

## 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 چوبان، ذرت، آفتابگردان، منداب، کلزا، تاج ریزی، چلیپایی 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 ۱۷۱۶/۸ و ۷۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم وزن خشک). کیسه چوبان در جذب کادمیوم نسبت به بقیه گونه‌ها موفق تر عمل کرده است (۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم). منداب و کلزا نیز به دلیل رشد رویشی مناسب، ایجاد بیomas بالا و تجمع بالای روی، سرب و کادمیوم از جمله گونه‌های مناسب جهت گیاه‌پالایی در این خاک محسوب می‌شوند. دو گونه آفتابگردان و ذرت در جذب و تجمع دادن فلزات سنگین نسبت به بقیه گونه‌ها موققتی کمتری داشتند به همین دلیل جهت گیاه‌پالایی خاک معدنی ایرانکوه مناسب به نظر نمی‌رسند.

کلمات کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، گیاهان انباشتگر، گیاه‌پالایی.

مقدمه:

چندین روش برای زداش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین وجود دارد که از جمله آن می‌توان 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 به عنوان یک تکنولوژی مهم برای زداش خاک‌های آلوده مطرح شد. یکی از مهمترین جنبه‌های این تکنولوژی، استخراج گیاهی (Phytoextraction) است که از گیاهان بیش انباشتگر برای زداش فلزات سنگین از مکان‌های آلوده استفاده می‌شود. واژه بیش انباشتگر برای اولین بار توسط Brooks و همکارانش

با افزایش فعالیت‌های صنعتی در قرن بیستم به خصوص در کشورهای در حال توسعه آلودگی‌های زیست محیطی نیز افزایش یافته است (Garbisu and Alkorta, 2001). از جمله عوامل آلوده کننده خاک به فلزات سنگین می‌توان به فعالیت‌های کشاورزی (استفاده از کود و بقایای گیاهان) و همچنین فعالیت‌های صنعتی (معدن 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).

نسبت بالایی از گونه‌های این جنس از نظر اکولوژیکی بومی و Brooks *et al.*, (1979). هم‌چنین از خانواده سیب زمینی (Solanaceae) گیاه تاج ریزی (*Solanum nigrum*) انتخاب گردید که این گونه گیاهی اغلب در مناطق آلوده به فلزات یافت می‌شود و اخیراً به عنوان انباستگر فلز کادمیوم معرفی شده است (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 دارد می‌باشد (Meers *et al.*, 2005) و در خاک‌های آلوده به فلزات Madejon *et al.*, 2003; سنگین دارای تحمل بالا است (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 ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در محدوده طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ} ۵۱' \text{ تا } ۳۱^{\circ} ۳۱'$  و در عرض‌های  $۳۷^{\circ} ۳۲' \text{ تا } ۲۸^{\circ} ۳۲'$  قرار دارد. این محدوده به طور کلی طولی معادل ۲۵ کیلومتر و عرضی معادل ۳ کیلومتر را در بر می‌گیرد. مرتفع‌ترین منطقه آن حدود ۲۷۵۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه ۲۵۰ میلی متر است. حداکثر درجه حرارت در تابستان  $40^{\circ}$  درجه سانتی گراد و حداقل درجه حرارت در زمستان  $-10^{\circ}$  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

