

بررسی غلظت سرب و نیکل در خاک و گیاه مرتعی *Halimocnemis pilifera* در اطراف مرکز دفن زباله حلقه دره کرج

- ❖ نفیسه پناهی قره سو؛ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ امیرحسین حمیدیان*؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
- ❖ علی طوبلی؛ دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران

چکیده

این پژوهش در اطراف مرکز دفن زباله حلقه دره کرج با هدف بررسی تعیین غلظت فلزات سنگین (سرب و نیکل) در گیاه *Halimocnemis pilifera* و خاک منطقه صورت گرفت. به منظور انجام مطالعه سه پلات ۵۰ * ۵۰ متر در جهت باد غالب منطقه استقرار یافت. پلات اول در نزدیکی حوضچه‌های شیرابه و پلات‌های دوم و سوم بافاصله ۵۰۰ متری و یک کیلومتری از پلات اول استقرار گردید. در هر پلات از گیاه مورد مطالعه با ۱۰ تکرار به تفکیک اندام هوایی و ریشه نمونه‌برداری انجام گردید. همچنین ۱۰ نمونه از خاک نیز به طور تصادفی تهیه گردید. به منظور بررسی تفاوت معنی‌دار غلظت فلزات سرب و نیکل در اندام هوایی و ریشه گیاه در پلات‌های مختلف، داده‌ها مورد تجزیه واریانس دو طرفه و تعیین تفاوت بین خاک سه پلات از نظر غلظت فلزات سرب و نیکل مورد تجزیه واریانس یک طرفه قرار گرفتند. برای مقایسه میانگین‌ها نیز از آزمون دانکن استفاده گردید. نتایج نشان داد که خاک سه پلات از نظر غلظت فلزات سرب و نیکل تفاوت معنی‌داری ندارند. همچنین با انجام آزمون t غیرجفتی این نتیجه حاصل گردید که بین اندام هوایی و ریشه گونه از نظر غلظت سرب هیچ تفاوت معنی‌داری وجود ندارد اما از نظر غلظت نیکل این اختلاف در سطح ۵ درصد معنی‌دار گردید. تفاوت در پلات‌ها نشان داد که گیاهان در پلات دوم بیشترین غلظت نیکل ($3/27 \text{mgkg}^{-1}$) و در پلات سوم بیشترین غلظت سرب ($4/41 \text{mgkg}^{-1}$) را جذب کرده‌اند. فاکتورهای تجمع و انتقال برای فلزات سرب و نیکل نشان داد که گیاه *Halimocnemis pilifera* با $TF_{1/21} = 0/75$ و $BCF_{1/11} = 0/29$ به ترتیب برای فلزات سرب و نیکل، برای پالایش فلز سرب از خاک‌های آلوده مناسب است.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، حلقه دره، فلزات سنگین (سرب و نیکل)، گیاه *Halimocnemis pilifera*، مرکز دفن زباله

۱. مقدمه

دارد. برخی از گونه‌های گیاهی توانایی جذب و انباشت مقادیر زیادی از عناصر سنگین را دارند بدون این که آثار سمی آشکار برای آن‌ها ایجاد نماید. بنابراین، می‌توان از این ویژگی گیاهان برای پاک سازی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین به‌ویژه در مراتع استفاده نمود برخی از فلزات سنگین نظیر مس، روی و نیکل در مقادیر کم به عنوان عناصر کم مصرف برای رشد گیاهان ضروری هستند و به وسیله ریشه از خاک جذب می‌شوند بررسی پوشش گیاهی طبیعی در مراتع آلوده به فلزات سنگین و تعیین غلظت عناصر فلزی در گونه‌های گیاهی از جنبه‌های علمی و کاربردی از اهمیت زیادی برخوردار است [۴].

۲. روش شناسی

۱.۲. محل مورد مطالعه

شهر کرج به عنوان مرکز استان البرز بر روی آبرفتهای کوهپایه ای جنوب البرز مرکزی واقع است. مساحت تقریبی آن ۶ هزار کیلومتر مربع می‌باشد و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۰۰ متر است. مرکز دفن حلقه دره در فاصله ۶،۵ کیلومتری جنوب غربی مهرشهر کرج قرار دارد و از سال ۱۳۷۲ به بعد زباله‌های شهر کرج تماما در این منطقه دفن می‌شود. این مرکز دفن از شمال به کوه‌های حلقه دره و فرودگاه پیام، از جنوب به منطقه شوره زار و از غرب و شرق به ارتفاعات حلقه دره منتهی می‌شود که در موقعیت جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی قرار دارد.

در سایت مورد نظر به واسطه کمی بارندگی (۲۰۰-۳۰۰ میلی متر) و طولانی بودن فصل خشک، پوشش گیاهی قابل توجه نیست و تنها شامل گیاهانی از قبیل فرفیون (*Euphorbia helioscopia*)، درمنه (*Artemisia seiberi*)، گون (*Astragalus gossypinus*) و خارشتر (*Alhagi camelicum*) است. شیب این منطقه ۲۰-۶ درصد و دارای اقلیم سرد و نیمه خشک است و جهت باد غالب غربی-شرقی است [۵].

در حال حاضر یکی از چالش‌های اساسی در زمینه محیط زیست، افزایش تدریجی غلظت فلزات سنگین در خاک به سبب عدم تجزیه آنها توسط میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. این گونه فلزات با توجه به داشتن خواص و اثرات بالقوه سیتوتوکسیک، کارسینوژنیک و موتاژنیک، مخاطرات جدی را بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده وارد می‌نمایند. فلزات سنگین از راه‌های مختلف وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شوند، فاضلاب‌ها، مواد دفعی حاصل از فعالیت کارخانه‌ها، زباله‌ها، گرد و غبار و... راه‌های معمول ورود فلزات سنگین به زنجیره‌های غذایی هستند. آلودگی به فلزات سنگین نه تنها با فعالیت انسان حاصل می‌گردد بلکه بطور طبیعی در مقادیر مختلف در محیط به ویژه خاک وجود دارند [۱]. در این بین مراکز دفن زباله به عنوان یکی از کانون‌های تولید و تجمع فلزات سنگین مطرح هستند. عمده ترین مشکل محل دفن مواد زاید جامد شهری، شیرابه و گاز تولید شده در اثر تجزیه زباله‌های دارای ترکیبات آلی میباشد ویژگیهای خاص ترکیب زباله شهری در ایران از جمله درصد بالای مواد فسادپذیر و رطوبت و همچنین شرایط خاص اقلیمی نظیر بارندگی کم و تبخیر زیاد سبب شده است که شیرابه حاصل دارای بار آلودگی بالایی از فلزات سنگین در مقایسه با کشورهای صنعتی باشد [۲] این فلزات سنگین چون از بین نرفته و تجزیه نمی‌شوند بنابراین در خاک‌ها و رسوبات تجمع نموده و به دلیل توانایی تجمع‌پذیری زیستی این گونه مواد، سلامت موجودات زنده به خصوص انسان را از طریق ورود به زنجیره‌های غذایی با خطرات بسیاری مواجه می‌نماید [۳].

