

Introduction of Phytoremediator Native Rangeland Species in Cleaning the Environment from Heavy Metals Zinc, Arsenic and Nickel (Sangan Iron Mines, Khorasan Razavi Province)

Mahshid Souri*  | Mina Bayat | Saeedeh Nateghi 

Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
Email: souri@rifr-ac.ir

Article Info

Abstract

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 26 Dec. 2023

Revised: 06 May. 2024

Accepted: 17 May. 2024

Published online: 22 Oct. 2024

Keywords:

Salsola richteri,
Scariola orientalis,
Phytoremediation,
Mining.

The ever-increasing expansion of the mining industry and mining activities causes an increase in environmental pollution and has irreparable consequences for natural ecosystems. This research was conducted with the aim of investigating the phytoremediation potential of the rangeland species *Artemisia sieberi*, *Salsola richteri*, and *Scariola orientalis*, as well as examining the concentration of heavy metals in the soil of the Sangan iron mine in Razavi Khorasan province. First, the dominant plant types in the area were determined. Then, samples were taken from different parts of the dominant plant species and from the soil around their roots at various distances from the mine, in the direction of the prevailing wind in the region. The oxidation method and inductively coupled plasma device were used to measure the amount of metal pollution in the collected samples. To evaluate the ability of the selected plants to clean the environment of different metals, several bioindicators of plant remediation were investigated. The results showed that different vegetation covers have significant differences in terms of various indices of zinc, arsenic, and nickel elements. Additionally, soil pollution was assessed using the pollution factor (CF) and land accumulation index (Igeo). The results from the soil samples indicated that high concentrations of elements such as nickel (29 mg/kg) and arsenic (10 mg/kg) are significant compared to the global averages for nickel (18 mg/kg) and arsenic (4.7 mg/kg). Furthermore, zinc concentrations exceeded values set by Chinese and Canadian standards. The findings also revealed that contamination levels among rangeland plant species varied according to their distance from the mine, with the highest concentrations recorded at distances of 500 and 1000 meters from the mine. Based on bioconcentration indicators and considering the high abundance of the native species -*Salsola richteri*- compared to the other two investigated species, this species can be utilized for phytoremediation of heavy metals such as zinc, nickel, and arsenic in Sangan mines.

Cite this article: Souri, M., Bayat, M., Nateghi, S. (2024). Introduction of phytoremediator native rangeland species in cleaning the environment from heavy metals zinc, arsenic and nickel (Sangan iron mines, Khorasan Razavi province). *Journal of Range & Watershed Management*, 77 (3), 279-297. DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.369034.1736>



© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press

معرفی گونه‌های مرتعی بومی بیش‌اندوز در پاکسازی محیط از فلزات سنگین روی، آرسنیک و نیکل در محدوده معادن سنگ آهن استان خراسان رضوی

مهشید سوری* | مینا بیات | سعیده ناطقی 

بخش تحقیقات مرتع، موسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.
رایانامه: souri@riff-ac.ir

چکیده

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۸/۰۱

کلیدواژه‌ها:

Artemisia sieberi

Salsola richteri

Scariola orientalis

گیاه پالایی،

معادن کاوی.

گسترش روزافزون صنعت و فعالیت‌های معدن کاوی، باعث افزایش آلودگی‌های زیست محیطی شده و پیامدهای غیرقابل جبرانی بر اکوسیستم‌های طبیعی وارد می‌نمایند. این پژوهش با هدف بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی گونه‌های مرتعی *Artemisia sieberi* و *Salsola richteri* و همچنین بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک معدن آهن سنگان در استان خراسان رضوی انجام شد. ابتدا، تیپ‌های گیاهی غالب منطقه مشخص گردید. سپس، نمونه‌برداری از بخش‌های مختلف گیاه شامل: برگ، اندام هوایی و ریشه ی سه گونه گیاهی غالب منطقه خواف و خاک اطراف ریشه گونه‌ها، در امتداد ۳ ترانسکت صد متری در فواصل مختلف پانصد، هزار، سه هزار و ده هزار متری از معدن به مرکزیت از معدن و در جهت باد غالب منطقه که جهت آن عموماً از سمت شمال شرقی به جنوب غربی بوده، انجام شد. برای اندازه‌گیری میزان آلودگی به فلزات در نمونه‌های برداشت شده، از روش اکسیداسیون و دستگاه پلاسما جفت شده القایی استفاده شد. سپس، به منظور ارزیابی توانایی گیاهان انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات مختلف، چند فاکتور مختلف گیاه پالایی شامل: شاخص زمین انباشت، فاکتورهای تغلیظ زیستی و فاکتور آلودگی بررسی شدند. نتایج تحقیق نشان داد، تیپ‌های گیاهی مختلف از نظر فاکتورهای گیاه پالایی مختلف در مورد عنصر روی، آرسنیک و نیکل اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند. همچنین، ارزیابی آلودگی خاک با استفاده از فاکتور آلودگی (CF) و شاخص زمین انباشتگی (Igeo) انجام شد. نتایج بخش خاک نشان داد که غلظت زیاد عناصری مانند نیکل با میزان ۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آرسنیک با میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به میانگین جهانی نیکل ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آرسنیک ۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. همچنین نتایج نشان داد که غلظت عنصر روی بیشتر از مقادیر استانداردهای چین و کانادا می‌باشد. همچنین، نتایج تحقیق حاضر نشان داد که درجه آلودگی گونه‌های گیاهی مرتعی با توجه به فاصله‌شان از معدن با یکدیگر متفاوت است، به‌طوری‌که بیشترین میزان غلظت عناصر در فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری به معدن گزارش گردید. بر اساس نتایج شاخص‌های تغلیظ زیستی و با توجه به میزان بالای بیش‌اندوزی گونه بومی *Salsola richteri* نسبت به دو گونه مورد بررسی دیگر، می‌توان از این گونه در رفع آلودگی خاک محدوده معادن سنگان از فلزات سنگین روی، نیکل و آرسنیک استفاده کرد.

