

بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در خاک و اندام‌های مختلف گیاهان مرتعی

Cornulaca monacantha و *Alhagi camelorum*

(مطالعه موردی: چاه نفتی زوئیر، استان خوزستان)

- ❖ معصومه موقری رودپشتی*؛ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
- ❖ لیلا خلاصی اهوازی؛ دکتری مرتعداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
- ❖ امین ذرتی پور؛ استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.
- ❖ فرشته یزدان پناه؛ دانش‌آموخته کارشناسی، گروه مهندسی طبیعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، اهواز، ایران.

چکیده

این پژوهش در اطراف چاه نفتی زوئیر خوزستان با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب، مس، روی، کادمیوم) در خاک و دو گیاه *Cornulaca monacantha* و *Alhagi camelorum* و همچنین بررسی پتانسیل گیاه پالایی فلزات سنگین در دو گیاه مذکور صورت گرفت. بدین منظور سه پلات با ابعاد ۱۰ * ۱۰ متر در دو جهت باد غالب و خلاف جهت باد غالب منطقه در سه فاصله از چاه نفتی مستقر گردید. پلات اول در نزدیکی حوضچه مواد نفتی و پلات‌های دوم و سوم با فاصله ۵۰۰ متری از پلات قبلی مستقر شد. در هر پلات از گیاه مورد مطالعه با سه تکرار به تفکیک اندام هوایی و ریشه نمونه‌برداری انجام گردید. همچنین در پای هر گیاه دو نمونه خاک از عمق‌های ۰-۳۰ سانتی‌متر و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر و همچنین دو نمونه از دو عمق ذکر شده بین دو پایه گیاه برداشت گردید. برای تعیین پتانسیل گیاه‌پالایی گیاهان مذکور از شاخص‌های فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF) و ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC) استفاده گردید. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها آزمون‌های آماری T-test، آنالیز واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد. نتایج نشان داد که در مورد خاک میزان ترسیب فلزات سرب، مس و روی در جهت باد نسبت به خلاف جهت باد با اختلاف معنی‌داری بیشتر است، در حالی که در مورد غلظت این عناصر در گیاه، اختلاف معنی‌داری در جهت باد و خلاف جهت باد وجود نداشت. این در حالی است که در مورد فلز کادمیوم دقیقاً عکس این حالت مصداق داشت. غلظت فلزات مورد مطالعه هم در خاک و هم در گیاهانی که از فواصل مختلف برداشت شده بودند دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد بودند. دو فلز سرب و روی دارای اختلاف معنی‌دار از نظر میزان حضور در خاک سطحی و عمقی بودند در حالی که این معنی‌داری در مورد فلزات کادمیوم و مس و همچنین در خاک پای بوته‌ها و بین بوته‌ها وجود نداشت. میزان جذب فلزات سنگین در دو گونه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد در حالی که این اختلاف در بین اندام‌های هوایی و زیرزمینی معنی‌دار بود. کادمیوم و مس در اندام زیرزمینی و سرب و روی در اندام هوایی دارای بیشترین غلظت جذب بودند. بررسی فاکتورهای تجمع و انتقال نشان داد که گیاه *Cornulaca monacantha* برای عناصر سرب، روی و کادمیوم و گیاه *Alhagi camelorum* برای دو عنصر سرب و روی دارای ضریب $(TF < 1)$ بوده، بنابراین می‌توان از آن‌ها برای پالایش خاک‌های آلوده به این عناصر استفاده کرد. مقادیر BAC و BCF برای هر دو گونه مورد مطالعه کمتر از یک بود.

کلید واژگان: گیاه پالایی، فاکتور انتقال (TF)، فاکتور تجمع بیولوژیکی (BCF)، ضریب تجمع بیولوژیکی (BAC)، خوزستان

۱. مقدمه

فلزات سنگین فلزاتی با چگالی بالاتر از ۵ g/cm^۳ تعریف می‌شوند که منبع عمده آن‌ها فعالیت‌های صنعتی و معدن کاری، احتراق سوخت، حمل و نقل اتومبیل‌ها، استفاده از آفت‌کش‌ها و کودها در کشاورزی است [۱]. روش‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی برای حذف فلزات سنگین از محیط تو سعه یافته‌اند که استفاده از برخی از آن‌ها به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نیست و از طرف دیگر به لحاظ بوم‌شناختی آثار منفی بر ویژگی‌های شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک خاک دارد [۵]. استفاده از موجودات زنده نظیر میکروارگانیسم‌ها و گیاهان به عنوان راهکارهای زیستی مؤثر در حذف فلزات سنگین از محیط از آن جهت که دوسـتدار محیط‌زیست بوده، کمترین هزینه را به لحاظ اقتصادی دارد، در سال‌های اخیر بسیار به آن توجه شده است که به این روش‌ها زیست‌پالایی^۱ گفته می‌شود. چنانچه از گیاهان برای پاکسازی محیط استفاده شود، به آن گیاه پالایی^۲ می‌گویند [۶]. گیاهان برای رشد در خاک‌های آلوده به فلز سنگین از سه راهکار استفاده می‌کنند: گونه‌های اجتناب‌کننده^۳ که غلظت عنصر در بخش هوایی، حتی در غلظت‌های بالای آن در خاک، در مقادیر پایینی نگه داشته می‌شود [۷]. گونه‌های شاخص یا متحمل^۴ که میزان فلزات سنگین در گیاه با غلظت عناصر یاد شده در خاک یکسان است و گونه‌های تجمع‌دهنده^۵ که قادر به تغلیظ فلز در بخش هوایی خود، بیش از غلظت عنصر در خاک هستند [۲۷]. گیاهان بیش‌تجمع‌دهنده زیرگروهی از گیاهان تجمع‌دهنده هستند که می‌توانند در خاک‌های آلوده به فلزات، بدون بروز علائم سمیت، چرخه زندگی خود را تکمیل نمایند [۴]. برخی محققین عنوان کردند که یک گیاه بیش

تجمع‌دهنده فلز سنگین با چهار شاخص مشخص می‌شود: الف) توانایی تجمع فلز در بخش هوایی، یعنی حد آستانه میزان فلز در بخش هوایی باید بالاتر از گیاهان معمولی باشد ب) داشتن شاخص تغلیظ زیستی (BF) بزرگتر از یک ج) داشتن عامل انتقال (TF) بزرگتر از یک و د) توانایی تحمل در برابر غلظت‌های بالای فلز (۱۵). بنابراین مطالعات زیادی از این شاخص‌ها جهت تعیین پتانسیل گیاهان در گیاه پالایی خاک‌های آلوده استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد.