به طور کلی نتایج تحقیقات انجام گرفته حاکی است که گونه‌های خاصی از گیاهان مرتعی توانایی رشد و سازگاری و جذب فلزات سنگین را دارا می‌باشند. جذب فلزات سنگین از خاک توسط گیاهان مرتعی بستگی به نوع و غلظت فلزات موجود در خاک، دستیابی زیستی عناصر و نوع گونه گیاهی

فلزات سنگین در بسیاری از پژوهش‌ها به اثبات رسیده است [۶ و ۷]، بنابراین پلات‌های انتخابی به منظور نمونه برداری با فواصل ۵۰۰ متری در جهت باد غالب عمود بر مسیر در نظر گرفته شدند. پلات اول در اطراف حوضچه‌های شیرابه قرار دارد (شکل ۱).

۲.۲. نمونه برداری و اندازه‌گیری‌های شیمیایی

برای نمونه برداری از خاک و گیاه مورد نظر، ۳ پلات با ابعاد ۵۰ * ۵۰ متر انتخاب گردید. به دلیل اینکه بررسی غلظت فلزات سرب و نیکل در چهار جهت به دلیل بار مالی امکان پذیر نبود و از طرفی اثر باد در جابجایی



شکل ۱. جانمایی موقعیت پلات‌های نمونه برداری و حوضچه‌های شیرابه بر روی تصویر ارسالی گوگل ۲۰۱۲

استفاده شد و با اسید ۱٪ دیونیزه به حجم رسانده شدند و سپس با دستگاه جذب اتمی (AA 240 (FS) Varian Company, USA) غلظت نمونه‌ها قرائت گردید. بعد از مشخص کردن میزان فلزات سنگین در نمونه‌های گیاهی جمع‌آوری شده، برای ارزیابی کارایی گیاهان شناسایی شده به منظور پالایش آلودگی، شاخص‌های BCF^1 و TF^2 با استفاده از فرمول‌های زیر اندازه‌گیری شد.

$$BCF = \frac{\left(\frac{mg}{kg}\right) \text{ غلظت فلز سنگین در مواد گیاهی برداشت شده}}{\left(\frac{mg}{kg}\right) \text{ غلظت فلز سنگین در محلول خاک}} \quad (1)$$

تعداد ۱۰ نمونه از گیاه *Halimocnemis pilifera* با نام فارسی شورپای کرکی در داخل هر پلات به صورت تصادفی برداشت شدند. روش آماده‌سازی نمونه‌های گیاهی روش خاکستر خشک بود. جهت آنالیز و سنجش میزان غلظت سرب و نیکل، بعد از جدا کردن اندام هوایی و ریشه، به مقدار ۱ الی ۲ گرم از نمونه‌ها داخل ارلن گذاشته شدند و ارلن‌ها به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد در آن قرار داده شدند تا نمونه‌ها خشک شود. سپس وزن خشک نمونه‌ها به دست آورده شد و ارلن‌ها به مدت ۲۴-۴۸ ساعت در کوره در دمای ۵۰۰ درجه قرار داده شد تا خاکستر شود. در مرحله بعد از اسید نیتریک ۴ مولار برای هضم اسیدی نمونه‌ها

¹ Bio Concentration Factor

² Translocation Factor

۳.۲. تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها و همگنی واریانس‌ها، به منظور بررسی وجود تفاوت در غلظت سرب و نیکل در اندام‌های گیاهی (ریشه و برگ) در سه پلات نمونه برداری، بر روی داده‌ها آزمون تجزیه واریانس دو طرفه صورت گرفت و برای تعیین تفاوت معنی‌دار در غلظت فلزات ذکر شده در نمونه‌های خاک پلات‌های مورد مطالعه، داده‌ها مورد تجزیه واریانس یک طرفه قرار گرفتند. همچنین برای بررسی معنی‌داری ارتباط بین سرب و نیکل در اندام‌های ریشه و برگ گیاه و خاک و همچنین بررسی ارتباط بین فاکتورهای شیمیایی و غلظت سرب و نیکل در ریشه و اندام هوایی از همبستگی پیرسون استفاده گردید.

۳. نتایج

بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار غلظت‌های به دست آمده در جدول ۱ ارائه شده است.

$$TF = \frac{\text{غلظت فلز سنگین در بخش‌های هوایی گیاه} \left(\frac{mg}{kg}\right)}{\text{غلظت فلز سنگین در ریشه} \left(\frac{mg}{kg}\right)} \quad (2)$$

نمونه‌های خاک نیز با ۱۰ تکرار از عمق صفر تا ۲۰ سانتی متری در داخل هر پلات به صورت تصادفی تهیه گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه خشک و از الک ۲ میلیمتری عبور داده شدند و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شامل بافت، اسیدیته، کربن آلی، درصد کربنات کلسیم، شوری با روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری [۱۰]، کربن آلی به روش والکلی و بلاک [۱۱]، میزان آهن توسط دستگاه کالسیمتری، شوری خاک توسط دستگاه هدایت الکتریکی و pH خاک توسط دستگاه pH متر تعیین گردید. برای تعیین غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل نیز، نمونه‌های خاک از الک ۱۵۰ میکرون عبور داده شدند. در مرحله بعد از اسید نیتریک ۴ مولار (نسبت حجمی ۱:۸ خاک به ترکیب نهایی) جهت عصاره‌گیری استفاده شد [۱۲] و با استفاده از دستگاه جذب اتمی غلظت نمونه‌ها قرائت گردید.

