قابلیت جذب و پالایش سرب، روی و کادمیوم از خاک معدنی ایرانکوه توسط چندین گیاه انباشتگر

سمانه نصوحی و سید مجید قادریان*

گروه زیست شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۸/۰۷، تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۰۹/۰۲)

چکیده:

فلزات سنگین به طور عمده در خاک‌ها وجود دارند ولی روند صنعتی شدن و گسترش شهرها باعث پراکنده شدن این فلزات در بیوسفر شده است. یکی از روش‌های موثر پاکسازی مکان‌های آلوده به فلزات سنگین تکنولوژی گیاه‌پالایی است. در این تحقیق با کشت گیاهان کیسه چوپان، ذرت، آفتابگردان، ،منداب ، کلزا، تاج ریزی، چلیپای زرد و قدومه بر روی خاک معدنی ایرانکوه قابلیت استقرار، جذب و پالایش فلزات سنگین بررسی شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که گیاه تاج ریزی دارای قابلیت بسیار بالائی برای تجمع روی و سرب بر روی این خاک است (به ترتیب ۱۷۱٦/۸ و ۷۲٤ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک). کیسه چوپان در جذب کادمیوم نسبت به بقیه گونه‌ها موفق تر عمل کرده‌است (۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم). منداب و کلزا نیز به دلیل رشد رویشی مناسب، ایجاد بیوماس بالا و تجمع بالای روی، سرب و کادمیوم از جمله گونه‌های مناسب جهت گیاه پالایی در این خاک محسوب می‌شوند. دو گونه آفتابگردان و ذرت در جذب و تجمع دادن فلزات سنگین نسبت به بقیه گونه‌ها موفقیت کمتری داشتند به همین دلیل جهت گیاه پالایی خاک معدنی ایرانکوه مناسب به نظر نمی‌رسند.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، گیاهان انباشتگر، گیاه پالایی.

مقدمه:

با افزایش فعالیت‌های صنعتی در قرن بیستم به خصوص در کشورهای در حال توسعه آلودگی‌های زیست محیطی نیز افزایش یافته‌است (Garbisu and Alkorta, 2001). از جمله عوامل آلوده کننده خاک به فلزات سنگین می‌توان به فعالیت های کشاورزی (استفاده از کود و بقایای گیاهان) و همچنین فعالیت‌های صنعتی (معادن و صنایع ذوب فلزات) اشاره کرد (Schwartz *et al*., 1999). آلودگی خاک به فلزات سنگین نه تنها بر روی کیفیت محصولات کشاورزی اثر می‌گذارد بلکه ممکن است به اتمسفر و آب‌های سطحی نیز راه پیدا کند و در نهایت باعث به خطر افتادن سلامت انسان شوند (Chen *et al*., 2000).

چندین روش برای زدایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین وجود دارد که از جمله آن می توان به شستن خاک، کاهش حلالیت فلزات در خاک و جایگزین کردن خاک‌های غیر آلوده به جای خاک‌های آلوده اشاره کرد ولی اغلب این روش‌ها پر هزینه بوده و در برخی موارد باعث آسیب‌های زیست محیطی می‌شوند (Verbruggen *et al*., 2009). گیاه‌پالایی از اوایل دهه ۱۹۸۰ به‌عنوان یک تکنولوژی مهم برای زدایش خاک‌های آلوده مطرح شد. یکی از مهمترین جنبه‌های این تکنولوژی، استخراج گیاهی (Phytoextraction) است که از گیاهان بیش انباشتگر برای زدایش فلزات سنگین از مکان‌های آلوده استفاده می‌شود. واژه بیش‌انباشتگر برای اولین بار توسط Brooks و همکارانش

*نویسنده مسؤل، نشانی پست الکترونیکی: ghaderian@sci.ui.ac.ir

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]