استناد: سوری، مهشید؛ بیات، مینا؛ ناطقی، سعیده (۱۴۰۳). معرفی گونه‌های مرتعی بومی بیش‌اندوز در پاکسازی محیط از فلزات سنگین روی، آرسنیک و نیکل در محدوده معادن سنگ آهن استان خراسان رضوی. نشریه مرتع و آبخیزداری، ۳(۷۷)، ۲۹۷-۲۷۹.

DOI: <http://doi.org/10.22059/jrwm.2024.369034.1736>



© نویسندگان.

ناشر: انتشارات دانشگاه تهران.

۱. مقدمه

با گسترش روزافزون صنعت و معدن، از جمله معدن کاوی، صنایع پتروشیمی، تولیدات نفتی و مواد وابسته به آن، آلودگی‌های زیست محیطی افزایش یافته و این آلودگی‌ها از طریق آب، هوا و همچنین از طریق ورود پساب و ضایعات به داخل خاک، اثرات و پیامدهای غیرقابل جبرانی بر محیط‌زیست وارد می‌نمایند. وجود این مواد در خاک، خطر انتقال به آبهای سطحی و زیرزمینی، مسمومیت و بیماری برای انسان و سایر موجودات زنده را به دنبال دارد.

اهمیت خاک برای بشر از آن روست که به‌طور مستقیم به عنوان منبع حفاظت و تولید غذا و به‌طور غیرمستقیم از طریق درهم‌کنش و ارتباط با اتمسفر، بیوسفر و هیدروسفر بر سلامت بشر اثرگذار است (Abrahams, 2002). خاک علاوه بر اینکه محیط رشد گیاه است بسیاری از آلاینده‌ها از جمله فلزات بالقوه سمی را به هواکره، زیست کره و منابع آبی منتقل می‌کند (Chen et al., 1997). فلزات با جایگزینی به جای املاح و مواد معدنی مورد نیاز بدن جانداران موجب به خطر افتادن سلامت آنان می‌شوند (Mohamadi et al., 2006). ذخایر طبیعی فلزی مهم‌ترین منبع آزادسازی این عناصر به محیط هستند (Aykol et al., 2003). آلودگی خاک با فلزات مختلف ناشی از معادن سبب کاهش کیفیت و سلامت خاک می‌شود که این امر برای سلامت گیاه و به دنبال آن انسان مضر است (Jarup, 2003). فلزات سنگین که سرب، جیوه، مس، کادمیوم، نیکل و آرسنیک را شامل می‌گردد ابتدا توسط فیتوپلانکتون‌ها، باکتری‌ها، قارچ‌ها و ارگانسیم‌های کوچک دیگر جذب شده و سپس به ترتیب توسط موجودات بزرگتر خورده و در نهایت به‌راحتی از طریق مصرف محصولات کشت شده در خاک‌های آلوده به زنجیره غذایی مصرف‌کنندگان وارد شده و سلامت انسان‌ها و حیوانات را به خطر می‌اندازد. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن دیگر از بدن دفع نشده و در بافت‌های بدن انباشته می‌گردند. همین امر موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. بسیاری از کشورهای جهان با مشکلات مرتبط با آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی مواجه هستند که سبب بروز انواع مختلفی از بیماری‌ها و مشکلات زیست محیطی می‌گردد (McMichael, 2000; Gurjar et al., 2010; Manisalidis et al., 2020).

شفیعی و همکاران (۲۰۱۳) غنی‌شدگی آرسنیک و سلینیوم را در خاک‌های پیرامون معدن مس سرچشمه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که غلظت این عناصر در نزدیکی معدن بیشتر است و با فاصله گرفتن از معدن، غلظت آنها کاهش می‌یابد، همچنین عنصر سلینیوم در محدوده غیر آلوده و عنصر آرسنیک در محدوده کمی آلوده تا شدیداً آلوده قرار می‌گیرد. خسروی و همکاران (۲۰۱۸) توزیع مکانی و محتوای شش فلز سنگین، کبالت، نیکل، مس، روی، کادمیم و سرب را در خاک‌های پیرامون شرکت ملی سرب و روی ایران در شهرک صنعتی بناب (زنجان - ایران) بررسی کردند. گزارش آنها بیان‌کننده تأثیر زیاد فعالیت‌های این شرکت بر توزیع فلزات سنگین در منطقه مدنظر بود. سیستانی و همکاران (۲۰۱۷) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان و غنای فلزی و درجه آلودگی خاک را بررسی کردند. آنها از شاخص منشایابی و تعیین درجه آلودگی از جمله عامل غنی‌شدگی (EF) و درصد آن، زمین‌انباشت (Igeo) و عامل آلودگی (CF) استفاده کردند. نتایج نشان داد غلظت سرب و کادمیم بیشتر متاثر از مجتمع‌های فولاد و غلظت سایر عناصر متاثر از منابع طبیعی و انسانی است.