جدول ۱. بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در نمونه‌های مورد مطالعه بر حسب $mg\ kg^{-1}$ وزن خشک

شماره پلات	نمونه	سرب			نیکل			
		بیشینه	کمینه	میانگین	انحراف معیار	بیشینه	کمینه	میانگین
پلات ۱	اندام هوایی	۵/۲۱	۱/۱۷	۲/۹۷	۱/۶۲	۳/۳۴	۰/۴۶	۱/۶۹
	ریشه	۵/۵۴	۱/۰۵	۳/۱۲	۱/۵۳	۳/۰۶	۱/۵۳	۲/۱۷
	خاک	۹/۷۰	۲/۵۸	۶/۵۳	۲/۳۱	۱۵/۲۳	۱۳/۸۲	۱۴/۴۲
پلات ۲	اندام هوایی	۵/۹۸	۱	۳/۱۹	۱/۷۶	۳/۳	۱/۳۵	۲/۵۰
	ریشه	۲/۶۸	۱/۲۵	۱/۹۷	۰/۵۵	۷/۰۱	۰/۹۲	۳/۹۴
	خاک	۱۰/۴۲	۲/۴۶	۶/۲۵	۲/۴۹	۱۹/۵۲	۱۳/۰۹	۱۶/۳۱
پلات ۳	اندام هوایی	۷/۰۳	۱/۱۲	۴/۸۰	۲/۰۳	۲/۴۳	۱/۲۳	۱/۹۶
	ریشه	۷/۸۶	۲/۰۵	۳/۹۴	۲/۲۷	۲/۶۷	۱/۴۸	۱/۹۹
	خاک	۸/۷۹	۰/۸۹	۴/۸۶	۲/۲۰	۲۴/۹۲	۱۲/۶۷	۱۷/۶۲

شور بوده و از نظر ماده آلی فقیر می‌باشند (کمتر از یک درصد). بافت خاک نیز ماسه‌ای تا ماسه‌ای سیلتی است و جز خاک‌های تقریباً قلیایی هستند ($pH > 7$).

۱.۳. تشریح خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک

در جدول ۲ مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک پلات‌های نمونه برداری آورده شده است. اندازه‌گیری EC در این خاک‌ها نشان داد که این خاک‌ها جز خاک‌های

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک پلات‌های مطالعاتی

شماره پلات	EC	pH	کربنات کلسیم	ماده آلی	ماسه	سیلت	رس
پلات ۱	۱/۲۵	۷/۹	۱۴/۲	۰/۳۲	۲۴	۴۳	۳۳
پلات ۲	۲/۵۳	۷/۵	۱۲/۶	۰/۲۲	۵۵	۲۷	۱۹
پلات ۳	۱/۷۲	۷/۷	۱۴/۴	۰/۲۴	۵۳	۲۷	۲۱

خاک‌های سه پلات از نظر میزان غلظت فلز سرب و نیکل تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۳).

۲.۳. غلظت فلزات سرب و نیکل در خاک

نمونه‌های خاک در سه پلات مورد مطالعه مورد تجزیه واریانس یک طرفه قرار گرفتند و نتایج نشان داد که بین

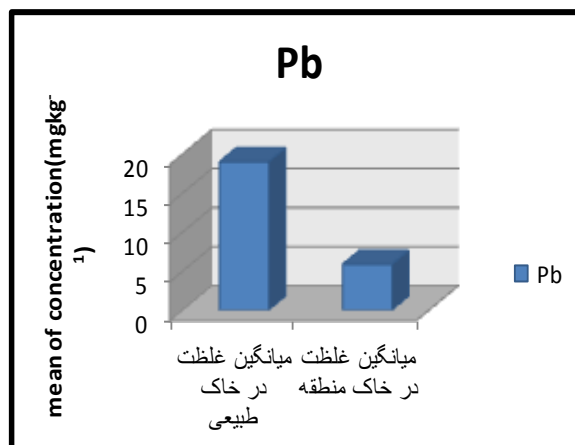
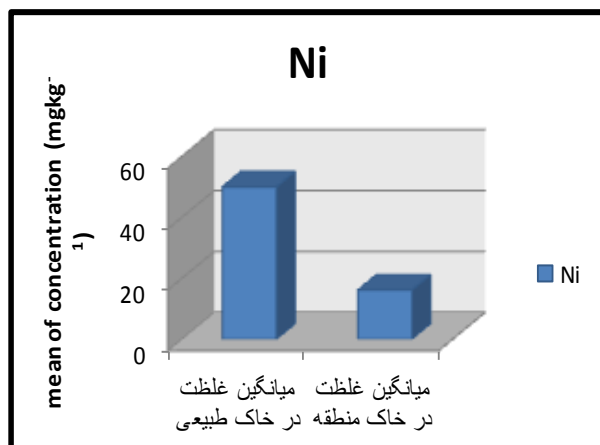
جدول ۳. نتایج واریانس غلظت فلزات سرب و نیکل در خاک پلات‌های مختلف

عناصر اندازه‌گیری شده	منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F
سرب	خاک	۲	۸/۰۶	۱/۴۷ ^{ns}
	خطا	۲۷	۵/۴۴	
نیکل	خاک	۲	۲۵/۹۸	۳/۴۹ ^{ns}
	خطا	۲۷	۷/۴۴	

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

کمتر می‌باشد، بنابراین بر اساس نتایج حاصل از تجزیه خاک‌های منطقه، میزان آلودگی خاک منطقه به سرب و نیکل کمتر از حد متوسط این فلزات در خاک می‌باشد (نمودار ۱).

بر اساس گزارش [۱۳]، متوسط غلظت سرب و نیکل در خاک به ترتیب ۱۹ و ۵۰ $mg\ kg^{-1}$ می‌باشد، در حالی که میانگین غلظت سرب و نیکل موجود در خاک منطقه نمونه برداری شده به ترتیب ۵/۸۸ و ۱۶/۱۲ $mg\ kg^{-1}$ است که از حد متوسط این فلزات در خاک‌ها



نمودار ۱. نمودار مقایسه متوسط غلظت فلزات سرب و نیکل در خاک طبیعی با خاک منطقه

سرب و نیکل در اندام‌های گیاه در پلات‌های مختلف بر اساس آزمون دانکن در سطح ۵ درصد نشان می‌دهد که بین مقادیر سرب و نیکل در ۳ پلات اختلاف معنی‌داری وجود دارد به گونه‌ای که بیشترین مقدار سرب در اندام‌های گیاه در پلات ۳ و کمترین مقدار در پلات ۲ وجود دارد. اما بین میانگین پلات ۱ و ۲ اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و برای فلز نیکل، نتایج آزمون دانکن نشان داد که پلات دوم، بیشترین مقدار میانگین نیکل را در اندام‌های گیاه به خود اختصاص داد و نسبت به دو پلات دیگر در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری را نشان داد (جداول ۴، ۵ و ۶).