(١٩٧٧) استفاده شد که به گیاهانی اشاره دارد که قادرند بیش از ١٠٠٠ میکروگرم در گرم عناصری نظیر سرب، نیکل، کروم، کبالت و مس در وزن خشک (DW) ذخیره کنند. گیاهان بیش انباشتگر فلزات سنگین را صد برابر بیش‌تر از گیاهان معمولی جذب می‌کنند (Li *et al*., 2003). تا کنون بیش از ٤٠٠ نوع گیاه بیش‌انباشتگر شناسایی شده (Shuhe *et al*., 2005) که از جمله خصوصیات مهم آنها قدرت تحمل بالا، سرعت جذب زیاد و انتقال فلزات از ریشه به ساقه است (Verbruggen *et al*., 2009). با این حال گیاهان بیش انباشتگر بسیار آهسته رشد کرده بیوماس کمی تولید می‌کنند و پراکندگی کمی در سرتاسر جهان دارند. اخیراً در گیاه‌پالایی توجه زیادی به گیاهان انباشتگری که تولید بیوماس زیاد، رشد سریعی داشته و متحمل به فلزات باشند شده‌است (luo *et al*., 2005). در این پژوهش قابلیت رشد رویشی و جذب فلزات سرب و روی از خاک معدنی ایرانکوه اصفهان توسط چندین گیاه مقاوم و انباشتگر فلزی در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته‌است. گیاهان مورد پژوهش از خانواده شب بو (*Brassicaceae*) شامل پنج گونه کیسه چوپان (*Thlaspi caerulescens*)، چلیپای زرد (*Matthiola Chenopodiifolia*)، منداب (*Eruca sativa*)، کلزا (*Brassica napus*) و قدومه (*Alyssum bracteatum*) بودند. گیاه کیسه چوپان بومی اروپا بوده و قابلیت رشد بر روی خاک‌های غنی از فلزات سنگین از جمله روی، سرب، کادمیوم و مس را دارا می‌باشد هم‌چنین توانایی بالایی در جذب این فلزات دارد (Shuhe *et al*., 2005, Verbruggen, *et al*., 2009). چلیپای زرد دارای پتانسیل قابل ملاحظه‌ای برای تجمع سرب و روی در برگ‌های خود است (قادریان و جمالی حاجیانی، ١٣٨٩). در پژوهشی که در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید توانایی نسبتاً بالای این گیاه در جذب و تجمع کادمیوم مشاهده شد (قادریان و جمالی حاجیانی، ١٣٨٩). منداب جزء گونه‌های متحمل محسوب می‌شود و دارای قابلیت تجمع سرب و کادمیوم از خاک‌های آلوده است (Amal, 2001). کلزا قابلیت تجمع کادمیوم و روی را دارا می‌باشد و این فلزات را به قسمت‌های هوایی خود منتقل می‌کند (Rossi *et al*., 2002). قدومه جزء گونه‌های بیش انباشتگر نیکل محسوب می‌شود. نسبت بالایی از گونه‌های این جنس از نظر اکولوژیکی بومی و محدود به خاک‌های سرپنتین می‌باشند (Brooks *et al*., 1979).هم‌چنین از خانواده سیب زمینی (Solanaceae) گیاه تاج ریزی (*Solanom nigrum*) انتخاب گردید که این گونه گیاهی اغلب در مناطق آلوده به فلزات یافت می‌شود و اخیراً به عنوان انباشتگر فلز کادمیوم معرفی شده‌است (Peng *et al*., 2009). این گیاه قادر به جذب روی، سرب و مس نیز می‌باشد. از خانواده کاسنی (Asteraceae) گیاه آفتابگردان (*Helianthus annuus*) انتخاب گردید که قابلیت ایجاد بیوماس زیاد را دارا می‌باشد (Meers *et al*., 2005) و در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین دارای تحمل بالا است (Madejon *et al*., 2003; Murillo *et al*., 1999). از خانواده گندمیان (*Poaceae*) ذرت (*Zea mays*) انتخاب گردید که این گونه قابلیت ایجاد بیوماس زیاد را دارد (luo *et al*., 2005). هدف از پژوهش حاضر بررسی مقاومت، قابلیت جذب و تجمع عناصر روی، سرب و کادمیوم توسط گونه‌های گیاهی کیسه چوپان، ذرت، آفتابگردان، ،منداب، کلزا، تاج ریزی و چلیپای زرد بر روی خاک معدنی ایرانکوه می‌باشد.

