356.

Orcutt, D. M., Nilson, E. T. and Maynard, G. H., 2000. The physiology of plants under stresses: Soil and biotic factors. New York, John Wiley & Sons, 684p.

Pais, I. and Jones, J. B., 2000. The Handbook of Trace Elements. Florida, 223p.

Pilon- Smits, E. 2005. Phytoremediation. Plant Boilogy, 56: 15-39.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

Robinson, B. H., Mills, T. M., Petit, D., Fung, L. E., Green, S. R. and Clothier, B. E., 2000. Natural and induced cadmium- accumulation in poplar and willow: Implications for phytoremediation. Plant and Soil, 227: 301-306.

Savabeghi, G. R. and Malakooti, M. J., 2000. The effect of zinc and cadmium in concentrations and chemical composition of wheat grain. Journal of soil and water, 9: 54-65.

Soltan, M. E. and Rashed, M. N., 2003. Laboratory study on the survival of water hyacinth under several conditions of heavy metal concentration. Advances in Environmental Research, 7: 327-334.

Wilson, G. R., 1983. Effects of water stress on in vitro dry matter digestibility and chemical composition of herbage of tropical pasture species. Australian Journal of Agricultural Research, 34: 377-380.

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.

Zhang, X. X., Fan, X. M., Li, C. J. and Nan, Z. B., 2010. Effects of cadmium stress on seed germination, seedling growth and antioxidative enzymes in *Achnatherum inebrians* plants infected with *Neotyphodium endophyte*. Plant Growth Regulation, 60: 91-97.

Zhou, Z. S., Huang, S. Q., Gou, K., Mehta, S. K., Zhang, P. C. and Yang, Z. M., 2007. Metabolic adaptations to mercury-induced oxidative stress in roots of *Medicago sativa* L. Journal of Biochemistry, 101: 1-9.

Ziegler, P., Sree, K. S. and Appenroth, K. J., 2016. Duckweeds for water remediation and toxicity testing, Toxicological and Environmental Chemistry, 98: 1127-1154.

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]

[Downloaded from jweb.ahvaz.iau.ir on 2026-04-25]