(1977) استفاده شد که به گیاهانی اشاره دارد که قادرند بیش از ۱۰۰۰ میکروگرم در گرم عناصری نظیر سرب، نیکل، کروم، کبالت و مس در وزن خشک (DW) ذخیره کنند. گیاهان بیش انباستگر فلزات سنگین را صد برابر بیشتر از گیاهان معمولی جذب می‌کنند (Li *et al.*, 2003). تا کنون بیش از ۴۰۰ نوع گیاه بیش انباستگر 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 انباستگر بسیار آهسته رشد کرده بیوماس کمی تولید می‌کنند و پراکنده‌گی کمی در سرتاسر جهان دارند. اخیراً در گیاه‌پالایی توجه زیادی به گیاهان انباستگری که تولید بیوماس زیاد، رشد سریعی داشته و متتحمل به فلزات باشند شده است (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 انباستگر فلزی در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. گیاهان مورد پژوهش از خانواده شب بو (Brassicaceae) شامل پنج گونه کیسه چوپان (*Thlaspi caerulescens*), چلیپای زرد (*Eruca sativa*), منداب (*Matthiola Chenopodiifolia*)، کلزا (*Alyssum bracteatum*) و قدومه (*Brassica napus*) 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، ۱۳۸۹). در پژوهشی که در شرایط آزمایشگاهی انجام گردید توانایی نسبتاً بالای این گیاه در جذب و تجمع کادمیوم مشاهده شد (قادریان و جمالی حاجیانی، ۱۳۸۹). 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 انباستگر نیکل محسوب می‌شود.

(شب/روز) و شدت نور  $200\text{ میکرومول فوتون بر متر مربع بر ثانیه}$  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 ۴۸ ساعت در دمای  $70^\circ\text{C}$  درجه سانتی گراد در آون خشک گردید. در ادامه حدود  $1/0.05\text{ گرم از بخش‌های هوایی هر نمونه توزین گردید و به کوره الکتریکی با دمای }500^\circ\text{ درجه سانتی گراد به مدت ۶ ساعت منتقل گردید. پس از آن }10\text{ میلی لیتر آب مقطر به خوبی مخلوط گردید و پس از گذشت }30\text{ دقیقه pH محلول رویی با استفاده از pH متر اندازه گیری شد.}$

**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  $p \leq 0.05$  انجام شد.

#### نتایج:

**مقدار فلزات سنگین و pH خاک ایرانکوه:** مقدار فلزات سنگین روی، سرب و کادمیوم در خاک مورد مطالعه به ترتیب  $4307\text{ میلی گرم در کیلوگرم خاک}$  اندازه گیری شد. pH  $1649\text{ و }38\text{ میلی گرم در کیلوگرم خاک}$  کمی قلیایی و برابر با  $7/5\text{ می باشد (جدول ۱).}$  میانگین وزن خشک نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی آن: بیشترین میانگین وزن خشک مربوط به آفتابگردان به مقدار  $400\text{ میلی گرم در گیاه}$  و کمترین آن مربوط به چلپای زرد به مقدار  $4\text{ میلی گرم در گیاه است. ذرت، کیسه چوپان، تاج ریزی، منداب، کلزا و قدومه به ترتیب دارای میانگین وزن خشک }20, 10, 16, 17, 40\text{ و }5\text{ میلی گرم در گیاه هستند (جدول ۲).}$  بیشترین مقدار تجمع روی مربوط به تاج ریزی به مقدار

مطالعات اولیه حدود  $53\text{ سال تخمین زده شده است که به نظر می‌رسد با اکتشاف ذخایر سولفوره این رقم افزایش یابد. مقداری نمونه خاک از اطراف این معدن از سطح تا عمق }20\text{ سانتی متری جمع آوری و به آزمایشگاه جهت کشت گونه‌های گیاهی منتقل گردید.}$

**اندازه گیری pH خاک:** جهت اندازه گیری pH مقدار  $10\text{ گرم از نمونه مورد نظر با غربال }2\text{ میلی متری غربال گردید. سپس با }30\text{ میلی لیتر آب مقطر به خوبی مخلوط گردید و پس از گذشت }30\text{ دقیقه pH محلول رویی با استفاده از pH متر اندازه گیری شد.}$