کشاورزی و کومار^۱ (۲۰۱۹) در پژوهش خود توزیع مکانی و ریسک اکولوژیکی بالقوه فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی شمال شرقی ایران بررسی و ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که هر دو فعالیت‌های انسانی و عوامل طبیعی، مسئول محتوای فلزات سنگین بودند. همچنین (کومار و همکاران، ۲۰۱۹) آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های هند و ریسک زیست محیطی آن را بررسی کردند. ضریب آلودگی (CF)، عامل غنی‌شدگی (EF) و شاخص آلودگی بالقوه (Cp) نشان‌دهنده کادمیم و آرسنیک، آلاینده‌های اصلی هستند و شاخص ریسک زیست محیطی نشان‌دهنده کادمیم آلاینده اصلی خاک‌های مختلف هند است.

در حال حاضر بررسی‌های متعددی در ایران و کشورهای دیگر درباره میزان تاثیر فلزات سنگین بر گیاهان و همچنین مشخص کردن

¹ Kumar

مناطق آلوده در اطراف کارخانجات، صورت گرفته است، اما بیشتر بررسیها مربوط به گیاهان زراعی و قابل کشت بوده و کمتر به گیاهان مرتعی پرداخته شده است، بنابراین اثرات آلاینده‌های صنعتی بر گیاهان مناطق حوزه نفوذ باید مورد بررسی قرار گیرد تا با توجه به بهره‌برداریهایی صورت گرفته از این گیاهان، میزان آلودگی و چگونگی مدیریت آنها در برنامه‌های آبی مورد استفاده قرار گیرد. گونه‌های *Artemisia sieberi* و *Salsola richteri* و *Scariola orientalis* از گیاهان غالب و سازگار با محدوده معادن سنگ آهن سنگان، شهرستان خواف هستند، که برای این بررسی انتخاب شدند. گیاه‌پالایی یک اصطلاح گسترده‌ای است که از سال ۱۹۹۱ برای توصیف استفاده از گیاهان به‌منظور کاهش حجم، تحرک و یا سمیت آلاینده‌ها در خاک، آب‌های زیرزمینی و یا دیگر رسانه‌های آلوده استفاده شده است (Etim, 2012). گیاه‌پالایی یکی از به‌روزترین روش‌ها برای رفع آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین، ترکیبات آلی، علف‌کش‌ها و هیدروکربن‌های نفتی و مواد رادیواکتیو است که با استفاده از گیاهان صورت می‌گیرد. گزارش‌ها نشان داده که از گیاهان آبی برای پاکسازی آب‌های آلوده در مناطق هسته‌ای روسیه استفاده شده است. برخی از گیاهان قادر هستند بعضی از انواع فلزات -سنگین را بدون نشان دادن علائم سمیت، در بافت‌هایشان ذخیره کنند (Chaney, R.L. 1983). گیاهان بر حسب گونه، توانایی جذب و نگهداری برخی از انواع فلزات سنگین را در خود دارند و از این طریق می‌توانند سبب پاکسازی آلاینده‌های محیط زیست شوند (Kara, 2005). محققان مکانیسم‌هایی که به‌وسیله گیاهان می‌توانند توده آلاینده‌ها را در خاک، رسوبات و آب تحت تأثیر قرار دهند، شناسایی کرده‌اند. اگرچه تداخل یا شباهتی را می‌توان بین برخی از این مکانیسم‌ها مشاهده کرد ولی نامگذاری آنها متفاوت است، استخراج گیاهی، تبخیر گیاهی، تجزیه گیاهی، تصفیه ریشه‌ای، تثبیت گیاهی، کنترل هیدرولیکی و تجزیه ریشه‌ای. تجزیه ریشه‌ای، آلاینده‌ها را در ناحیه ریزوسفر ریشه، تجزیه می‌کند. از بین تمامی مکانیسم‌ها، تجزیه ریشه‌ای مناسب‌ترین روش برای از بین بردن آلاینده‌های آلی می‌باشد (Khoramnejadian, 2013). در سال‌های گذشته مهم‌ترین محدودیت اجرای این فناوری، چگونگی مصرف گیاهان آلوده بود. محققین زیست محیطی راه‌حل‌های مختلفی در این زمینه ارائه کردند که کمپوست و متراکم کردن، دو روش متداولی است که برای مدیریت بیومس گیاهان آلوده اجرا می‌شود. اما امروزه، بهترین روش مصرف، تغییر و تبدیل ترموشیمیایی است که در این روش، بیومس به عنوان یک منبع انرژی، مصرف تجاری دارد. تولید گاز نیز یکی دیگر از موارد کنترل بیومس است که از طریق مجموعه‌ای از تغییرات شیمیایی، گازهای احتراقی پاک با راندمان گرمایی بالا تولید می‌شود که می‌توان برای تولید انرژی گرمایی و الکتریکی به‌کار برد و یا فلزات ذخیره شده در گیاهان پالایند را می‌توان در اثر فرایند استخراج توسط پیرولیز حذف نمود (Ineel, 2000; Iyer et al., 2002). تولیدات نهایی پیرولیز، روغن فلوئید و کک است که فلزات سنگین در کک باقیمانده و در کوره ذوب کارخانجات مختلف استفاده می‌شوند (Singh et al., 2003).