در تحقیقی میزان غلظت فلزات سنگین سرب، نیکل، کروم و کادمیوم را در برگ گونه‌های درختی برهان و اکالیپتوس در محدوده شرکت گروه ملی صنعتی فولاد ایران مورد بررسی قرار دادند. مقایسه میزان غلظت عناصر در بین دو گونه نشان داد که گونه اکالیپتوس بهتر از گونه برهان قادر به جذب عناصر بوده است [۲۸].

میزان تجمع فلزات سنگین در دو گیاه بومی *Eucalyptus camaldulensis* و *Acacia pycnantha* در مطالعه‌ای در اطراف معدن مس کاپوندا در جنوب استرالیا مورد ارزیابی قرار گرفته‌شده و نشان داده شد که میانگین فاکتور تجمع بیولوژیکی فلزات مس، روی، کادمیوم و سرب در گونه *Eucalyptus camaldulensis* بیشتر از *Acacia pycnantha* بوده در حالی که فاکتور انتقال برای دو فلز روی و کادمیوم در *Acacia pycnantha* بیشتر است [۲۰].

در مطالعه‌ای، شاخص‌های TF، BCF و BAC جهت ارزیابی و شناسایی گونه‌های گیاهی مقاوم به فلزات سنگین در منطقه نفت‌خیز پازنان گچساران استفاده شد و نتیجه این مطالعه نشان داد گونه‌هایی مانند *Calotropis procera L.*، *Sinapis arvensis L.*

^۱Bioremediation^۲Phytoremediation^۳Excluder^۴Indicator^۵Accumulator^۶Hyperaccumulator

(BCF) و توانایی گیاه در جابجا کردن فلزات به اندام هوایی (TF) بررسی شد. نتیجه این پژوهش نشان داد که گیاه مذکور توانایی انتقال عناصر به اندام هوایی را نداشته است (در حالی که تجمع در ریشه اتفاق افتاده است) [۱۸].

مطالعه حاضر نیز با هدف مقایسه میزان فلزات سنگین در خاک حاشیه چاه نفتی و دو گونه مرتعی *Alhagicamelorum* و *Cornulaca monacantha* که از گونه‌های غالب منطقه می‌باشد و همچنین مقایسه شاخص تجمع بیولوژیکی (BCF) و شاخص انتقال جهت (TF) ارزیابی پتانسیل این گیاهان در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین برنامه‌ریزی گردید.

۲. روش روشناسی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضچه پسماند مواد نفتی در روستای زوئیرچری در شرق شهرستان باوی و در فاصله ۵ کیلومتری شهر ملاثانی و ۴۱/۸ کیلومتری اهواز در استان خوزستان واقع شده است. محدوده جغرافیایی حوزه مورد مطالعه بین ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه و ۱۲ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۵۷ دقیقه و ۳۹ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه و ۵۶ ثانیه تا ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و ۹ ثانیه عرض شمالی می‌باشد. این منطقه غالباً به صورت تپه‌های شنی بوده که به منظور تثبیت آن‌ها در گذشته با گونه‌های درختی گز (*Tamarix aphylla*) و کهور (*Prosopis juliflora*) درختکاری شده است و زیر اشکوب غالب آن گونه‌های چپ‌چاپ (*Cornulaca monacantha*)، خارشتر (*Alhagi camelorum*)، هندوانه ابوجهل (*Citrullus colocynthis*)، پنیرک گل‌ریز (*Malva parviflora*) و اسفرزه (*Plantago ovata*) می‌باشد. موقعیت چاه نفتی مورد مطالعه در روستای زوئیرچری شهر ملاثانی و استان خوزستان در شکل (۱) نشان داده شده است.

Stipagrostis plomusa دارای خاصیت انباشتگری برای فلزات سرب و نیکل بودند [۱۴].

در پژوهشی در اطراف مرکز دفن زباله حلقه دره کرج غلظت سرب و نیکل و فاکتورهای تجمع (BCF) و انتقال (TF) در خاک و گیاه *Halimocnemis pilifera* تعیین شد. نتایج این پژوهش نشان داد که گیاه *Halimocnemis pilifera* با $1/21$ و $TF=0/75$ و $0/29$ و $BCF=1/11$ به ترتیب برای فلزات سرب و نیکل برای پالایش فلز سرب از خاک‌های آلوده مناسب است [۲۲].

به منظور ارزیابی پتانسیل گیاهان مرتعی برای گیاه پالایی خاک‌های آلوده به سرب و روی در اطراف شرکت سرب و روی زنگان از شاخص‌های TF ، BCF و BAC در پژوهشی استفاده شد. نتیجه مطالعه نشان داد که گیاهان *Stachys lavandulifolia*، *Echium amoenum*، *Scariola orientalis*، *Descurainia sophia*، *Stipa hohenackeriana* دارای خاصیت بیش‌اندوزگر برای سرب و روی از طریق فرآیند گیاه استخراجی بودند [۱۹]. در پژوهشی به بررسی گیاهان بومی بادام کوهی، پسته کوهی، باردلنگ، گون کوهی و ریواس در محدوده معادن خواجه جمالی نیریز، برای سنجش غلظت عناصر آهن، مس، سرب و نیکل توسط ضریب جذب زیست‌شناختی BAC^1 پرداخته شد. ضریب BAC در همه گونه‌های گیاهی مورد مطالعه برای هر پنج عنصر یاد شده ضعیف یا بسیار ضعیف محاسبه شد [۱۱].

پتانسیل گیاه پالایی علف‌های هرز در منطقه‌ای صنعتی در کامرون بررسی شد. نتیجه پژوهش نشان داد که دو گیاه *Kyllinga erecta* و *Dissotis rotundifolia* دارای خاصیت گیاه استخراجی برای عنصر سرب و *Paspalum orbiculare* برای آهن می‌باشند [۹].