۳.۳. غلظت فلزات سرب و نیکل در گیاه

در ابتدا با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف یک نمونه‌ای، داده‌ها مورد آزمون قرار گرفتند و نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس چند طرفه غلظت سرب و نیکل در اندام‌های مختلف گیاه *H. pilifera* (ریشه و برگ) در ۳ پلات مورد نظر آورده شده است. با توجه به مقدار p برای منابع تغییر مختلف نتیجه می‌شود که پلات‌های مختلف بر روی مقدار غلظت فلز سرب و نیکل اثر معنی‌داری داشته و اندام‌های مختلف گیاهی و اثر متقابل پلات*اندام‌ها بر روی مقدار فلز سرب و نیکل تاثیر معنی‌دار نداشته است، مقایسه میانگین‌های

جدول ۴. میانگین غلظت سرب و نیکل (mg kg^{-1}) در اندام‌های هوایی و ریشه گونه *H. pilifera*

اندام هوایی	ریشه	فلز سنگین
۳/۶۵	۳/۱۷	سرب
۲/۰۵*	۲/۷*	نیکل

*در هر ردیف، نشان‌دهنده وجود تفاوت معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد است

جدول ۵. غلظت سرب و نیکل (mg kg^{-1}) در نمونه گیاهی *H. pilifera* و مقادیر BCF و TF

اندام هوایی	اندام زیرزمینی	TF	BCF	فلز
۳/۶۵	۳/۰۱	۱/۲۱	۱/۱۱	سرب
۱/۹۶	۲/۷	۰/۷۵	۰/۲۹	نیکل

جدول ۶. نتایج واریانس غلظت سرب در اندام‌های مختلف گیاهی (ریشه و برگ) در ۳ پلات مورد مطالعه

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۵/۴۶*	۱۵/۸۲	۲	پلات
۱/۱۴ ^{ns}	۳/۳۲	۱	اندام‌های گیاهی
۰/۶۸ ^{ns}	۳/۹۷	۲	پلات*اندام گیاهی
	۲/۸۹	۵۴	خطا

*، نشاندهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد است

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

فلز نیکل بالعکس است، یعنی غلظت فلز نیکل در خاک بیشتر از ریشه می‌باشد (جدول ۷).

مقدار BCF در مورد این گیاه برای ارزیابی غلظت فلز سرب در اندام‌های زیرزمینی، نشان داد که غلظت این فلز در ریشه بیشتر از خاک ($BCF > 1$) بود، در حالی که برای

جدول ۷. نتایج واریانس غلظت نیکل در اندام‌های مختلف گیاهی (ریشه و برگ) در ۳ پلات مورد مطالعه

F	میانگین مربعات	درجه آزادی	منبع تغییرات
۱۱/۰۲*	۱۰/۶۹	۲	پلات
۶/۵۱ ^{ns}	۶/۳۲	۱	اندام‌های گیاهی
۲/۶۲ ^{ns}	۲/۵۴	۲	پلات*اندام گیاهی
	۰/۹۷	۵۴	خطا

*، نشاندهنده معنی‌دار بودن در سطح احتمال پنج درصد است

ns: عدم وجود اختلاف معنی‌دار

آهن، مس و روی معرفی کردند. در این مطالعه مقدار TF برای فلز سرب برای این گیاه بیشتر از یک است و این موضوع گویای این حقیقت است که فلز سرب در این گیاه از ریشه به بخش هوایی انتقال و کمتر در بخش ریشه تجمع یافته است. ولی در مورد فلز نیکل در این گیاه مقدار ضریب TF کمتر از یک می‌باشد و تجمع در بخش ریشه بیشتر است (جدول ۸).

فاکتور انتقال (TF) برای تعیین انتقال فلزات تجمع یافته در ریشه به بخش‌های هوایی گیاه است. گونه‌های با TF کمتر از یک بیشترین تجمع فلز را در بافت‌های زیرزمینی داشته و پتانسیل استفاده به فلزات سنگین به صورت سیستم ریشه صافی را دارا می‌باشند. Lorestani و همکاران [۱۴] در تحقیق خود برای بررسی کارایی گیاه پالایی ۱۱ گونه مرتعی گونه‌های با TF کمتر از یک را گونه‌های مناسب برای پالایش خاک‌های آلوده به منیزیم،

جدول ۸. مقایسه میانگین مقادیر سرب و نیکل در نمونه‌های گیاهی در سه پلات بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد

پلات	سرب ($mgkg^{-1}$)	نیکل ($mgkg^{-1}$)
۱	۳/۰۹ ^a	۱/۹۳ ^a
۲	۲/۷۳ ^a	۳/۲۱ ^b
۳	۴/۴۱ ^b	۱/۹۷ ^a

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد است.

غلظت عناصر در ریشه و اندام هوایی در سطح ۵ درصد محاسبه گردید. نتایج نشان داد که تنها بین غلظت نیکل در ریشه و شوری در سطح ۵ درصد همبستگی مثبت وجود دارد (جدول ۱۰).