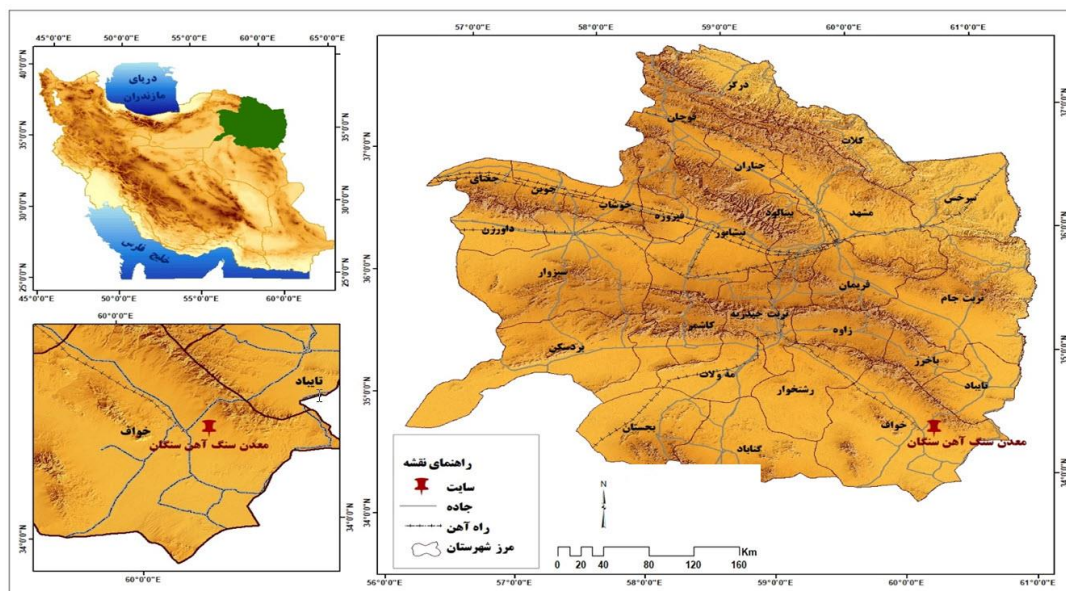
با توجه به اینکه فعالیت‌های انسان محور معادن فعال ایران و صنایع مرتبط با فلزات منجر به آلودگی محیط زیست می‌شوند که بر سلامتی انسان‌ها و سایر جانوران اثرات منفی می‌گذارد، لازم است تهمیداتی صورت گیرد که آلودگی مناطق تحت پوشش معادن تا حدودی مدیریت و کنترل شوند که جانداران منطقه و محیط زیست آنها اثرات منفی کمتری متحمل شوند. با اندازه‌گیری آلاینده‌های مختلف در گیاهان یک منطقه می‌توان به وضعیت آلودگی ترکیبات مختلف از جمله فلزات مختلف پی برد. در پژوهش حاضر پتانسیل گیاه‌پالایی تیپ‌های گیاهی مرتعی غالب و بومی محدوده معادن سنگ آهن خواف مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. خصوصیات منطقه مورد مطالعه

معادن سنگان در مختصات جغرافیایی ۵۸ درجه و ۳۰ دقیقه و ۱۶ ثانیه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۲۶ دقیقه و ۵۵ ثانیه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ارتفاع متوسط منطقه ۱۳۲۶ متر می‌باشد. به طور عمده گونه‌های مربوط به جنس‌های *Artemisia spp* و *Salsola spp* پوشش گیاهی غالب منطقه را تشکیل می‌دهند (شکل ۲). بررسی‌ها و تحقیقات اخیر براساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن گسترش یافته، نشان دهنده اقلیم فراخشک سرد باتوجه به مقادیر دمای متوسط بلند مدت معادل ۱۸ درجه سانتی‌گراد، بارندگی بلند مدت

۱۱۹/۹ میلی‌متر و میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال ۴/۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی خواف در استان خراسان رضوی و ایران



نمائی از تیپ گیاهی *Scariola orientalis*



نمائی از تیپ گیاهی *Salsola richteri*



نمائی از تیپ گیاهی *Artemisia sieberi*

شکل ۲. نمائی از تیپ‌های گیاهی مورد بررسی در منطقه

۲-۲. روش تحقیق

ابتدا بر اساس بررسی اولیه پراکنش پوشش گیاهی در امتداد گرادیان اکولوژیکی منطقه (در جهت شیب عمومی منطقه، در فاصله‌های مختلف از معدن و در جهت باد غالب منطقه)، تیپ‌های گیاهی منطقه مشخص گردید و سپس سه گونه گیاهی متعلق به تیپ غالب پوشش گیاهی منطقه که اهمیت نسبی بالاتری از نظر درصد پوشش و تراکم نسبت به سایر گونه‌ها داشتند، به منظور تعیین میزان عناصر سنگین و تعیین درجه آلودگی، به عنوان گونه‌های مورد پژوهش در نظر گرفته شدند. سپس از بخش شاخساره و ریشه گونه‌های گیاهی