پتانسیل گونه *Amaranthus dubius* جهت گیاه پالایی کروم، جیوه، آرسنیک، سرب، مس و نیکل مورد ارزیابی قرار گرفت. همچنین توانایی گیاه در استخراج از خاک

¹Biological Absorption Coefficient



شکل ۱. موقعیت حوضچه نسبت به شهر ملاتانی و استان خوزستان

۲.۲. روش تحقیق

در این پژوهش به منظور بررسی و ارزیابی غلظت فلزات سنگین (کادمیوم، کبالت، سرب و روی) در خاک و گیاه، نمونه برداری درون پلات‌هایی با ابعاد ۱۰ * ۱۰ (با استفاده از فرمول تعیین ابعاد پلات $E=(RT)(RV)$ (۲۹)) در دو جهت و سه فاصله مختلف از حوضچه پسماند مواد نفتی انجام گرفت. تیمارهای مورد بررسی شامل دو جهت موافق باد غالب و مخالف باد غالب منطقه (از آنجایی که اثر باد در جابجایی فلزات سنگین در پژوهش‌هایی به اثبات رسیده است [۱۳، ۱۷] سه فاصله متفاوت از منبع آلودگی (با توجه به پراکنش آلودگی، نقاط نمونه برداری در اطراف منبع (۰)، حد متوسط که هنوز آثاری از آلودگی مشاهده می‌شد (۵۰۰ متر) و فاصله دورتر که هیچ‌گونه آلودگی با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نبود قرار داده شد)، دو گونه گیاهی متفاوت *Alhagi camelorum*

Cornulaca monacantha (دو گونه گیاهی غالب منطقه))، نوع اندام گیاهی (اندام هوایی، اندام زیرزمینی)، عمق خاک برداشت شده (خاک سطحی، خاک عمقی (براساس عمق ریشه‌دوانی و بافت خاک)) و محل برداشت خاک (خاک برداشت شده از پایه گیاه، خاک برداشت شده بین پایه‌های گیاه) می‌باشند. در هر پلات تعداد سه نمونه از دو گیاه مذکور و به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی به صورت تصادفی برداشت شدند. روش آماده‌سازی نمونه‌ها روش خاکستر خشک بود. در این روش ابتدا اندام هوایی و ریشه نمونه‌های گیاهی برداشت شده جدا شدند و سپس هر بخش به قطعات کوچک تقسیم شده و دو مرتبه با آب دیونیزه شسته شدند سپس نمونه‌ها در کاغذ آلومینیومی پیچیده شده و برای ثابت شدن وزن در آن در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند. نمونه‌ها سپس آسیاب شده و

خاک نیز قرائت گردید (۱۶).

۲.۳. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اندازه‌گیری فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه از نرم افزار SPSS نسخه ۱۶ و اکسل ۲۰۱۳ استفاده شد. توزیع نرمال فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه با توجه به نتایج حاصل از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov) و آزمون شایپرو-ویلیک (Shapiro-Wilk) تأیید شد. اختلاف غلظت فلزات سنگین در خاک و گیاه در هر یک از تیمارهای نوع گونه گیاهی، نوع اندام گیاه، عمق خاک برداشت شده، محل برداشت خاک و جهت نمونه‌برداری با استفاده از آزمون تی (T-test) بررسی شد. همچنین اختلاف غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و گیاه در سه فاصله متفاوت از محل آلودگی با استفاده از آنالیز واریانس و مقایسه میانگین‌ها (دانکن) بررسی شد.

۳. نتایج

میزان غلظت عناصر سرب، روی، کبالت و کادمیوم در خاک و گونه‌های مورد مطالعه به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی در جدول (۱) نشان داد که در مجموع میزان غلظت فلزات سنگین در خاک بیشتر از گونه‌های گیاهی است و همچنین مقادیر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه پالایی گونه‌های مورد مطالعه در جدول (۲) نشان داد که نسبت میزان غلظت کادمیوم، سرب و روی در اندام هوایی *C.monacantha* به ریشه آن بالاتر از ۱ بوده و نشان دهنده کارایی بیشتر این گونه در تجمع فلزات سنگین در اندام‌هوایی نسبت به گونه *A.camelorum* است. شاخص TF گیاه *A.camelorum* تنها در سرب و روی بالاتر از ۱ است.

مقدار ۲ گرم از نمونه‌ها در کوزه چینی و به مدت ۲ ساعت در کوره الکتریکی در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده و عمل خاکستری انجام شد. در مرحله بعدی از اسیدکلریدریک ۲ نرمال و حمام بن‌ماری جهت هضم اسیدی نمونه‌ها استفاده گردید و عصاره صاف شده نهایی را با اضافه کردن آب مقطر به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. سپس با دستگاه جذب اتمی غلظت نمونه‌ها قرائت شد.

از شاخص‌های فاکتور انتقال^۱ (نسبت غلظت فلز در اندام هوایی گیاه به غلظت فلز در ریشه)، فاکتور تجمع بیولوژیکی^۲ (نسبت غلظت فلز در ریشه گیاه به غلظت فلز در خاک) و ضریب تجمع بیولوژیکی^۳ (نسبت غلظت فلز در اندام هوایی گیاه به غلظت فلز در خاک) برای ارزیابی کارایی گیاهان جهت پالایش آلودگی استفاده شد.

همچنین نمونه‌های خاک در داخل هر پلات به تفکیک عمق خاک (۳۰-۶۰ سانتی‌متر و ۳۰-۶۰) براین اساس که ابتدا ۵ سانتی‌متر رویی خاک کنار زده شد و سپس با بیل، گودالی به عمق ۳۰ سانتی‌متر در خاک حفر کرده و سپس از کنار گودال از مقطع صفر تا ۳۰ سانتی‌متر یک نمونه خاک به وزن تقریبی ۱ کیلوگرم برداشت شد، سپس تا عمق ۶۰ سانتی‌متری را نیز حفر کرده و به همان شیوه نمونه خاک برداشت شد. همچنین خاک پای گیاه و بین دو پایه گیاه به صورت تصادفی برداشت گردید. نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه خشک و الک شدند. برای اندازه‌گیری میزان غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک، ۲۰ گرم از هر نمونه پس از الک شدن را در ارلن در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و ۴۰ میلی‌لیتر محلول دی اتیلن تری آمین پنتااستیک اسید (DTPA)^۴ را اضافه کرده و به مدت دو ساعت در شیکر گذاشته و بعد از عبور از صافی، محلول نهایی به دست آمد. سپس با دستگاه جذب اتمی غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های