با توجه به نتایج ضریب همبستگی پیرسون (جدول ۹)، بین سرب و نیکل در اندام‌های ریشه و برگ و خاک به طور جداگانه، هیچ گونه همبستگی وجود ندارد. علاوه بر این همبستگی بین پارامترهای شیمیایی خاک و مقدار

جدول ۹. جدول همبستگی بین سرب و نیکل در ریشه و اندام هوایی و خاک منطقه مورد مطالعه

فلزات	Ni	Pb		
	۱	-۰/۱۳۴	ضریب همبستگی	
Ni		۰/۴۸۱	p	
	۳۰	۳۰	تعداد	ریشه
	-۰/۱۳۴	۱	ضریب همبستگی	
Pb	۰/۴۸۱		p	
	۳۰	۳۰	تعداد	
	۱	-۰/۳۴۸	ضریب همبستگی	
Ni		۰/۰۶۹	p	
	۳۰	۳۰	تعداد	اندام هوایی
	-۰/۳۴۸	۱	ضریب همبستگی	
Pb	۰/۰۶۹		p	
	۳۰	۳۰	تعداد	
	۱	۰/۰۹۴	ضریب همبستگی	
Ni		۰/۶۲۲	p	
	۳۰	۱	تعداد	خاک
	۰/۰۹۴	۱	ضریب همبستگی	
Pb	۰/۶۲۲		p	
	۱	۳۰	تعداد	

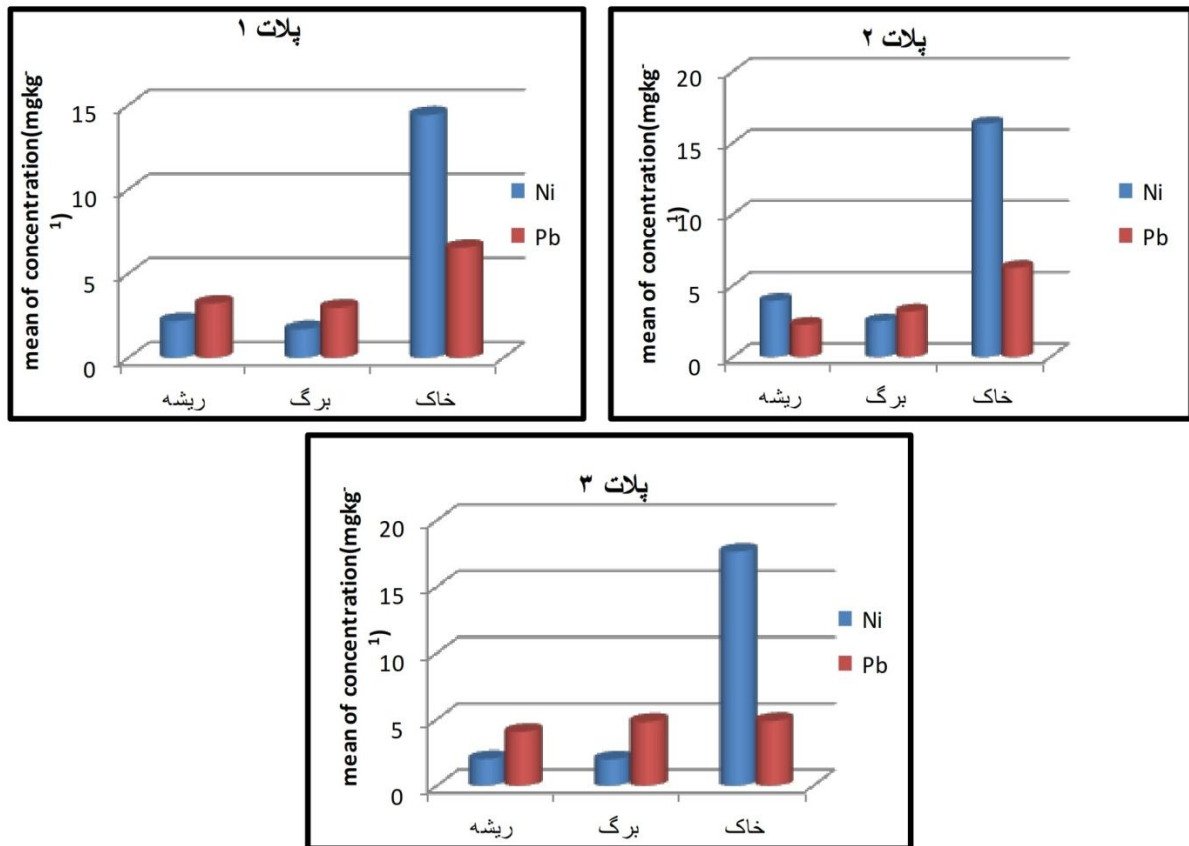
جدول ۱۰. جدول همبستگی بین سرب و نیکل در ریشه و اندام هوایی و خاک منطقه مورد مطالعه

فلزات	نیکل	شوری	
	۱	۰/۳۷۵*	ضریب همبستگی
نیکل		۰/۰۴۱	p
	۳۰	۳۰	تعداد
	۰/۳۷۵*	۱	ضریب همبستگی
شوری	۰/۰۴۱		p
	۳۰	۳۰	تعداد

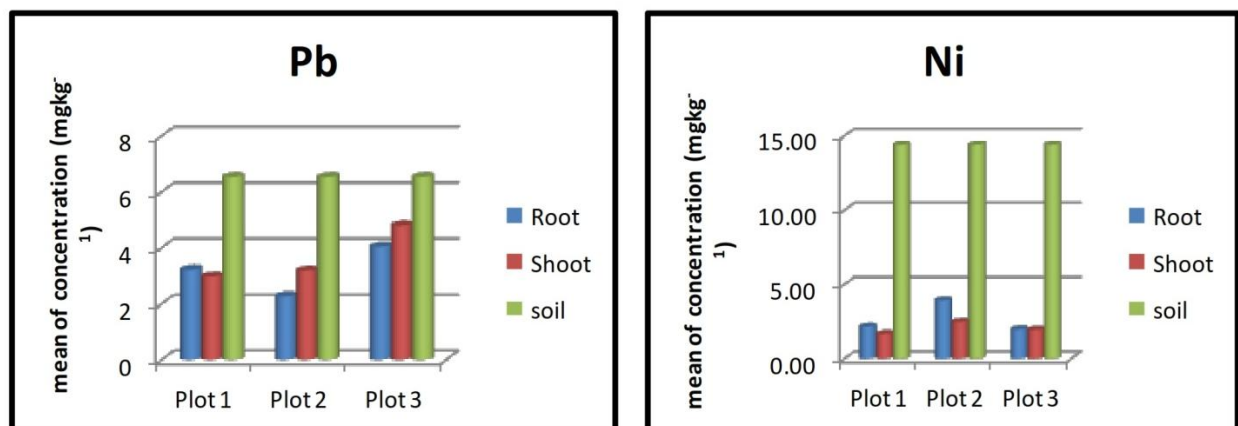
* همبستگی در سطح ۵ درصد معنی‌دار است.