مواد و روش‌ها:

جمع‌آوری نمونه خاک از اطراف معدن سرب و روی ایرانکوه:

معدن و کارخانه سرب و روی ایرانکوه به عنوان سومین معدن بزرگ سرب و روی ایران در منطقه ایرانکوه در امتداد رشته کوه ایرانکوه در فاصله ٢٠ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در محدوده طول‌های جغرافیایی ٥٤َ ٥١ ° تا ٣١َ ٥١ ° و در عرض‌های ٣٧َ ٣٢ ° تا ٢٨َ ٣٢ ° قرار دارد. این محدوده به طور کلی طولی معادل ٢٥ کیلومتر و عرضی معادل ٣ کیلومتر را در بر می‌گیرد. مرتفع‌ترین منطقه آن حدود ٢٧٥٠ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه ٢٥٠ میلی متر است. حداکثر درجه حرارت در تابستان ٤٠ درجه سانتی گراد و حداقل درجه حرارت در زمستان ١٠- درجه سانتی گراد می‌باشد. در هر دو یال شمالی و جنوبی این رشته کوه، کانی سازی ماده معدنی دیده می‌شود. عمر معدن با توجه به

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]

مطالعات اولیه حدود ۵۳ سال تخمین زده شده‌است که به نظر می‌رسد با اکتشاف ذخایر سولفوره این رقم افزایش یابد. مقداری نمونه خاک از اطراف این معدن از سطح تا عمق ۲۰ سانتی‌متری جمع آوری و به آزمایشگاه جهت کشت گونه های گیاهی منتقل گردید.

اندازه گیری pH خاک: جهت اندازه‌گیری pH مقدار ۱۰ گرم از نمونه مورد نظر با غربال ۲ میلی‌متری غربال گردید. سپس با ۳۰ میلی‌لیتر آب مقطر به خوبی مخلوط گردید و پس از گذشت ۳۰ دقیقه pH محلول رویی با استفاده از pH متر اندازه گیری شد.

اندازه گیری مقدار عناصر در حالت کل خاک: ابتدا نمونه خاک با غربال ۲ میلی متری غربال گردید و حدود ۵ گرم از هر نمونه در هاون چینی به خوبی سائیده شد و در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت در آون خشک گردید. سپس ۵۰۰ میلی گرم از خاک حاصل را در داخل لوله آزمایش ریخته و به هر لوله ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک ۳۷٪ و اسید نیتریک ٦۵٪ به نسبت ۳ به ۱ اضافه شد. لوله‌ها به مدت ۱۲ ساعت در زیر هود قرار داده شدند. بعد از آن به مدت یک ساعت در حمام شنی در دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا خاک به خوبی تجزیه شود. محلول حاصل در بالن ژوژه ۵۰ میلی متری توسط قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی ۹ سانتی متری صاف گردید و با آب مقطر دو بار تقطیر به حجم رسید (Baker *et al*., 1994). سپس نمونه‌ها با دستگاه طیف سنج جذب اتمی (مدل Shimadzu AA 6200) برای عناصر روی، سرب، کروم، کادمیوم، نیکل و کبالت مورد آنالیز قرارگرفت.

کشت گونه‌های گیاهی: گلدان‌های مجزای ۹ سانتی متری با خاک معدنی ایرانکوه پر گردید و هر یک از گونه‌های گیاهی کیسه چوپان، ذرت، آفتابگردان، منداب، کلزا، تاج ریزی و چلیپای زرد را در آنها کشت داده و برای هر گونه ۳ تکرار آماده شد. گیاهان به مدت چهل روز و افزودن آب مقطر با فاصله چهار روز یک‌بار در گلدان‌های ذکر شده رشد داده شدند. کشت گونه‌های مورد نظر در اتاق کشت با تناوب نوری (۱٦ ساعت نور)، دمای متناوب ۲۵/۱۸ درجه سانتی گراد (شب/روز) و شدت نور ۲۰۰ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه انجام شد.