^۱Translocation Factor

^۲Bio Concentration Factor

^۳Biological Accumulation Coefficient

^۴Diethylene Triamine Pentaacetic Acid

جدول ۱. میانگین غلظت عناصر در خاک و گونه‌های مورد مطالعه به تفکیک اندام هوایی و زیرزمینی

<i>Cornulaca monacantha</i>		<i>Alhagi camelorum</i>		میانگین غلظت کل فلز سنگین در خاک (ppm)	فلز سنگین
اندام زیرزمینی	اندام هوایی	اندام زیرزمینی	اندام هوایی		
۰/۲۵۶۳	۰/۲۶۲۶	۰/۳۸۷۱	۰/۲۴۸۴	۰/۴۵۸	کادمیوم
۰/۲۹۴۱	۰/۲۱۴	۰/۲۵۸۸	۰/۲۲۴۳	۰/۷۸۴۷	کبالت
۱/۱۰۴	۱/۱۳	۱/۰۹۶	۱/۱۱۹	۱/۹۷	سرب
۰/۲۴۰۶	۱/۲۴۱	۰/۴۷۳۸	۰/۹۷۲۹	۹/۷۲	روی

جدول ۲. مقادیر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه پالایی گونه‌های مورد مطالعه

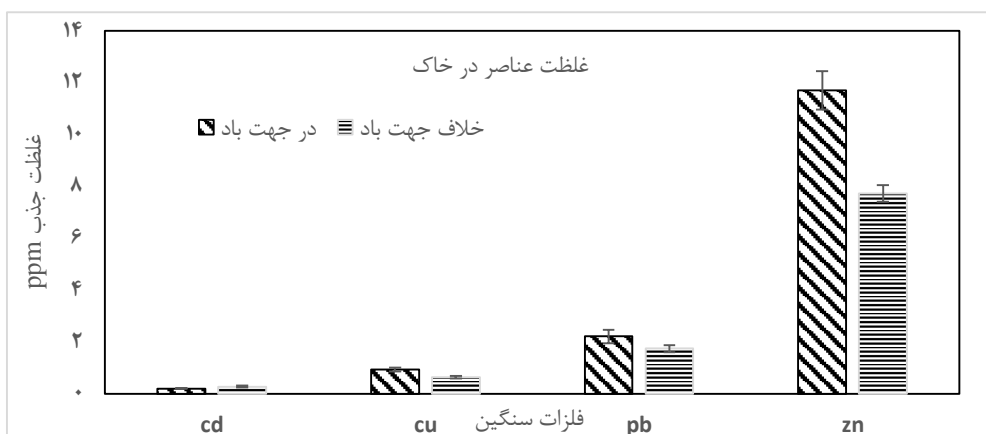
BAC		BCF		TF		فلز سنگین
<i>Cornulaca monacantha</i>	<i>Alhagi camelorum</i>	<i>Cornulaca monacantha</i>	<i>Alhagi camelorum</i>	<i>Cornulaca monacantha</i>	<i>Alhagi camelorum</i>	
۰/۵۷	۰/۵۴	۰/۵۶	۰/۸۴	۱/۰۲	۰/۶۴	کادمیوم
۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۷۲	۰/۸۶	کبالت
۰/۵۷	۰/۵۶	۰/۵۶	۰/۵۵	۱/۰۲	۱/۰۲	سرب
۰/۱۲	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۵/۱۵	۲/۰۵	روی

معنی‌داری نداشت. در مورد فلز کادمیوم میزان غلظت آن در خاک در خلاف جهت باد بیشتر است (شکل ۳). میزان جذب فلزات سنگین در اندام‌های رویشی و زیرزمینی با ۹۹ درصد اطمینان معنی‌دار است. کادمیوم و کبالت در اندام زیرزمینی و سرب و روی در اندام هوایی دارای بیشترین غلظت جذب بودند (شکل ۴). این در حالی است که میزان جذب فلزات سنگین در دو گونه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد (شکل ۵).

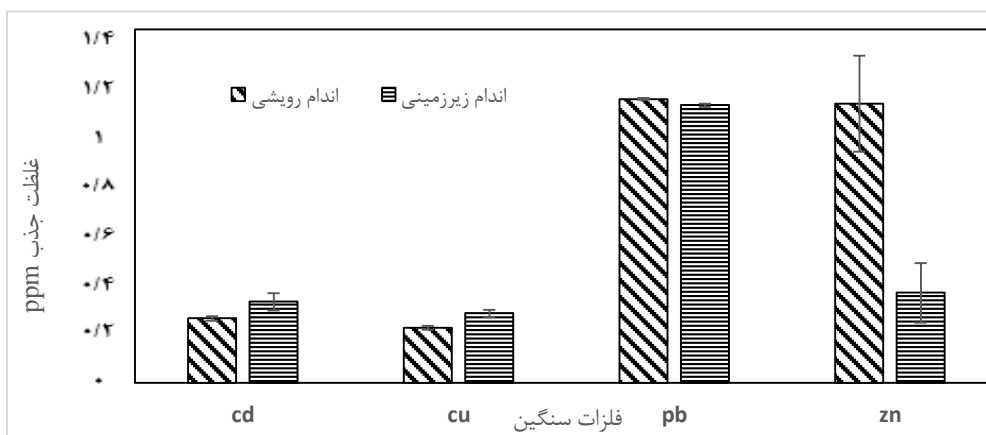
میزان ترسیب عنصر کادمیوم در گیاهان با ۹۵ درصد اطمینان در دو جهت نمونه‌برداری اختلاف معنی‌داری داشت در صورتی که بقیه عناصر مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌داری در جهت باد و خلاف جهت باد نیستند (شکل ۲) که نشان می‌دهد جذب فلز کادمیوم در گیاهان در جهت باد با توجه به نقش انتقالی آن، بیشتر است. در خاک، میزان ترسیب همه عناصر به جز عنصر کادمیوم در جهت باد نسبت به خلاف جهت باد با اختلاف معنی‌داری (سطح ۵ درصد) بیشتر است در صورتی که در گیاهان اختلاف