غلظت سرب و نیکل در ریشه، اندام هوایی و خاک هر پلات به طور جداگانه مورد مقایسه قرار گرفته است.

میانگین غلظت فلزات سنگین سرب و نیکل در خاک، ریشه و برگ گیاه *H. pilifera* در پلات‌های مختلف در نمودار ۲ نشان داده شده است. در نمودار ۳ میانگین



نمودار ۲. میانگین غلظت فلز سرب و نیکل ریشه، برگ و خاک پلات‌های مختلف



نمودار ۳. میانگین غلظت فلزات سرب و نیکل در ریشه، اندام هوایی و خاک هر پلات به طور جداگانه

۴. بحث و نتیجه گیری

بر اساس اندازه‌گیری‌های صورت گرفته، غلظت فلزات سرب و نیکل در خاک منطقه مورد مطالعه کمتر از حد متوسط این فلزات در خاک است. دامنه نرمال غلظت سرب و نیکل در خاک‌ها به ترتیب ۱۹ و 50 mg kg^{-1} گزارش شده (۱۳)، در حالیکه میانگین غلظت سرب و نیکل موجود در خاک منطقه نمونه برداری شده به ترتیب $16/12$ و $5/88 \text{ mg kg}^{-1}$ است که از حد متوسط این فلزات در خاک‌ها کمتر می‌باشد و به این معنا است که خاک این مناطق از نظر این عناصر آلوده نیستند (نمودار ۱). به طور تقریبی میانگین غلظت نیکل در خاک منطقه تقریباً ۳ برابر غلظت سرب در آن است. این موضوع می‌تواند به دلیل جنس سنگ بستر خاک باشد، نیکل خاک به میزان بسیار زیادی به طبیعت مواد مادری بستگی دارد. برای مثال خاک‌های تشکیل یافته از مواد مادری سرپانتین می‌تواند حاوی ۱۰۰ تا ۷۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم نیکل باشد [۴]. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که خاک سه پلات از نظر آلودگی به فلزات سرب و نیکل با هم تفاوت معنی‌داری ندارند (جدول ۳). یکی از دلایل تأثیرگذار در این امر می‌تواند شیب منطقه مورد مطالعه باشد، به طوریکه جهت نمونه‌برداری مخالف شیب منطقه می‌باشد. بنابراین با توجه به اینکه خاک منطقه نیز ماسه‌ای سیلتی است، مقدار زیادی از این فلزات می‌تواند در جهت شیب از حوضچه‌های شیرابه خارج گردد. بنابراین نقش دوری و نزدیکی به حوضچه‌های شیرابه‌ای که در نزدیکی پلات اول واقع شده، به طور خیلی قوی در آلودگی خاک تأثیرگذار نمی‌باشد. از طرفی، اندازه‌گیری برخی خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک در پلات‌های مختلف نشان داد که برخی از این خصوصیات مانند pH و درصد آهک (که بر غلظت فلزات سنگین خاک تأثیرگذارند) در پلات‌های مختلف یکسان است. وجود یک منبع آلودگی دیگر (غیر از حوضچه‌های شیرابه) یعنی فرودگاه پیام می‌تواند دلیل دیگری بر عدم

اختلاف معنی‌دار غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک مربوط به پلات‌های مختلف باشد. به طوری که نزدیکی پلات سوم به فرودگاه می‌تواند اثر دوری از حوضچه‌های شیرابه را خنثی نماید؛ به عبارت دیگر دوری از یک منبع آلاینده با نزدیکی به یک منبع آلاینده دیگر همراه شده است. موضوع دیگری که باید در نظر داشت جهت باد غالب منطقه و انتقال آلاینده‌ها از طریق آن است که در بخش بعدی به طور مشروح می‌آید.

با توجه به نمودار ۲ میانگین غلظت سرب و نیکل در خاک بسیار بیشتر از ریشه و اندام هوایی است. به طور کلی در خاک‌های قلیایی میزان جذب و تجمع سرب در گیاهان مختلف محدود می‌باشد. مطالعات سایر محققین در دنیا نیز موید نتایج حاصله از این پژوهش بوده است [۱۵، ۱۶ و ۱۷] و در توضیح پدیده مزبور می‌توان گفت که در خاک‌های قلیایی فلز سرب و نیکل از قابلیت دسترسی و تحرک اندکی در خاک برخوردار بوده که بدین ترتیب قابل جذب و تجمع در اندام‌های زیرزمینی و هوایی گیاهان نخواهد بود. برعکس در خاک‌های اسیدی، قابلیت تحرک و دسترسی فلزات سنگین از جمله سرب نسبتاً افزایش یافته و بنابراین به آسانی فلز مزبور در اختیار و دسترس گیاه قرار گرفته و توسط ریشه جذب و سپس برحسب نوع گیاه و مکانیسم‌های مورد استفاده در زمینه نقل و انتقال مواد، به سمت سایر قسمت‌های گیاه از جمله به طرف اندام‌های هوایی (ساقه و برگ) منتقل می‌گردد. طبق نتایج بدست آمده از مطالعات سایر محققین در این زمینه بنظر می‌رسد که در خاک‌های اسیدی کنده شدن فلزات از ذرات خاک (واجب) در مکان‌های پیوند، در اثر رقابت و جایگزینی یون‌های H^+ با کاتیون‌های فلزی در خاک تقویت می‌گردد [۱۱ و ۱۸] و pH خاک نه تنها بر قابلیت انحلال و جذب فلزات در خاک اثر می‌گذارد، بلکه سبب تسهیل در فرآیند جذب فلز در گیاه خواهد شد. مقایسه توزیع و تجمع عناصر مورد بررسی در اندام هوایی و ریشه گونه گیاهی مورد مطالعه، نشان داد که بین ریشه و اندام هوایی این گونه، از

بیشتر از اندام هوایی است. بر طبق گزارشات Someya در سال ۲۰۰۷، در بیشتر گیاهان تجمع نیکل در ریشه بیشتر می‌باشد [۲۱].