اندازه‌گیری مقدار فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی: برای اندازه گیری مقدار فلزات سنگین (روی، سرب و کادمیوم) موجود در گیاه ابتدا بخش هوایی در فاصله یک سانتی متری از سطح خاک جداسازی و با آب مقطر سه بار شستشو داده شد. سپس نمونه‌های گیاهی در داخل پاکت‌های کاغذی قرار گرفت و به مدت ٤۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در آون خشک گردید. در ادامه حدود ۰/۱ گرم از بخش‌های هوایی هر نمونه توزین گردید و به کوره الکتریکی با دمای ۵۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ٦ ساعت منتقل گردید. پس از آن ۱۰ سی سی HNO_3 به هر نمونه اضافه گردید و پس از آن نمونه‌ها با قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی واتمن ۹ سانتی متری (واتمن، شماره ۳۹) صاف گردید (Reeves *et al*., 1999). عناصر مورد نظر توسط دستگاه طیف سنج جذب اتمی (مدل Shimadzu AA 6200) مورد آنالیز قرار گرفت.

آنالیز آماری داده‌ها: در این پژوهش طرح به کار رفته کاملاً تصادفی در سه تکرار بوده و آنالیز داده‌ها از طریق نرم افزار SPSS 16.0 و مقایسه میانگین‌ها به روش Duncan با ضریب معنی‌داری $p \leq$ ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج:

مقدار فلزات سنگین و pH خاک ایرانکوه: مقدار فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در خاک مورد مطالعه به ترتیب ٤۳۰۷، ۱٦٤۹ و ۳۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک اندازه‌گیری شد. pH خاک کمی قلیایی و برابر با ۷/۵ می‌باشد (جدول ۱).

میانگین وزن خشک نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی آن: بیشترین میانگین وزن خشک مربوط به آفتابگردان به مقدار ٤۰۰ میلی‌گرم در گیاه و کمترین آن مربوط به چلیپای زرد به مقدار ٤ میلی‌گرم در گیاه است. ذرت، کیسه چوپان، تاج ریزی، منداب، کلزا و قدومه به ترتیب دارای میانگین وزن خشک ۲۰، ۱۰، ۱٦، ۱۷، ٤۰ و ۵ میلی‌گرم در گیاه هستند (جدول ۲).

بیشترین مقدار تجمع روی مربوط به تاج ریزی به مقدار

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]

جدول١- مقدار فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) و pH نمونه خاک. مقادیرشامل میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است.

Zn	Pb	Cd	pH
٤٣٠٧±١٦٣	١٦٤٩±٢٠٠	٣٨±١٠/٦	٧/٥

جدول٢- وزن خشک نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی نمونه خاک ایرانکوه به مدت ٤٠ روز (میلی‌گرم در گیاه).

	ذرت	آفتابگردان	کیسه چوپان	تاج ریزی	منداب	کلزا	چلیپای زرد	قدومه
وزن گیاه ($mg\ plant^{-1}$)	٢٠±٨	٤٠٠±٢٠	١٠±٣/٣	١٦±٦/٦	١٧±٢/٢	٤٠±٤/٤	٤±./١	٥±١

١٧١٦/٨ میلی‌گرم در کیلوگرم است. پس از آن کیسه چوپان، کلزا، منداب، چلیپای زرد و قدومه بیشترین مقدار جذب را به ترتیب به مقدار ١١٧٢/٤، ١٠٢٧/٨، ٩٥٢/٨، ٩٠٣ و ٨٨٤ میلی گرم در کیلوگرم داشته‌اند. کمترین جذب روی مربوط به آفتابگردان و ذرت به ترتیب به مقدار ٢٥٠/٤ و ١٣٥/٧ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (شکل ١).

مقدار سرب جذب شده در تاج ریزی از بقیه گونه‌ها بیشتر و به مقدار ٧٢٤ میلی‌گرم در کیلوگرم است. پس از آن کیسه چوپان با جذب ٥١٠ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار دارد. مقدار جذب سرب در چلیپای زرد، کلزا و منداب به ترتیب به مقدار ٢٥٣/٧، ٢٠٠/٦ و ١٧٨/٩ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. کمترین جذب مربوط به قدومه، آفتابگردان و ذرت به ترتیب به مقدار ١٠٦/٥، ٥٠/٦ و ٣٦/٤ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (شکل ٢).