غالب منطقه خواف و خاک اطراف ریشه آنها در فواصل مختلف از معدن در جهت باد غالب منطقه که جهت آن عموماً از سمت شمال شرقی به جنوب غربی بوده، نمونه برداری شد. بعد از عملیات نمونه برداری از گیاه و خاک، نمونه‌های جمع‌آوری شده جهت تعیین عناصر فلزی در برگ، ریشه و ریزوسفر آنها در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. در این بخش، ریشه‌ها و برگ گیاهان بصورت مجزا مورد بررسی قرار گرفت و میزان جذب و انتقال عناصر از ریشه به برگ نیز مشخص گردید. جهت تهیه نمونه شاهد، دقت شد که این نمونه کمترین تاثیر را از آلودگی داشته باشد که میزان دقیق عناصر نمونه‌های شاهد در جداول بخش نتایج تحقیق به تفصیل ارایه شده است. بدین منظور، گیاه شاهد و خاک اطراف ریشه آن از یک محیط بکر و سالم که دارای فاصله مکانی ۱۰۰۰۰ متری با منطقه معدنی است، انتخاب شد. شایان ذکر است که در مجموع ۳۶ نمونه گیاهی برای هر عنصر روی، آرسنیک و نیکل و ۳۶ نمونه خاک مورد بررسی قرار گرفت. در گام بعدی، به منظور بررسی غلظت عناصر خاک و میزان تاثیر معدنکاری بر افزایش عناصر آلاینده منطقه، ریشه و برگ گونه‌های غالب نمونه برداری شده پس از چند مرحله شستشو مورد تجزیه قرار گرفت. شستشو نمونه به ترتیب با آب معمولی، بعد با اسید هیدروکلریک ۰/۱ مول، سپس شستشو با آب معمولی و مجدداً آب مقطر صورت گرفت. نمونه‌ها در داخل آون با درجه حرارت ۷۰ درجه به مدت ۴۸ ساعت خشک شد. پس از پودر نمودن نمونه‌های خشک شده و عبور از الک ۰/۵ میلی‌متری به منظور هضم و تهیه عصاره گیاه از روش سوزاندن به‌طریقه خشک استفاده شد (زارع رشکوئی و همکاران، ۲۰۱۸). شایان ذکر است که در این مطالعه، فلزات سنگین مختلف مورد بررسی قرار گرفتند که در مقاله حاضر تنها نتایج سه عنصر مورد بررسی، ارایه گردیده است. در پژوهش حاضر، اندازه‌گیری عناصر روی، نیکل و آرسنیک با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی^۱ ICP-OES انجام شد. سپس، به منظور ارزیابی و بررسی توانایی گیاه انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات مختلف، چند شاخص به شرح ذیل بررسی شدند:

۲-۱- شاخص زمین انباشت (Igeo)

شاخص زمین انباشت برای تعیین و توصیف آلودگی فلز در محیط، توسط مولر^۲ (۱۹۶۹) ارائه و سپس توسط سایر پژوهشگران تکمیل شد. این ضریب با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1.5 B_n}$$

در این رابطه C_n غلظت عنصر در نمونه خاک و B_n غلظت عنصر در نمونه زمینه یا مرجع می‌باشد. در این پژوهش، میانگین خاک‌های جهانی به عنوان نمونه زمینه یا مرجع در نظر گرفته شد و پس از محاسبه، با استفاده از رده‌بندی ارائه شده کیفیت خاک تعیین گردید (جدول ۱).

جدول ۱. رده‌بندی کیفیت خاک بر مبنای مقدار شاخص زمین‌انباشت (مولر، ۱۹۶۹)

| مقدار Igeo | رده Igeo | تعیین کیفیت خاک |
|------------|----------|--------------------------|
| ۵ < | ۶ | آلودگی خیلی زیاد |
| ۵-۴ | ۵ | آلودگی زیاد تا خیلی زیاد |
| ۴-۳ | ۴ | آلودگی زیاد |
| ۳-۲ | ۳ | آلودگی متوسط تا زیاد |
| ۲-۱ | ۲ | آلودگی متوسط |
| ۱-۰ | ۱ | نالوده تا آلودگی متوسط |
| ۰ | ۰ | نالوده |

^۱ Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy

^۲ Muller

۲-۲-۲. فاکتور تغلیظ زیست (BCF¹) و (BAC²)

برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی (BAC) از نسبت غلظت فلزات در بخش هوایی خشک گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده شد و برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی (BCF) از نسبت غلظت فلزات در بخش خشک ریشه گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده شد (Zhuang et al., 2007, Behrouz et al., 2008; Lorestani et al., 2011; Zu et al., 2005; Chehregani et al., 2009., Favas and pratas, 2013; Ali et al., 2013). معمولاً فاکتور تغلیظ زیستی بیشتر از یک، نشان‌دهنده قابلیت تجمع‌ی بالای گیاه در جذب فلزات می‌باشد (Boonyapookana, 2002).