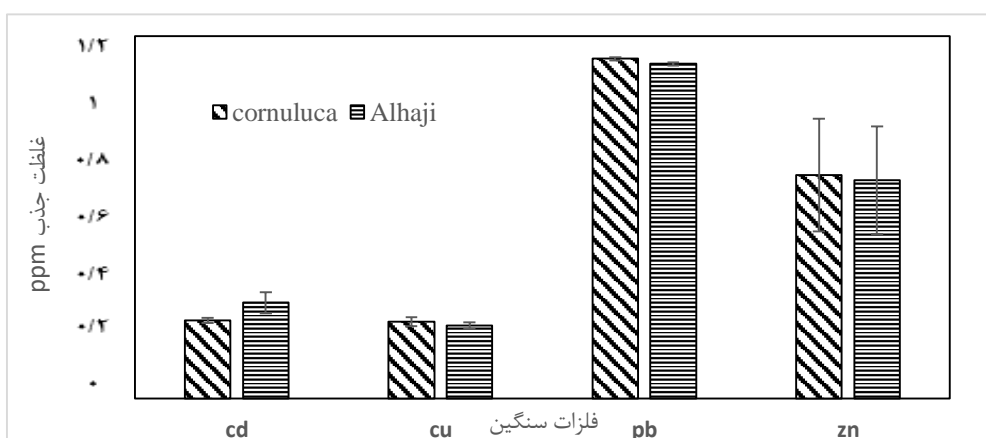
شکل ۲. مقایسه غلظت فلزات سنگین در گیاه در جهت و خلاف جهت باد



شکل ۳. مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک در جهت و خلاف جهت باد



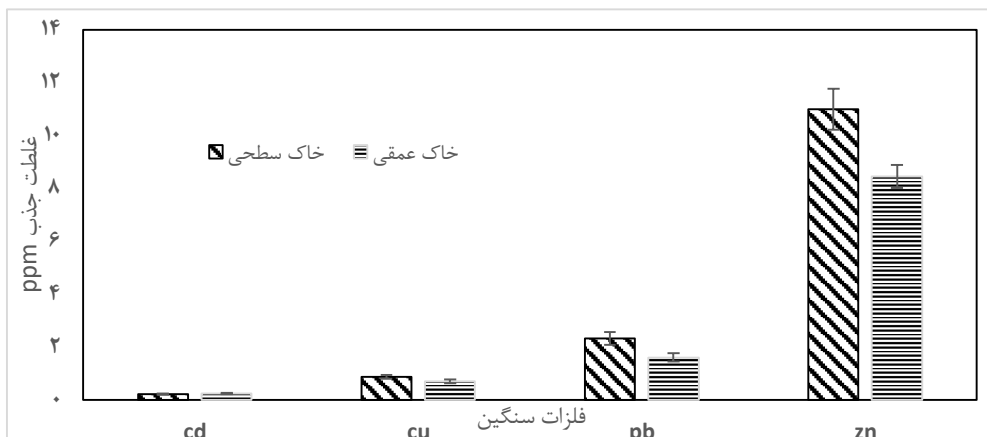
شکل ۴. مقایسه غلظت فلزات سنگین در اندام هوایی و ریشه



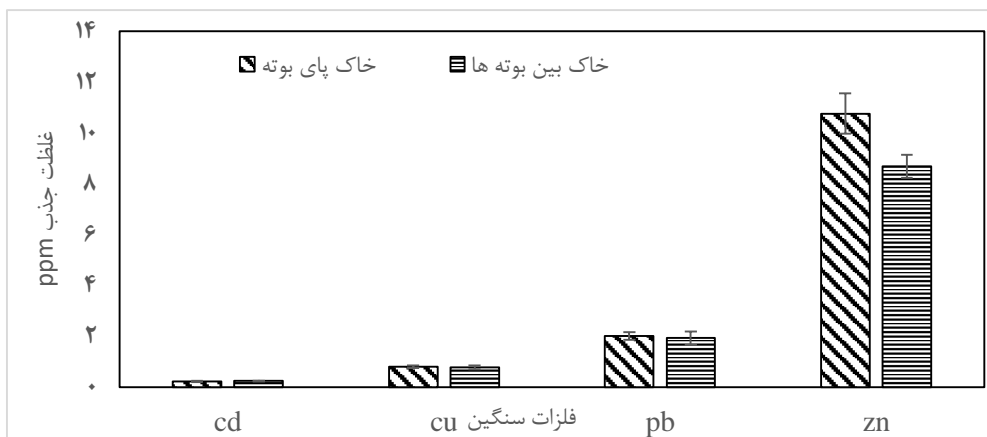
شکل ۵. مقایسه غلظت فلزات سنگین در دو گونه گیاهی

همچنین غلظت فلزات سنگین در خاک پای بوته‌ها و خاک بین بوته‌ها به جزء در مورد فلز روی، تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. میزان غلظت فلز روی در پای بوته‌ها بیشتر از خاک بین بوته‌ها نشان داده شد (در سطح ۱ درصد) (شکل ۷).

غلظت فلزات سرب و روی در خاک سطحی و عمقی دارای تفاوت معنی‌داری است به طوری که میزان این فلزات در خاک سطحی بیشتر از خاک عمقی است که با توجه به بافت خاک سبک منطقه، می‌توان نشان‌دهنده انتشار پیوسته این آلودگی باشد در حالی که در فلزات کادمیوم و کبالت این تفاوت معنی‌دار نبود (شکل ۶).



شکل ۶. مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی و عمقی



شکل ۷. مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک پای بوته و بین بوته

به طوری که میزان غلظت کبالت و روی در گیاهان و خاک در فاصله اول بیشتر و غلظت کادمیوم و سرب در فاصله دوم در گیاهان دارای بیشترین مقدار بوده است غلظت فلز سرب نیز در خاک در فاصله دوم بیشترین مقدار را دارا

نتایج آنالیز واریانس فلزات سنگین نشان داد که در سه فاصله مختلف از منبع آلودگی غلظت فلزات مورد مطالعه هم در خاک و هم در گیاهان اند دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک درصد هستند (جدول ۳)

بوده این در حالی است که بیشترین تجمع فلزات سنگین در گیاه مربوط به عنصر سرب می باشد (جدول ۴).