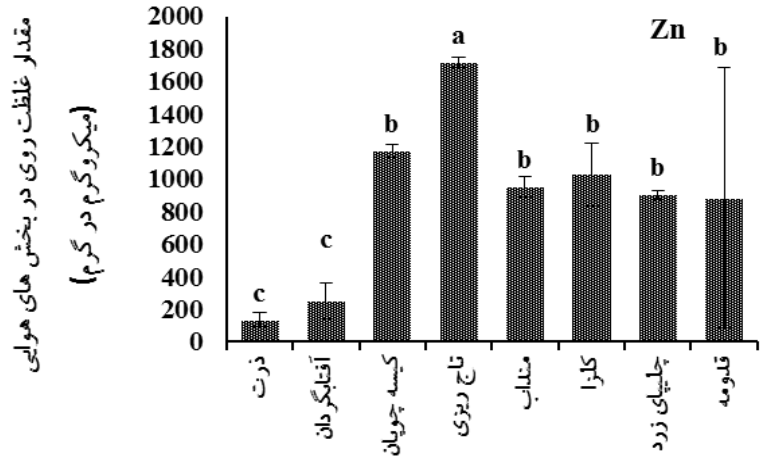
مقدار تجمع کادمیوم در کیسه چوپان نسبت به بقیه گونه‌ها بیشتر بوده و به مقدار ٣٥/٣ میلی‌گرم در کیلوگرم است. پس از آن چلیپای زرد بیشترین مقدار جذب را به مقدار ٢٥/١ میلی گرم در کیلوگرم داشته است. مقدار جذب کادمیوم در قدومه، کلزا، منداب،تاج ریزی و آفتابگردان به ترتیب به مقدار ٢٣/٥، ١٨/٢ و ١٨/١، ١٧/٤و ١٠/٨ میلی‌گرم در کیلوگرم صورت گرفته است. کمترین جذب کادمیوم مربوط به ذرت به مقدار ٣/٣ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (شکل ٣).

بحث:

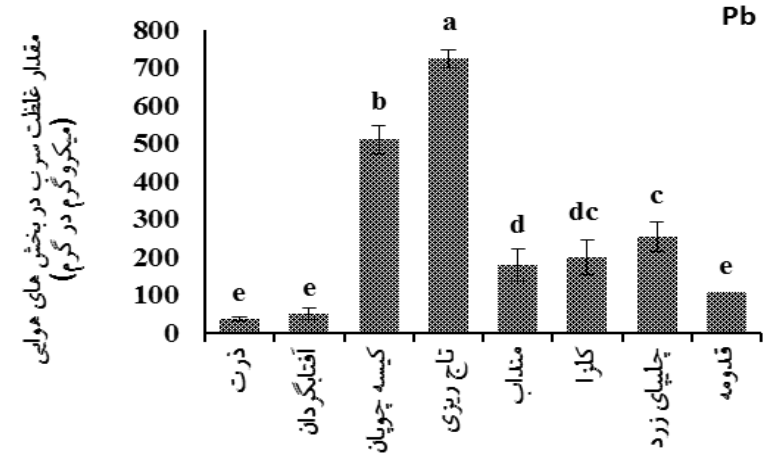
معدن سرب و روی ایرانکوه سومین معدن بزرگ سرب و روی ایران محسوب می‌شود. استخراج این دو فلز باعث شده‌است که مقدار آن‌ها و همچنین فلزات دیگر از قبیل کادمیوم که در طی استخراج آزاد می‌شوند در خاک‌های اطراف این معدن بالا رود. با اندازه گیری روی، سرب و کادمیوم مشخص شد که مقدار این فلزات در خاک خیلی بیشتر از حد مجاز است.). مقدار مجاز فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در خاک به ترتیب ٣٠٠-١٠، ٢٠٠-٢ و ٣ میکروگرم در گرم است (Nagajyoti *et al*., 2010). از بین هشت گونه گیاهی کشت شده بر روی نمونه‌های این خاک مشخص شد تاج ریزی دارای قابلیت بسیار بالا برای تجمع روی و سرب بر روی این خاک است. در گیاهان جمع آوری شده از مناطق آلوده به روی و سرب در چین، غلظت روی در تاج ریزی بین ٢٥٠ تا ١٥٧٧٠ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت سرب بین ١٨/١ تا ٣٨٢ میلی‌گرم در کیلوگرم برآورد شده‌است که پتانسیل بالای این گونه را در جذب این دو فلز نشان می‌دهد (Peng *et al*., 2009). گیاه کیسه چوپان که به عنوان یک گونه بیش انباشتگر روی و کادمیوم شناخته شده‌است در جذب کادمیوم نسبت به بقیه گونه ها موفق تر عمل کرده‌است و در جذب روی و سرب در رتبه دوم قرار دارد. این گیاه در مناطق آلوده به فلزات سنگین در اسلونی مقدار ١٤٥٩٠ میلی‌گرم در کیلوگرم روی،٥٩٠ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و ٣٥٠٠ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب را در قسمت‌های هوایی خود تجمع داده‌است (Mikus *et al*., 2005). افزایش جذب روی توسط ریشه گیاه کیسه چوپان در اثر افزایش بیان ژن‌های اعضای خانواده ZIP مانند پروتئین‌های تنظیم کننده انتقال روی (zinc regulated transporter protein) صورت می‌گیرد. همچنین مطالعات فیزیولوژیکی روی این گیاه نشان می‌دهد که سیستم‌های جذب چندگانه (multiple uptake systems) در ریشه جهت جذب کادمیوم و روی وجود دارند