۲-۲-۳. فاکتور آلودگی (CF)

بر اساس فاکتور آلودگی، می‌توان مقدار فلزات را نسبت به مقدار طبیعی آنها سنجید و میزان آلودگی خاک را تعیین کرد (Naimi et al, 2003). رابطه فاکتور آلودگی مطابق معادله زیر است:

$$CF = \frac{[C]_{\text{sample}}}{[C]_{\text{background}}}$$

در این رابطه CF فاکتور آلودگی، [C]sample غلظت عنصر مورد بررسی و [C]background غلظت عنصر مینا در نمونه مرجع است. خاک‌ها از نظر آلودگی به فلزات سنگین بر اساس فاکتور آلودگی به ۴ گروه $CF < 1$ (آلودگی کم)، $1 < CF < 3$ (آلودگی متوسط)، $3 < CF < 6$ (آلودگی بالا) و $CF \geq 6$ (آلودگی بسیار بالا) تقسیم می‌شوند (Luo et al, 2007; Rashed et al, 2010; Islam et al, 2014). همچنین، به منظور تعیین مقادیر غیرمجاز عناصر و میزان آلودگی خاک، میزان غلظت عناصر در آن منطقه با استانداردهای بین‌المللی و نمونه‌های شاهد منطقه مقایسه گردید. شایان ذکر است که در برخی از تحقیقات انجام شده در ایران، مقادیر عناصر و میزان آلودگی آنها با مقادیر استانداردهای بین‌المللی مانند چین و کانادا نیز مقایسه گردیده است (Jahantab & Najmeddin, 2021; Alizadeh et al., 2018; Jahantab, 2021; Badri, 2010). در گام پایانی تحقیق، داده‌های آزمایش با استفاده از نرم افزار پایگاه اطلاعاتی Excel دسته بندی و نمودارهای مربوطه تهیه شد. در این تحقیق آنالیزهای آماری انجام شده برای خاک و گیاه با نرم‌افزار آماری SPSS ver22 انجام شد. شایان ذکر است که در تحقیق حاضر چون از بین عوامل مورد بررسی، عامل گونه گیاهی اهمیت بیشتری نسبت به عامل فاصله از معدن داشت، بنابراین تحقیق حاضر بر اساس طرح اسپلیت پلات و در قالب آزمون‌های آماری مقایسه میانگین چنددامنه‌ای دانکن و در سطح آماری ۵ درصد انجام شد. علاوه بر این، قبل از آنالیز داده‌ها توزیع نرمالی آنها از طریق آزمون کولموگروف-اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت.

۳. یافته‌های پژوهش**۳-۱. بررسی عنصرهای مختلف****۳-۱-۱. عنصر روی**

با توجه به نتایج جدول ۲ و ۳، مشخص گردید که فاکتورهای مختلف غلظت روی شاخساره، ریشه و خاک و همچنین BAC، BCF، CF و Igeo (روی) در گونه‌های گیاهی مختلف *Salsola richteri*، *Scariola orientalis*، *Artemisia sieberi* و همینطور فاصله‌های متفاوت از معدن در سطح معنی‌داری یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

¹ Bio-Concentration Factor

² Biological Absorption Coefficient

جدول ۲. تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*، *Scariola orientalis*، *Artemisia sieberi* و فواصل مختلف معدن سنگان خواف بر فاکتورهای مختلف عنصر روی

| غلظت روی خاک | | | غلظت روی ریشه | | | غلظت روی شاخساره | | | درجه آزادی | منبع تغییر |
|--------------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|------------------|----------------|--------------|------------|---------------------------------------|
| F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | | |
| ۲۷۸۴/۴** | ۳۵۰۳۸/۱۱۱ | ۷۰۰۷۶/۲۲۲ | ۲۴۷/۶** | ۱۷۲۶۸/۰۸۳ | ۳۴۵۳۶/۱۶۷ | ۱۴۸/۳** | ۶۰۷۹۲/۶۹۴ | ۱۲۱۵۸۵/۳۸۹ | ۲ | پوشش گیاهی |
| ۳۱/۹ | ۴۰۲/۵۲۸ | ۸۰۵/۰۵۶ | ۲/۵۴ | ۱۷۷/۷۵۰ | ۳۵۵/۵۰۰ | ۰/۱۸ | ۷۳/۸۶۱ | ۱۴۷/۷۲۲ | ۲ | تکرار |
| ۴۳۵۹/۳** | ۵۴۸۵۵/۶۵۷ | ۱۶۴۵۶۶/۹۷۲ | ۲۲۱/۰۵** | ۱۵۴۱۵/۷۳۱ | ۴۶۲۴۷/۱۹۴ | ۸۰/۶** | ۳۳۰۵۰/۹۱۷ | ۹۹۱۵۲/۷۵۰ | ۳ | فاصله از معدن |
| ۱/۸۷ ns | ۲۳/۶۰۲ | ۱۴۱/۶۱۱ | ۰/۵۰ ns | ۳۵/۲۳۱ | ۲۱۱/۳۸۹ | ۰/۷۱ ns | ۲۹۱/۵۲۸ | ۱۷۴۹/۱۶۷ | ۶ | فاصله * تکرار (خطای اصلی) |
| ۱۲۱/۷** | ۱۵۳۱/۶۳۰ | ۹۱۸۹/۷۷۸ | ۱۹/۱۶** | ۱۳۳۶/۴۵۴ | ۸۰۱۸/۷۲۲ | ۹/۷** | ۴۰۰۷/۳۶۱ | ۲۴۰۴۴/۱۶۷ | ۶ | اثر متقابل پوشش گیاهی * فاصله از معدن |
| | ۱۲/۵۸۳ | ۲۰۱/۳۳۳ | | ۶۹/۷۳۶ | ۱۱۱۵/۷۷۸ | | ۴۰۹/۹۰۳ | ۶۵۵۸/۴۴۴ | ۱۶ | خطای فرعی |