طبق تعریف Khan [۲۲] گونه‌های بیش اندوز دارای یکی از این دو مشخصه هستند: (۱) غلظت فلز در بافت‌های این گیاهان بیشتر از ۰/۵ درصد کل وزن خشک گیاه است. (۲) فاکتور تجمع در این گیاهان بالاتر از یک است. در این تحقیق، گونه گیاهی مورد مطالعه، غلظت بیشتر از 1000 mgkg^{-1} را در اندام هوایی خود نشان ندادند، بنابراین بیش اندوز نمی‌باشد [۹]. با این وجود ممکن است که توانایی این گیاه در تحمل و تجمع فلزات سنگین، به منظور گیاه‌جذبی و یا گیاه‌تثبیتی مفید باشد. هر دو فاکتور BCF و TF می‌تواند برای ارزیابی توان گیاه برای هدف گیاه‌پالایی استفاده شود. می‌توانیم از طریق مقایسه BCF و TF توانایی گیاهان مختلف را در جذب فلزات از خاک و انتقال آنها به اندام هوایی را مقایسه کنیم. تنها گیاهانی با BCF و TF بزرگتر از یک برای گیاه‌جذبی و BCF بزرگ‌تر از یک و TF کمتر از یک برای گیاه‌تثبیتی قابل استفاده می‌باشند [۲۳].

نتایج بدست آمده در مورد اندازه‌گیری فاکتور تجمع و انتقال فلزات (جدول ۵)، نشان داد که مقدار BCF فلز سرب در گونه *H. pilifera* بیشتر از یک می‌باشد و به این معنی است که غلظت این فلز در بافت‌های زیرزمینی بیشتر از خاک است. برای فلز نیکل، این فاکتور در این گونه کمتر از یک است. در مورد فلز سرب، فاکتور انتقال برای گونه *H. pilifera* بیشتر از یک می‌باشد، که نشان‌دهنده انتقال این فلز از ریشه به اندام‌های هوایی است. در مورد فلز نیکل برای گونه گیاهی مورد مطالعه کمتر از یک می‌باشد و این گیاهان نتوانستند این فلز را به مقدار زیاد به اندام‌های هوایی انتقال بدهند. فاکتور انتقال پایین نیکل از ریشه به اندام هوایی ممکن است به دلیل سمیت این فلز باشد [۲۰]. باید به این نکته توجه داشت که جذب و انتقال فلزات و توزیع آنها در اندام‌های گیاهی متفاوت است که ممکن است به دلیل شرایط رشد

نظر غلظت سرب هیچ گونه اختلاف معنی‌داری وجود ندارد [۱۷] (جدول ۴). اما با مقایسه میانگین غلظت سرب در ریشه و اندام هوایی متوجه می‌شویم که در گونه *H. pilifera* مقدار این فلز در اندام هوایی بیشتر از ریشه است. در بین گونه‌های گیاهی در یک منطقه بیابانی و یا نیمه‌بیابانی با اختلاف در شکل زیستی و فیزیولوژی، نحوه جذب عناصر غذایی و تجمع عناصر سنگین در اندام‌های گیاهی می‌تواند متفاوت باشد. از جنبه شکل زیستی بر اساس طبقه‌بندی رانکایر گونه *H. pilifera* یک تروفیت است. بنابراین شکل زیستی این گونه، می‌تواند دلیلی برای بیشتر بودن این فلز در اندام هوایی نسبت به ریشه باشد.

تجمع سرب در ریشه‌ها معمولاً ۱۰ برابر تجمع سرب در اندام‌های هوایی می‌باشد. به نظر می‌رسد با افزایش غلظت سرب در ریشه، از تحرک آن در گیاه کاسته شده و به میزان بیشتری در سلول‌های ریشه و فضاهای بینابینی ترسیب می‌یابد که علت این امر ناشی از تغییر سیستم آوندی ریشه به ساقه در محل یقه گیاه است که به صورت یک فیلتر عمل می‌نماید و موجب تجمع سرب و کند شدن فرآیند انتقال به ساقه می‌شود [۱۹]. اختلاف غلظت سرب در ریشه و اندام هوایی گونه مورد مطالعه، معنی‌دار نشده است که باید به دنبال دلیل دیگری بود. سرب هوابرد، یک منبع اصلی آلودگی هوا است که به وسیله گیاهان به آسانی جذب می‌شود. تعدادی از مطالعات نشان دادند که سرب تجمع یافته در سطح برگ به وسیله این سلول‌ها جذب می‌شود. بیشتر آلودگی سربی، بوسیله شستن با پاک‌کننده‌ها برطرف می‌شود، اما این احتمال وجود دارد که یک مقدار قابل ملاحظه‌ای از سرب به داخل بافت گیاه انتقال یابد. اندازه‌گیری این مقدار نشان داد که تا ۹۵٪ کل محتوای سرب در گیاه ممکن است از تجمع هوایی در برگ‌های گیاه باشد [۲۰].

اختلاف غلظت نیکل در ریشه و اندام هوایی گونه *H. pilifera*، در سطح ۵ درصد معنی‌دار شد (جدول ۴). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که غلظت این فلز در ریشه

نیکل در پلات دوم، علاوه بر دلایل بالا می‌توان به همبستگی مثبت جذب نیکل در ریشه گونه *H. pilifera* و میزان شوری [۴] در پلات دوم اشاره کرد ($r=0/375$) (جدول ۱۰). با توجه به داده‌های آنالیز خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، بیشترین مقدار شوری مربوط به پلات دوم است که باعث شده است که ریشه و اندام هوایی گیاه مذکور در پلات دوم بیشترین غلظت نیکل را جذب کند.

با توجه به بررسی‌های انجام شده، خاک و گیاه منطقه مورد مطالعه از نظر فلزات سرب و نیکل در محدوده طبیعی قرار گرفته و آلوده نمی‌باشند، اما با توجه به رشد روزافزون جمعیت و تولید حجم بالایی از زباله‌ها، همچنین وجود میزان بسیار بالای عناصر سمی و خطرناک موجود در پساب و شیراب‌های تولیدی در مرکز دفن حلقه دره، برای کنترل آلودگی و جلوگیری از گسترش آن پیشنهاد می‌شود بررسی‌های زیست محیطی در خاک و گیاهان منطقه به طور مستمر انجام گرفته و غلظت آلاینده‌های فلزی در خاک و گیاهان منطقه به طور سالیانه تعیین گردد. همچنین ضرورت دارد که روش‌های دفع زباله‌ها بر اساس اصول علمی و تکنولوژی روز انجام گیرد تا از گسترش آلودگی در منطقه جلوگیری به عمل آید.