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

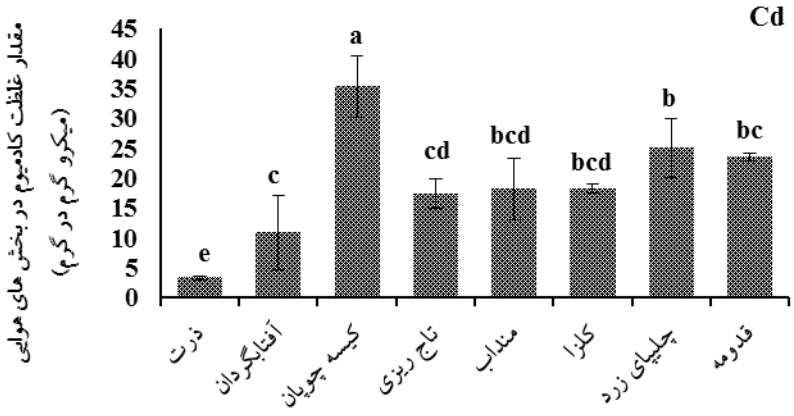
[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]



شکل۱- غلظت روی انباشت شده در بخش های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز. مقادیرشامل میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. (حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین گیاهان مختلف بر اساس آزمون دانکن است ($p \leq ۰/۰۵$).



شکل۲- غلظت سرب انباشت شده در بخش های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز. مقادیرشامل میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. (حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین گیاهان مختلف بر اساس آزمون دانکن است ($p \leq ۰/۰۵$).



شکل۳- غلظت کادمیوم انباشت شده در بخش‌های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز. مقادیرشامل میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است. (حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار بین گیاهان مختلف بر اساس آزمون دانکن است ($p \leq ۰/۰۵$).