جدول ۳. تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*، *Scariola orientalis*، *Artemisia sieberi* و فواصل مختلف معدن سنگان بر فاکتورهای مختلف عنصر روی

| BAC(روی) | | | BCF(روی) | | | CF(روی) | | | Igeo(روی) | | | درجه آزادی | منبع تغییر |
|----------|----------------|--------------|----------|----------------|--------------|---------|----------------|--------------|-----------|----------------|--------------|------------|---------------------------------------|
| F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | | |
| ۸۷/۲۹** | ۰/۳۸۳ | ۰/۷۶۵ | ۱۰۷/۶** | ۰/۰۸۱ | ۰/۱۶۳ | ۱۸/۹** | ۲۳/۱۸۸ | ۴۶/۳۷۶ | ۱۳۰۰/۶** | ۱/۶۲۶ | ۳/۲۵۲ | ۲ | پوشش گیاهی |
| ۰/۱۹ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۱/۱۷ | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۲ | ۰/۳۲ | ۰/۴۰۲ | ۰/۸۰۴ | ۴/۶۶ | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۱۲ | ۲ | تکرار |
| ۴۲/۰۶** | ۰/۱۸۴ | ۰/۵۵۳ | ۱۲۱/۷** | ۰/۰۹۲ | ۰/۲۷۶ | ۱۰/۳۲** | ۱۲/۶۳۶ | ۳۷/۹۰۸ | ۱۳۹۴/۶** | ۰/۷۴۳ | ۵/۲۳۰ | ۳ | فاصله از معدن |
| ۰/۶۰ ns | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۶ | ۰/۸ ns | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۴ | ۰/۷۹ ns | ۰/۹۷۸ | ۵/۸۶۵ | ۲/۸* | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۲۲ | ۶ | فاصله * تکرار (خطای اصلی) |
| ۴/۸۸** | ۰/۰۲۱ | ۰/۱۲۸ | ۶/۶۳** | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۳۰ | ۷/۰۷** | ۸/۶۶۷ | ۵۲/۰۰۴ | ۱۴۶/۰** | ۰/۱۸۳ | ۰/۰۹۵ | ۶ | اثر متقابل پوشش گیاهی * فاصله از معدن |
| | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۷۰ | | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۱۲ | | ۱/۲۲۴ | ۱۹/۵۹۱ | | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۲۰ | ۱۶ | خطای فرعی |

۳-۱-۲. عنصر آرسنیک

با توجه به نتایج جدول ۴ و ۵ مشخص گردید که فاکتورهای مختلف غلظت آرسنیک شاخساره، ریشه و همینطور BAC، BCF (آرسنیک) در پوشش‌های گیاهی مختلف *Salsola richteri*، *Scariola orientalis*، *Artemisia sieberi* و در فاصله‌های متفاوت از معدن در سطح معنی‌داری یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. نتایج نشان داد، فاکتورهای CF و Igeo آرسنیک در پوشش‌های گیاهی و در فاصله‌های متفاوت از معدن از لحاظ آماری معنی‌دار نمی‌باشد.

۳-۱-۳. عنصر نیکل

با توجه به نتایج جدول ۶ و ۷، مشخص گردید که فاکتورهای مختلف غلظت نیکل شاخساره، ریشه، خاک، BAC، BCF، CF و Igeo (نیکل) در پوشش‌های گیاهی مختلف *Salsola richteri*، *Scariola orientalis*، *Artemisia sieberi* و همینطور فاصله‌های متفاوت از معدن در سطح معنی‌داری یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