**اندازه گیری مقدار عناصر در حالت کل خاک:** ابتدا نمونه خاک با غربال  $2\text{ میلی متری غربال گردید و حدود }5\text{ گرم از هر نمونه در هاون چینی به خوبی سائیده شد و در دمای }70^\circ\text{ درجه سانتی گراد به مدت ۵ ساعت در آون خشک گردید. سپس }500\text{ میلی گرم از خاک حاصل را در داخل لوله آزمایش ریخته و به هر لوله }10\text{ میلی لیتر اسید کلریدریک }37\% \text{ و اسید نیتریک }15\% \text{ به نسبت }3\text{ به }1\text{ اضافه شد. لوله‌ها به مدت }12\text{ ساعت در زیر هود قرار داده شدند. بعد از آن به مدت یک ساعت در حمام شنی در دمای }100^\circ\text{ درجه سانتی گراد قرار داده شد تا خاک به خوبی تجزیه شود. محلول حاصل در بالن ژوژه }50\text{ میلی متری توسط قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی }9\text{ 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 قرار گرفت. کشت گونه‌های گیاهی: گلدانهای مجزای  $9\text{ سانتی متری}$  با خاک معدنی ایرانکوه پر گردید و هر یک از گونه‌های گیاهی کیسه چوپان، ذرت، آفتابگردان، منداب، کلزا، تاج ریزی و چلپای زرد را در آنها کشت داده و برای هر گونه  $3\text{ 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 }16\text{ ساعت نور)، دمای متناوب }25/18^\circ\text{ درجه سانتی گراد$$

جدول ۱- مقدار فلزات سنگین (میکروگرم در گرم) و pH نمونه خاک. مقادیر شامل میانگین سه تکرار ± انحراف معیار است.

| pH  | Cd      | Pb     | Zn       |
|-----|---------|--------|----------|
| ۷/۵ | ۳۸±۱۰/۶ | ۱۶۴±۲۰ | ۴۳۰۷±۱۶۳ |

جدول ۲- وزن خشک نمونه‌های گیاهی رشد کرده بر روی نمونه خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز (میلی‌گرم در گیاه).

| وزن گیاه ( $\text{mg plant}^{-1}$ ) | ذرت  | آفتابگردان | کیسه چوپان | تاج ریزی | منداب  | کلزا   | چلپیای زرد | قدومه |
|-------------------------------------|------|------------|------------|----------|--------|--------|------------|-------|
| ۱۷۱۶/۸                              | ۲۰±۸ | ۴۰۰±۲۰     | ۱۰±۳/۳     | ۱۷±۲/۲   | ۱۶±۶/۶ | ۴۰±۴/۴ | ۴±۱        | ۵±۱   |

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 ۱۰-۳۰۰، ۲-۲۰۰ و ۳ 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 سرب در چین، غلظت روی در تاج ریزی بین ۲۵۰ تا ۳۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و غلظت سرب بین ۱۸/۱ تا ۳۸۲ میلی‌گرم در کیلوگرم برآورد شده است 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 اباشتگر روی و کادمیوم شناخته شده است در جذب کادمیوم نسبت به بقیه گونه‌ها موفق تر عمل کرده است و در جذب روی و سرب در رتبه دوم قرار دارد. این گیاه در مناطق آلوده به فلزات سنگین در اسلوئی مقدار ۱۴۵۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم روی، ۵۹۰ میلی‌گرم در کیلوگرم کادمیوم و ۳۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم سرب را در قسمت‌های هوایی خود تجمع داده است (Mikus *et al.*, 2005). افزایش جذب روی توسط ریشه گیاه کیسه چوپان در اثر افزایش بیان ژن‌های اعضای خانواده ZIP مانند پروتئین‌های (zinc regulated transporter protein) را تنظیم کننده انتقال روی 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.