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]

(Verbruggen *et al*., 2009). این گونه به عنوان یک گیاه مناسب جهت گیاه پالایی در این نوع خاک محسوب می‌شود با این حال یکی از معایب آن تولید بیوماس کم آن است. چلیپای زرد در جذب روی و کادمیوم در رتبه دوم قرار دارد و در جذب سرب تا حدودی موفق بوده‌است (۲۵۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم). این گیاه قابلیت جذب و انباشت کادمیوم را دارا می باشد. گزارش شده‌است مقدار جذب کادمیوم در این گونه گیاهی تحت تیمار ۲/۵ و ٤۰ میلی گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب به ۵۳ و ۳۸۰/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌رسد (قادریان و جمالی حاجیانی، ۱۳۸۹). با وجود رشد رویشی کم در محیط آزمایشگاهی این گونه یکی از گونه‌های خودرو در این منطقه محسوب می‌شود و به دلیل سازگار بودن با آن محیط یکی از گونه‌های مناسب جهت گیاه پالایی در این منطقه معرفی می شود. منداب و کلزا به دلیل رشد رویشی مناسب، ایجاد بیوماس بالا و تجمع روی، سرب و کادمیوم (به خصوص تجمع روی) گونه‌های مناسب دیگر جهت گیاه پالایی در این خاک محسوب می‌شوند. کلزا توانایی تجمع کادمیوم و روی را به دلیل مکانیسم‌های بیوشیمیایی و ژنتیکی درگیر در انتقال یون ها از خلال غشای سلولی ریشه دارا است (Rossi *et al*., 2002). مطالعات انجام شده توسط Indoria و Poonia (۲۰۰٦) نشان داد مقدار تجمع فلزات روی و سرب در گونه‌های *B. napus*، *B. juncea* و *E. sativa* کشت داده شده بر روی خاک‌های آلوده نسبت به گونه‌های کشت داده شده بر روی خاک‌های غیرآلوده بیشتر است. گونه قدومه با وجود جذب روی و کادمیوم توان رشد بر روی این خاک را نداشت و بیوماس بالایی تولید نکرد به همین دلیل برای این منظور مناسب به نظر نمی‌رسد. با وجود این‌که دو گونه آفتابگردان و ذرت بیوماس بالا تولید کردند، وزن خشک زیاد داشتند و دارای مقاومت بالا بودند ولی در تجمع فلزات سنگین نسبت به بقیه گونه‌ها موفقیت کمتری داشتند به همین دلیل جهت گیاه پالایی خاک معدنی ایرانکوه مناسب به نظر نمی‌رسند. با توجه به بالا بودن فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در خاک ایرانکوه، استفاده از گیاهان انباشتگر یکی از راه‌های مؤثر زدایش فلزات سنگین از خاک این منطقه است. بر اساس نتایج حاصل می توان با کشت وسیع گیاهان چلیپای زرد، منداب، کلزا، کیسه چوپان و تاج ریزی بر روی خاک طبیعی و سپس بر روی خاک ایرانکوه گام مناسبی جهت کاهش فلزات سنگین از این منطقه برداشت. در ادامه این تحقیق می‌توان گونه‌های دیگر گیاهی که انباشتگر بوده و سازگار با آن محیط باشند را شناسایی و جهت گیاه‌پالایی آن منطقه معرفی کرد.

سپاسگزاری:

از معاونت پژوهشی دانشگاه اصفهان جهت مهیا کردن امکانات پژوهشی این پروژه در قالب طرح پژوهشی کمال تشکر را داریم.

منابع:

قادریان، س. م. و جمالی حاجیانی، ن. (۱۳۸۹) بررسی مقاومت، جذب و انباشتگی کادمیوم در گیاه *Matthiola Chenopodiifolia* Fisch & C. A. Mey (*Brassicaceae*)، زیست شناسی گیاهی ٦: ۸۷-۹۸.

Amal, A. H. S. (2001) Effect of Cd and Pb on growth, certain antioxidant enzymes activity, protein profile and accumulation of Cd, Pb and Fe in *Raphanus sativus* and *Eruca sativa* seedlings. Egyptian Journal of Biology 3: 131-139.

Baker, A. J. M., Reeves, R. D. and Hajar, A. S. M. (1994) Heavy metals accumulation and Tolerance British populations of the metalophyte *Thlaspi caerulescens* j. & C. presl (*Brassicaceae*). New Phytologist 127: 61-68.

Brooks, R. R., Morrison, R. S. and Reeves, R. D. (1979) Hyperaccumulation of nickel by *Alyssum Linnaeus* L. (*Cruciferae*). The Royal Society of London 203: 387-403.