است در حالی که فلز کادمیوم در خاک در فاصله سوم دارای بیشترین مقدار است همچنین بیشترین تجمع فلزات سنگین در خاک مربوط به فلز روی و سپس سرب

جدول ۳. آنالیز واریانس ترسیب فلزات سنگین در گیاهان و خاک در سه فاصله مختلف از منبع آلودگی

سطح معنی داری	F	میانگین مربعات	عنصر	
۰/۰۰	۲۱۶۰۴۶۸	۰/۰۴۴	کادمیوم	گیاهان
۰/۰۰	۷۴۴۶/۱۶۸	۰/۰۲	کبالت	
۰/۰۰	۲۵۳۱۷/۷۶۱	۰/۰۰۲	سرب	
۰/۰۰	۳۰۰/۱۲۵	۱/۶۱۳	روی	
۰/۰۰	۴۰۰۷/۴۷	۰/۰۳۰	کادمیوم	خاک
۰/۰۰	۱۴۵/۵۹	۲/۰۲	کبالت	
۰/۰۰	۲۷/۱۱۹	۱۳/۵۵۸	سرب	
۰/۰۰	۷۱۱۵/۷۲	۱۰۹/۹۰۵	روی	

جدول ۴. مقایسه میانگین ترسیب فلزات سنگین گیاهان و خاک در سه فاصله از منبع آلودگی با استفاده از آزمون دانکن (۹۵ درصد اطمینان)

فاصله ۳	فاصله ۲	فاصله ۱	عنصر	
۰/۲۶۴۹ ^c	۰/۳۱۷۰ ^a	۰/۲۸۳۹ ^b	کادمیوم	گیاهان
۰/۲۳۰۳ ^c	۰/۲۳۳۲ ^b	۰/۲۷۹۸ ^a	کبالت	
۱/۱۱۲ ^b	۱/۱۱۴ ^a	۱/۱۱۱ ^c	سرب	
۰/۶۸۸۲ ^b	۰/۳۶۴۸ ^c	۱/۰۲۴۸ ^a	روی	
۰/۲۶۱۷ ^a	۰/۱۹۲۵ ^c	۰/۲۴۰۳ ^b	کادمیوم	خاک
۰/۵۰۷۸ ^c	۰/۷۵۹۶ ^b	۱/۰۸۶۷ ^a	کبالت	
۱/۳۹۴۶ ^b	۱/۶۹۶۵ ^a	۲/۸۲۰۹ ^b	سرب	
۷/۵۷۲۳ ^c	۹/۷۳۷۵ ^b	۱۱/۸۵۲۱ ^a	روی	

در خاک این منطقه کمتر از حد متوسط این فلزات در خاک است. دامنه نرمال غلظت کادمیوم، کبالت، سرب و روی در خاکها به ترتیب ۲-۴۰، ۰/۰۱-۴۰، ۱-۳۰۰ و ۲۰ ppm می باشد [۲۵]. این در حالی است که میانگین غلظت کادمیوم، کبالت، سرب و روی موجود در خاک منطقه نمونه برداری شده به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۷۸، ۱/۹۷ و ۹/۷۲ می باشد و به این معنا است که خاک این منطقه از نظر این عناصر آلوده نمی باشد. یکی از دلایل تأثیرگذار در

۴. بحث و نتیجه گیری

بررسی و ارزیابی دقیق خاک و پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به علت فعالیت های انسانی ممکن است دچار آلودگی باشند از اهمیت زیادی برخوردار است و می تواند به شناسایی گونه های گیاهی مناسب برای گیاه پالایی منجر شود.

نتایج این مطالعه نشان داد که غلظت فلزات سنگین

بقیه عناصر مورد مطالعه دارای اختلاف معنی‌داری در جهت باد و خلاف جهت باد نبودند. در حالی که در خاک، میزان ترسیب همه عناصر به جز عنصر کادمیوم در جهت باد نسبت به خلاف جهت باد با اختلاف معنی‌داری (سطح ۵ در صد) بیشتر بود. میزان غلظت فلز کادمیوم در خلاف جهت باد هم در خاک و در گیاه بیشتر بود. در پژوهشی بر روی برخی از فلزات سنگین از جمله سرب این نتیجه حاصل شد که جذب اتمسفری می‌تواند نقش تأثیرگذاری بر روی انتقال فلزات سنگین داشته باشد [۱۳]. اثر باد در جابجایی فلزات سنگین در مطالعاتی دیگر نیز به اثبات رسیده است [۱۷، ۲۲].

در بررسی مقایسه خاک پای بوته‌ها و خاک بین بوته‌ها ملاحظه می‌شود که با حفر پروفیل در مناطق شاهد می‌توان تأثیر حضور گونه‌های مورد مطالعه و وجود لاشبرگ آن‌ها در خاک را با احتمال بیشتری به خصوصیات خاک مرتبط دانست در این مطالعه، میزان غلظت فلز روی در پای بوته‌ها بیشتر از خاک بین بوته‌ها نشان داده شد و در سایر عناصر تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در مطالعاتی این نتیجه به دست آمد که کیفیت لاشبرگ در شرایط محیطی متفاوت عملکرد متفاوتی دارد [۲۳] نتایج این مطالعه نیز مؤید همین مطلب است.

در این مطالعه میزان جذب فلزات سنگین در دو گونه مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری را نشان نداد. در حالی که این میزان در اندام‌های رویشی و زیرزمینی با ۹۹ در صد اطمینان اختلاف معنی‌دار داشتند. کادمیوم و کبالت در اندام زیرزمینی و سرب و روی در اندام هوایی دارای بیشترین غلظت جذب بودند. در پژوهشی از نسبت غلظت فلز در بخش هوایی به غلظت آن در ریشه (TF) برای توصیف مقاومت و عکس‌العمل گیاه به حضور مقادیر بالای فلزات در خاک استفاده شد [۲] این نسبت در گیاهان انباشتگر بزرگتر از ۱ و در گیاهان دافع کمتر از ۱ است. با توجه به نسبت‌های به دست آمده در این تحقیق گیاه *Alhagi camelorum* دارای مقدار TF بالاتر از ۱ برای عناصر سرب ($TF=1/02$) و روی ($TF=2/05$) و گیاه

این امر می‌تواند بافت خاک سبک منطقه و از دسترس خارج شدن فلزات در اثر آبشویی باشد. که البته این امر می‌تواند سبب آلودگی بسیار زیاد آب‌های زیرزمینی شود. در مطالعه‌ای در اطراف مرکز دفن زباله حلقه دره کرج نتایج مشابهی یافت شد [۲۲]. در مورد تأثیر بافت خاک در میزان آلودگی خاک می‌توان به تحقیقی در زمینه بررسی اثر بافت و ساختمان خاک بر مقدار نیکل خاک اشاره کرد که به این نتیجه دست یافتند که غلظت نیکل در خاک لوم رسی بیشتر از خاک لوم شنی است و در خاک‌های دارای رس بالاتر، مقدار نیکل بیشتر بود [۳]. همچنین در پژوهشی دیگر تأثیر ماده آلی و بافت خاک بر تجزیه علف‌کش‌ها مورد بررسی قرار گرفت و نتیجه گرفتند در خاک‌های درشت بافت افزون بر سرعت تجزیه کمتر، احتمال آبشویی و حرکت به سوی آب‌های زیرزمینی بیشتر است [۱۰].