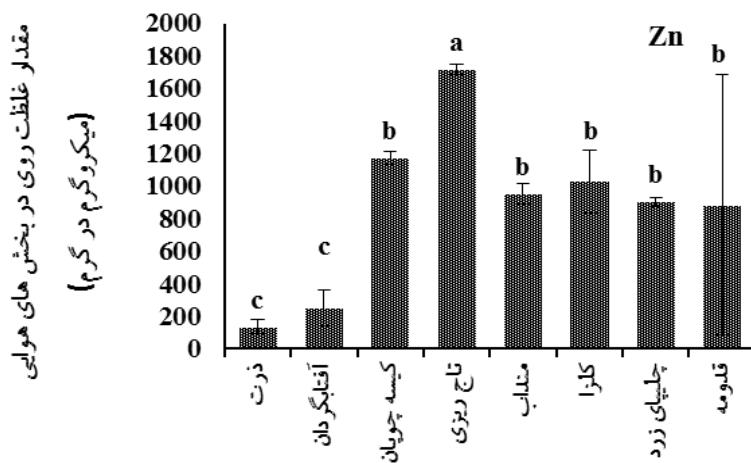
۱۷۱۶/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم است. پس از آن کیسه چوپان، کلزا، منداب، چلپیای زرد و قدومه بیشترین مقدار جذب را به ترتیب به مقدار ۱۱۷۲/۴، ۱۰۲۷/۸، ۹۵۲/۸، ۹۰۳ و ۸۸۴ میلی‌گرم در کیلوگرم داشته‌اند. کمترین جذب روی مربوط به آفتابگردان و ذرت به ترتیب به مقدار ۴۰۰/۴ و ۲۵۰/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (شکل ۱).

مقدار سرب جذب شده در تاج ریزی از بقیه گونه‌ها بیشتر و به مقدار ۷۲۴ میلی‌گرم در کیلوگرم است. پس از آن کیسه چوپان با جذب ۵۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم قرار دارد. مقدار جذب سرب در چلپیای زرد، کلزا و منداب به ترتیب به مقدار ۲۵۳/۷، ۲۰۰/۶ و ۱۷۸/۹ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است. کمترین جذب مربوط به قدومه، آفتابگردان و ذرت به ترتیب به مقدار ۱۰۶/۵، ۵۰/۶ و ۳۶/۴ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (شکل ۲).

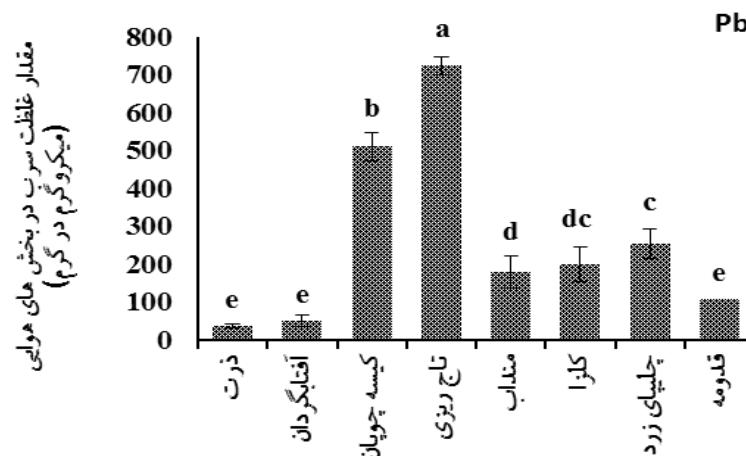
مقدار تجمع کادمیوم در کیسه چوپان نسبت به بقیه گونه‌ها بیشتر بوده و به مقدار ۳۵/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم است. پس از آن چلپیای زرد بیشترین مقدار جذب را به مقدار ۲۵/۱ میلی‌گرم در کیلوگرم داشته است. مقدار جذب کادمیوم در قدومه، کلزا، منداب، تاج ریزی و آفتابگردان به ترتیب به مقدار ۲۳/۵، ۱۸/۲ و ۱۸/۱، ۱۸/۴ و ۱۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم صورت گرفته است. کمترین جذب کادمیوم مربوط به ذرت به مقدار ۳/۳ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است (شکل ۳).