Chen, H. M., Zheng, C. R., Tu, C. and Shen, Z. G. (2000) Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals**.** Chemosphere 41: 229-234**.**

Escarre, J., Lefebvre, C., Gruber, W., Leblanc, M., Lepart, J., Riviere, Y. and Delay, B. (2000) Zinc and cadmium hyperaccumulation by *Thiaspi caerulescens* From metalliferous and nonmetalliferous sites in the Mediterranean area: implications for phytoremediation. New Phytologist 145: 429-437.

Garbisu, C. and Alkorta, I. (2001) Phytoextraction: A

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]

(1999) Accumulation of heavy metals in sunflower and sorghum plants affected by the Guadiamar spill. Science of The Total Environment 242: 281–292.

Nagajyoti, P. C., Lee, K. D. and Sreekanth, T. V. M. (2010) Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review. Enviromental Chemistry Letters 8: 199-216.

Peng, K. J., Luo, C. L., Chen, Y. H., Wang G. P., Li, X. D and Shen, Z. G. (2009) Cadmium and Other Metal Uptake by *Lobelia chinensis* and *Solanum nigr*um from Contaminated Soils. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 83: 260–264.

Reeves, R. D., Baker, A. J. M, Borhidi, A. and Berazain, R. (1999) Nickel hyperaccumulation in serpentin flora of Cubq. Annals of Botany 83: 29-38.

Schwartz, C., Morel, J. L., Saumier, S., Whiting, S. N. and Baker, A. J. M. (1999) Root development of the Zinc-hyperaccumulator plant *Thlaspi caerulescens* as affected by metal origin, content and localization in soil. Plant and Soil 208: 103-115.

Shuhe, W., Qixing, Z., Xin, W., kaisong, Z., Guanlin, G. and Qiying, M. L. (2005) A newly-discovered Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. Chinese Science Bulletin 50: 33-38.

Rossi, G., Figlilolia, A., Sosciarelli, S. and Pennelli, B. (2002) Capability of *Brassica napus* to Accumulate Cadmium, Zinc and Copper from soil. Acta Biotechnolgica 22: 133-140.

Verbruggen, N., Hermans, C. and Schat, H. (2009) Molecular mechanisms of metal hypraccumulation in plant. New Phytologist 181: 759-779.

cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. Bioresource Technology 77: 229-23.

Indoria, A. K. and Poonia, S. R. (2006) Phytoextractability of lead from soil by some oilseed crops as affected by sewage sludge and farmyard manure. Archives of Agronomy and Soil Science 52: 667 – 677.

Li, Y. M., Chaney, R. L., Brewer, E. P., Angle, J. S. and Nelkin, J. (2003) Phytoextraction of nickel and cobalt by hyperaccumulator *Alyssum* Species grown on nickel-contaminated soils**.** Enviromental Science & Technology 37: 1463-1468**.**

Luo, C., Shen, Z. and Li, X. (2005) Enhanced phytoextraction of Cu, Pb, Zn and Cd with EDTA and EDDS. Chemosphere 59: 1–11.

Madejon, P., Murillo, J. M., Maranon, T., Cabrera, F. and Soriano, M. A. (2003) Trace element and nutrient accumulation in sunflower plants two years after the Aznalcollar mine spill. Science of The Total Environment 30: 239–257.

Meers, E., Ruttens, A., Hopgood, M. J., Samson, D. and Tack, F. M.G. (2005) Comparison of EDTA and EDDS as potential soil amendments for enhanced phytoextraction of heavy metals. Chemosphere 58: 1011–1022.

Mikus, K. V., Drobne, D. and Regvar, M. (2005) Zn, Cd and Pb accumulation and arbuscular mycorrhizal colonisation of pennycress *Thlaspi praecox* Wulf. (*Brassicaceae*) from the vicinity of a lead mine and smelter in Slovenia. Environmental Pollution 133: 233–242.

Murillo, J. M., Maranon, T., Cabrera, F. and Lopez, R.

[Downloaded from jispp.iut.ac.ir on 2026-11-17]

[DOR: 20.1001.1.23222727.1394.4.12.2.2]