متفاوت گیاهان نیز باشد که تحت تاثیر واکنش متقابل بین ریشه-خاک، ریشه-باکتری‌ها، ریشه-میکروارگانیسم‌ها بوده که جذب و انتقال فلزات را تحت تاثیر قرار می‌دهند [۱۰ و ۲۲].

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که گونه *H. pilifera* با $BCF=1/11$ و $TF=1/21$ می‌تواند به منظور گیاه جذبی فلز سرب مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج بررسی اثر پلات‌ها بر روی غلظت فلزات سرب و نیکل در ریشه و اندام‌های گونه مورد مطالعه (جدول ۶ و ۷) نشان داد که بیشترین غلظت فلز سرب و نیکل در گونه *H. pilifera* به ترتیب مربوط به پلات سوم و دوم می‌باشند. بنابراین با وجود اینکه پلات اول در کنار حوضچه‌های شیرابه قرار دارد اما غلظت فلز سرب در اندام هوایی و ریشه گونه *H. pilifera* در پلات سوم و دوم بیشتر است. از جمله دلایل تاثیر گذار در این موضوع می‌توان به باد غالب منطقه و جذب اتمسفری اشاره کرد. در مطالعه‌ای که Haggar و Hibben در سال ۱۹۸۴ بر روی برخی از فلزات سنگین از جمله سرب کار کردند به این نتیجه رسیدند که جذب اتمسفری می‌تواند نقش تاثیرگذاری بر روی انتقال فلزات سنگین داشته باشد [۷]. همچنین قرار گرفتن فرودگاه پیام در نزدیکی پلات سوم، می‌تواند یکی از دیگر دلایل مهم و تأثیرگذار در آلودگی پلات دوم و سوم باشد. اما در مورد بیشتر بودن غلظت فلز

References

- [1] Amue. A., Mahvi. A and Nadafi. K. (2012). "Reviewing the optimum operational conditions in plant purifying of soils polluted with Pb and Cd by Iran native plants, *Scientific Journal of Kordestan Medicine University*. Seventieth period.
- [2] Abdoli, MA and Jalily, M. (2009). "Studying the effectiveness of compressed clay liners in omitting leachate pollutants of the urban waste disposal sites" *Science and Environmental Technology*. Eleventh period.
- [3] Panahi, N., Hamidian, A.H., Tavili, A., Sharifi, A. (2013)." A study on the heavy metals (Pb and Ni) pollution of soil at waste disposal sites Case study: Halghe Darre Waste Disposal Site in Karaj" *First Conference of Environment Biotechnology*. Environment University .Karaj. Iran.
- [4] Amini. F., Mirghafari. N and Malayeri. B. (2011)." Studying the concentration of Ni in soil and a number of other plant species around the Ahangaran Pb and Zn Mine in Hamedan Province, *Environmental Science and Technology*. Tirtith period
- [5] Salgoghi. N. (2005). Investigation of removal of landfill leachate by using sun energy in Karaj Landfill. Environmental University.
- [6] Migaszewski, Z. M. and Paslawski, P. (2009). Trace element and sulphur stable isotope ratios in soils and vegetation of the Holy Cross Mountains, *Geol. Quart.*, 40, 575.
- [7] Hibben, C.R and Hagar. S.S. (1984) "Comparison of cadmium and lead content of vegetable crops grown in urban and suburban gardens". *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical* .Volume 7, Issue 1, 71-80.
- [8] Hansel, C., Fendorf, S., Sutton, and Newville, M. (2001). Characterization of Fe plaque and associated metals on the roots of mine-waste impacted aquatic plants. *Environmental Science and Technology* 35, 3863-3868.
- [9] Baker AJM, Reeves RP and Hajar ASM. (1995). Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metalophyte *Thlaspi caerulescens*. *New Phytol*; 127: 61-68.
- [10] Burd, G.I., Dixon, D.G and Glick, B.R. 2000. Plant growth – promoting bacteria that decrease heavy metal toxicity in plants. *Can.J.Microbiol.* 46,237-245.
- [11] Baker, A.J.M and Walker, p.l. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. In: Shaw, A.J. (Ed), Heavy metal Tolerance in plants: Evolutionary Aspects. *CRC Press Boca Raton, FL*, pp. 155-157.
- [12] Brian k. Richards and Tammo s. (1998). "Metal mobility at an old, heavily loaded sludge application site" *Environmental pollution* 99.
- [13] Dalenberg, J. W. and van Driel, W. (1990). Contribution of atmospheric deposition to heavy metal concentration in field crops, *Netherlands J. Agric. Sci.*, 38, 367.
- [14] Lorestani, Bahare. (2010). Identification of metal concentrations in plants and soils of Hame Kasi mine and investigation of the relationship between plants and soil factors , national conference of Human, *Environment and Sustainable development*.
- [15] Conningham SD, Anderson TA and Schwab AP. (1997). Phytoremediation of soils contaminant with organic pollutants. *Advanced Agronomy*; 56: 55-64.
- [16] Ghyti. K., Kiyaye. MM., Rokni. N., Razavi Rohani and M., Motalebi.a. (2012)." Situation of national sea and livestock food pollution with heavy metals, *Journal of food science and industry*. Num 34. Ninth period.
- [17] Wuana RA, Okieimen FE and Imborvungu JA. (2010). Removal of heavy metals from a contaminated soil using organic chelating acids. *Int J Environ Sci Tech*; 7: 485- 496
- [18] Huang JW, Cunningham SD and Chen WR. (1997) Phytoremediation of lead contaminated soils. *E S T*; 31:800-805.
- [19] Alipour. N., Homae. M and Mazhari. M. (2013). Assessing phytoextraction of lead from contaminated soils using halophyte *Chenopodium Album L.* *1st International Confrence on Environmental crisis and its solutions*.
- [20] Kabata-Pendias, Alina. (2011). Trace Elements in Soils and Plants. Taylor & Francis Group.

- [21] Someya N., Sato Y., Yamaguchi I., et al. (2007). Alleviation of nickel toxicity in plants by a rhizobacterium strain is not dependent on its siderophore production. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 38:1155–1162.
- [22] Khan, A.G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C.S and Hayes, W.J. (2000). Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*. 41, 197-207.
- [23] Tyler, L.D., and McBride. M.B. (1982). Mobility and extractability of cadmium, copper, nickel, and zinc in organic mineral soil columns. *J. Soil Science*. 134(3), 198-205