### بحث:

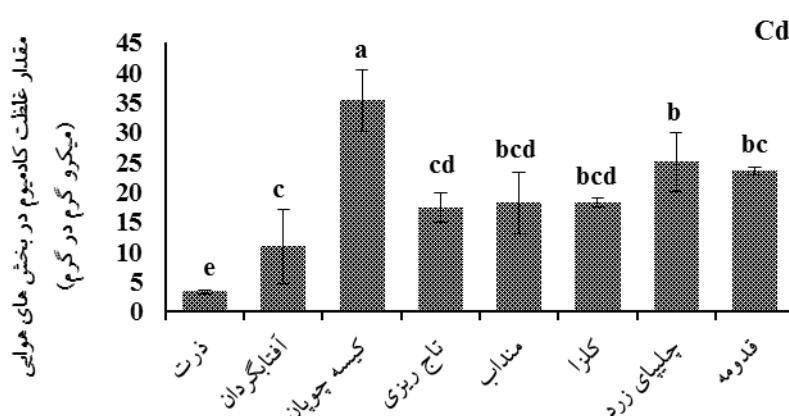
معدن سرب و روی ایرانکوه سومین معدن بزرگ سرب و روی ایران محسوب می‌شود. استخراج این دو فلز باعث شده است که مقدار آن‌ها و همچنین فلزات دیگر از قبیل کادمیوم که در



شکل ۱- غلظت روی انباشت شده در بخش های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز. مقادیر شامل میانگین سه تکرار  $\pm$  انحراف معیار است. (حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی دار بین گیاهان مختلف بر اساس آزمون دانکن است ( $p \leq 0.05$ )).



شکل ۲- غلظت سرب انباشت شده در بخش های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز. مقادیر شامل میانگین سه تکرار  $\pm$  انحراف معیار است. (حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی دار بین گیاهان مختلف بر اساس آزمون دانکن است ( $p \leq 0.05$ )).



شکل ۳- غلظت کادمیوم انباشت شده در بخش های هوایی گیاهان رشد یافته بر روی خاک ایرانکوه به مدت ۴۰ روز. مقادیر شامل میانگین سه تکرار  $\pm$  انحراف معیار است. (حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی دار بین گیاهان مختلف بر اساس آزمون دانکن است ( $p \leq 0.05$ )).

غیرآلوده بیشتر است. گونه قدمه 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 آفتتابگردان 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 انباستگر یکی از راههای مؤثر زدایش فلزات سنگین از خاک این منطقه است. بر اساس نتایج حاصل می‌توان با کشت وسیع گیاهان چلیپایی زرد، منداب، کلزا، کیسه چوبان 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 انباستگر 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 پژوهه در قالب طرح پژوهشی کمال تشکر را داریم.

(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 بوده است (۰۵۳/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم). این گیاه قابلیت جذب و انباست کادمیوم را دارا می‌باشد. گزارش شده است مقدار جذب کادمیوم در این گونه گیاهی تحت تیمار ۲/۵ و ۴۰ میلی‌گرم 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 می‌شود. 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 یون‌ها از خلال غشای سلولی ریشه دارا است (Rossi *et al.*, 2002).

مطالعات انجام شده توسط Poonia و Indoria (۲۰۰۶) نشان داد مقدار تجمع فلزات روی و سرب در گونه‌های *B. napus* و *E. sativa* و *B. juncea* کشت داده شده بر روی خاک‌های آلوده نسبت به گونه‌های کشت داده شده بر روی خاک‌های

#### منابع:

- قادریان، س. م. و جمالی حاجیانی، ن. (۱۳۸۹) بررسی مقاومت، جذب و انباستگری کادمیوم در گیاه *Matthiola Chenopodiifolia* Fisch & C. A. Mey ۶: ۸۷-۹۸، (Brassicaceae)، زیست‌شناسی گیاهی ۳: ۱۳۱-۱۳۹.
- 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 *Thlaspi 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

- (1999) Accumulation of heavy metals in sunflower and sorghum plants affected by the Guadiana 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. *Environmental 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 nigrum* 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 serpentine flora of Cuba. *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., Figlolia, A., Sosciarelli, S. and Pennelli, B. (2002) Capability of *Brassica napus* to Accumulate Cadmium, Zinc and Copper from soil. *Acta Biotechnologica* 22: 133–140.
- Verbruggen, N., Hermans, C. and Schat, H. (2009) Molecular mechanisms of metal hyperaccumulation 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. *Environmental 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.