همچنین نتایج آنالیز واریانس فلزات سنگین در گیاهان و خاک در سه فاصله مختلف از منبع آلودگی نشان داد که غلظت فلزات مورد مطالعه هم در خاک و هم در گیاهانی که از فواصل مختلف برداشت شده بودند دارای تفاوت معنی‌داری در سطح یک در صد بودند. برخی محققان نیز در مطالعاتی مشابه به همین نتیجه دست یافتند [۱۲، ۱۴، ۱۹، ۲۶]. در مطالعه‌ای این نتیجه به دست آمد که با فاصله گرفتن از منبع آلودگی غلظت سرب و نیکل کاهش نشان داده و بر تعداد و ترکیب گونه‌های گیاهی افزوده شده است [۱۴]. این در حالی است که در مطالعه دیگری در بین نمونه‌های خاک برداشت شده در فواصل مختلف، از نظر غلظت فلزات، تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. البته در این مطالعه بین گیاهان برداشت شده از فواصل مختلف از منبع آلودگی از نظر غلظت فلزات سرب و نیکل اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد وجود داشته است [۲۲].

در مورد اثر باد، همان گونه که در بخش نتایج مشاهده گردید میزان ترسیب عنصر کادمیوم در گیاهان با ۹۵ درصد اطمینان در دو جهت نمونه‌برداری (جهت باد و خلاف جهت باد) اختلاف معنی‌داری داشت در صورتی که

جذب قوی (BAC: ۱-۱۰)؛ جذب متوسط (۱-۱۰)؛ جذب ضعیف (BAC: ۰/۰۱-۰/۱)؛ جذب خیلی ضعیف (BAC: ۰/۰۰۱-۰/۰۱). بر اساس این گروه‌بندی [۲۴] (از نظر ضریب BAC، دو گیاه *Alhagi camelorum* و *Cornulaca monacantha* با داشتن ضریب بین ۰/۱ - ۱ در دسته گیاهان با جذب متوسط قرار گرفته‌اند. بنابراین می‌توان از آن‌ها جهت اصلاح و پالایش اراضی آلوده به فلزات سنگین سرب و روی استفاده کرد.

پیشنهادات

این پژوهش بر روی گونه‌های غالب منطقه (*Alhagi camelorum* و *Cornulaca monacantha*) انجام گردید و همان‌طور که نتایج نشان داد از هر دو گونه می‌توان برای پالایش خاک‌های آلوده به عناصر سرب و روی و همچنین از گونه *Alhagi camelorum* علاوه بر آن در پالایش عنصر کادمیوم استفاده کرد. بنابراین می‌توان پیشنهاد داد که از گیاهان مذکور در پالایش خاک‌های آلوده به این فلزات استفاده گردد. ضمن آن که می‌توان پیشنهاد داد در پژوهشی مشابه اثر سایر گیاهان این منطقه نیز در پالایش خاک‌های آلوده مورد بررسی قرار گیرد.

Cornulaca monacantha دارای مقدار TF بالاتر از ۱ برای عناصر کادمیوم و سرب (TF=۱/۰۲) و روی (۵/۱۵) (TF=) می‌باشد. در حالی که در هر دوی این گیاهان دارای مقدار TF پایین‌تر از ۱ برای فلز کبالت بوده و بنابراین نسبت به این فلز دافع هستند. علاوه بر این مقدار انباشت فلز روی در اندام هوایی این گیاهان بیشتر از سرب و کادمیوم می‌باشد. برخی محققان نیز معتقدند گیاهانی که مقدار TF در آن‌ها بیشتر از یک است برای گیاه استخراجی مناسب هستند [۳۰] و در پژوهشی نشان داده شد که در انتخاب گیاهان به منظور گیاه پالایی گیاهی مناسب‌تر است که بتواند علاوه بر جذب زیاد عنصر نسبت انتقال آن از اندام زیرزمینی به ساقه بیشتر باشد [۸] بنابراین گیاهان ذکر شده در تحقیق حاضر می‌توانند به عنوان انباشتگر در مناطق آلوده به فلزات سرب و مخصوصاً روی استفاده گردند. در مطالعاتی دیگر گونه *Alhagi camelorum* را دارای خاصیت بیش‌اندوزی برای گیاه سرب [۱۴] و خارشتر ایرانی را فرا انباشته‌کننده فلزات سرب و روی (۲۱) معرفی کرده‌اند.

همچنین مقادیر BAC و BCF برای همه گونه‌های مورد مطالعه و عناصر مورد مطالعه در این تحقیق کمتر از یک بود. گیاهان بر پایه مقدار ضریب BAC به پنج گروه دسته‌بندی شدند [۲۴]. جذب شدید (۱۰-۱۰۰)؛

References

- [1] Adriano, D.C. (1986). Trace elements in the terrestrial environment. Berlin Heidelberg New York, Springer.
- [2] Alan, J. M., Baker, M. McGrath, S.P. Reeves, R.D. and Smith, J.A.C. (2000). "Metal Hyper accumulator Plants: a Review of the Metal-Polluted Soils, in Phytoremediation of Contaminated Soil and Water", Terry N. & Banuelos G. Ed., CRC Press LLC, 85-107.
- [3] Almasi, H.R., Safadoust, A. and Safari Sinangani, A.A. (2017). Effects of soil texture and structure and cultivation on Ni content in soil, effluent drainage and plant. Journal of Soil Management and Sustainable Production, Vol. 6(4), 71-86.
- [4] Baker, A.J.M., and Brooks, R.R. (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements and review of their distribution, Ecology and Phytochemistry. J. Geoderma. 1: 81-126.

- [5] Boularbah, A., Schwartz, Ch., Bitton, G. and Boularbah, J.L.M. (2005). Heavy metals contamination from mining sites in South Morocco: 1. Use of a biotest to assess metal toxicity of tailings and soils, *Chemosphere*, 63, pp. 802–810.
- [6] Chaney, R.L., Malik, M., Li, Y.M., Brown, S.L., Brewer, E.P., Scott Angle, J., and Baker, A.J.M. (1997). Phytoremediation of soil metals. *Curr Opin Biotechnol*.8 (3):279–284.
- [7] De Vos C. H. R., Schat H., De Waal M. A. D., Vooijs R., Ernst W. H. O. (1991). Increased resistance to copper-induced damage of root plasma membrane in copper tolerant *Cilene cucubalus*. *Physiol. Plant*, 82: 523-528.
- [8] Fatahi Kiasari, E & A, Fotovvat & A.R, Astarai & GH, Haghnia. (2010). Lead Phytoextraction from Soil by Corn, Sunflower, and Cotton Applying EDTA and Sulfuric Acid. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 51:57-68.
- [9] Fontem Lum, A., E.S.A. Ngwa, D. Chikoye & C.E. Suh, (2014). Phytoremediation Potential of Weeds in Heavy Metal Contaminated Soils of the Bassa Industrial Zone of Douala, Cameroon. *International Journal of Phytoremediation*, 16:302–319.
- [10] Forouzangohar, M., Haghnia, G.H., Koocheki, A. and Tabatabaie-Yazdi, A. (2005). Effect of Organic Amendments and Soil Texture on Degradation of Atrazine and Metamitron. *JCPP*. 9 (1):131-142.
- [11] Ghetmiri S.H. Aleyasin S.M.A, (2016). Investigation of flora types in Khajeh-jamali ophiolites area of Neyriz – Iran for exploration of chromite by biogeochemical method. *Journal of Geoscience*, 25(98): 19-28. (In Persian)
- [12] Golchin, A., and shafiee, S. (2006). Study the effect of zanzan lead-zinc factory on the soil pollution up to 10 km from the factory. *Soil, environment and sustainable development congress*, Karaj, Iran. Pp: 452-454. (In Persian)
- [13] 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.
- [14] Jahantab E, jafari M, Motasharezadeh B, Tavili A, Zargham N. (2017). Evaluating tolerance of plants species to heavy metals in oil polluted region (Case study: Pazanan Gachsaran). *Journal of Rangeland*. Volume 10 (4): pages 409-425.
- [15] Lin, W., Xiao, T., Wu, Y., Ao, Z. and Ning, Z. (2012). Hyperaccumulation of zinc by *Cordalis davidii* in Zn-polluted soils. *Chemosphere* 86: 837-842.
- [16] Lindsay, W. L. and Norvell, W. A (1978) Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal* 42: 421-428.
- [17] 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.
- [18] Mellem, J.J., Baijnath, H. and Odhav, B. (2009). Translocation and accumulation of Cr, Hg, As, Pb, Cu and Ni by *Amaranthus dubius* (Amaranthaceae) from contaminated sites. *Journal of Environmental Science and Health*, volume 44 (6): Pages 568-575.
- [19] Moameri M, Jafari M, Tavili A, Motasharezadeh B, Zarechahuoki M. (2015). Assessing rangeland plants potential for phytoremediation of contaminated soil with Lead and Zinc (Case study: Rangelands located around National Iranian Lead & Zinc Factory-Zanjan). *Journal of Rangeland*, Volume 9 (1): Pages 29-42.
- [20] Nirola, R., Megharaj, M., Palanisami, T., Aryal, R., Venkateswarlu, K. and Naidu, R. (2015). Evaluation of metal uptake factors of native trees colonizing an abandoned copper mine e a quest for phytostabilization. *Journal of Sustainable Mining*, Vol. 14 (3), 115–123.
- [21] Nouri, J. Hassani, A.H. Mehregan, I. Moattar, F. and Sadeghi Benis, M.R. (2013). Phytoremediation of Contaminated Soils that Have Taken up Heavy Metals from Eshtehard Industrial City Wastewater *ENVIRONMENTAL SCIENCES* Vol.10 (2): pages 131-142.
- [22] Panahi Ghare Sou, N. Hamidian, A.H. and Tavili. A. (2016). Heavy Metals (Pb and Ni) in Soil and Plant *Halimocnemis pilifera* in Halgheh Darreh Waste Disposal Site in Karaj. *Journal of Range and Watershed Management*, No. 6901, Page: 13-26.
- [23] Paustian K., Agren G.I. and Bosatta, E. (1997). Modeling litter quality effects on decomposition and soil organic matter dynamics. In: Cadish G. and Giller, K.E. (eds.) *Driven by Nature: Plant Litter Quality for Decomposition*. pp. 313-335.

- [24] Perel'man, A. I., 1966- Landscape Geochemistry (Translation No. 676, Geol. Surv. Of Canada, 1972) Vysshaya Shkola, Moscow, 388.
- [25] Plant, J. A. and Raiswell, R., (1983). Principles of environmental geochemistry. In: I. Thornton (Editor), *Applied Environmental Geochemistry*. Academic Press, London, pp. 1–39.
- [26] Saba, G., A.H. Parizanganeh, A. Zamani & J. Saba, (2015). Phytoremediation of Heavy Metals Contaminated Environments: Screening for Native Accumulator Plants in Zanzan-Iran. *International Journal of Environmental Researched*, 9(1):309-316.
- [27] Taylor, GJ, (1987). Exclusion of metals from the symplasm: a possible mechanism of metal tolerance in higher plants. *Journal of Plant Nutrition*, Vol. 10, pp. 1213-22.
- [28] Torkashvand, V., Mohammadi Rouzbahni, M. and Babaeinezhad, T. (2018). Survey of heavy metals (Pb,Ni,Cr,Cd) bio-accumulation in the leaves of (*Albizia lebbek* and *Eucalyotus camadulensis*) (case study: Iran National Steel Industrial Group). *Journal of Neyshabur University of Medical Science*, 6 (1):33-43.
- [29] Wiegert, R.G., (1962). The selection of an optimum quadrat size for sampling the standing crop of grasses and forbs. *Ecology* 43: 125D129.
- [30] Yoon, J., X. Cao, Q. Zhou and L.Q. Ma, (2006). Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. *Science of the Total Environment* 368: 456–464.