جدول ۴. تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* و فواصل مختلف معدن سنگان بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک

| غلظت آرسنیک خاک | | | غلظت آرسنیک ریشه | | | غلظت آرسنیک شاخساره | | | درجه آزادی | منبع تغییر |
|-----------------|----------------|--------------|------------------|----------------|--------------|---------------------|----------------|--------------|------------|--|
| F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | | |
| ۳/۳۰ ns | ۰/۵۵۵ | ۱/۱۱۱ | ۲۳۳/۰۲** | ۳۰/۸۱۱ | ۶۱/۶۲۲ | ۱۴۹/۱۵** | ۴۳/۳۷۹ | ۸۶/۵۷۵ | ۲ | پوشش گیاهی |
| ۱۵/۰۶ | ۲/۵۲۸ | ۵/۰۵۶ | ۲/۲۷ | ۰/۳۰۱ | ۰/۶۰۲ | ۰/۲۳ | ۰/۰۶۹ | ۰/۱۳۷ | ۲ | تکرار |
| ۲۸۱/۰۴** | ۴۷/۱۵۴ | ۱۴۱/۴۶۱ | ۲۰۷/۸۴** | ۲۷/۴۸۲ | ۸۲/۴۴۶ | ۸۰/۸۴** | ۲۳/۵۱۳ | ۷۰/۵۳۹ | ۳ | فاصله از معدن |
| ۳/۷۰۱* | ۰/۶۲۱ | ۳/۷۲۷ | ۰/۴۷ ns | ۰/۰۶۳ | ۰/۳۷۶ | ۰/۷۶ ns | ۰/۲۲۳ | ۱/۳۳۶ | ۶ | فاصله * تکرار (خطای اصلی) |
| ۱/۳۸ ns | ۰/۲۳۳ | ۱/۳۹۸ | ۱۷/۵۸** | ۲/۳۲۵ | ۱۳/۹۴۹ | ۹/۶۳** | ۲/۸۰۲ | ۱۶/۸۰۹ | ۶ | اثر متقابل پوشش گیاهی * فاصله از معدن |
| | ۰/۱۶۸ | ۲/۶۸۴ | | ۰/۱۳۲ | ۲/۱۱۶ | | ۰/۲۹۱ | ۴/۶۵۳ | ۱۶ | خطای فرعی |

جدول ۵. تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* و فواصل مختلف معدن سنگان بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک

| BAC (آرسنیک) | | | BCF (آرسنیک) | | | CF (آرسنیک) | | | Igeo (آرسنیک) | | | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|--------------|----------------|--------------|--------------|----------------|--------------|-------------|----------------|--------------|---------------|----------------|--------------|------------|--|
| F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | | |
| ۶۸/۶۳** | ۰/۳۹۱ | ۰/۷۸۱ | ۳۰۴/۶۴** | ۰/۲۶۴ | ۰/۵۲۸ | ۱/۰۵ ns | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۰۵ | ۱/۱۷۴ ns | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۰۵ | ۲ | پوشش گیاهی |
| ۰/۸۳ ns | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۳۶ ns | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۱۴/۵۴** | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۷۶ | ۳۲/۶ | ۰/۰۶۸ | ۰/۱۳۵ | ۲ | تکرار |
| ۱۱/۴۶** | ۰/۰۶۵ | ۰/۱۹۶ | ۸۳/۸** | ۰/۰۷۳ | ۰/۲۱۸ | ۲۹۱/۵۵** | ۰/۷۶۲ | ۲/۲۸۵ | ۴۳۷/۳۶** | ۰/۹۰۷ | ۲/۷۲۱ | ۳ | فاصله از معدن |
| ۰/۸۲ ns | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۲۸ | ۲/۵۳۸ ns | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۱۳ | ۳/۶۶* | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۵۷ | ۹/۹۶** | ۰/۰۲۱ | ۰/۱۲۴ | ۶ | فاصله * تکرار (خطای اصلی) |
| ۱/۴۹۷ ns | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۵۱ | ۱۰/۳۸** | ۰/۰۰۹ | ۰/۰۵۴ | ۲/۰۴۸ ns | ۰/۰۰۵ | ۰/۰۳۲ | ۲/۰۹ ns | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۲۶ | ۶ | اثر متقابل پوشش گیاهی * فاصله از معدن |
| | ۰/۰۰۶ | ۰/۰۹۱ | | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۱۴ | | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۴۲ | | ۰/۰۰۲ | ۰/۰۳۳ | ۱۶ | خطای فرعی |

جدول ۶. تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* و فواصل مختلف معدن سنگان بر فاکتورهای مختلف عنصر نیکل

| غلظت نیکل خاک | | | غلظت نیکل ریشه | | | غلظت نیکل شاخساره | | | درجه آزادی | منبع تغییرات |
|---------------|----------------|--------------|----------------|----------------|--------------|-------------------|----------------|--------------|------------|--|
| F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | | |
| ns۳/۰۳ | ۲/۱۴۱ | ۴/۲۸۱ | ۷/۰۰** | ۱۰۱/۳۵۰ | ۲۰۲/۶۹۹ | ۳۵/۰۲۸** | ۲/۸۹۹ | ۵/۷۹۸ | ۲ | پوشش گیاهی |
| ۸۴/۹۱ | ۵۹/۸۳۳ | ۱۱۹/۶۶۶ | ۰/۸۶ | ۱۲/۵۱۳ | ۲۵/۰۲۵ | ۱/۶۰ | ۰/۱۳۳ | ۰/۲۶۵ | ۲ | تکرار |
| ۱۸۹۹/۵۶** | ۱۳۳۸/۵۴۳ | ۴۰۱۵/۶۲۹ | ۳۵/۴۵** | ۵۱۲/۷۸۰ | ۱۵۳۸/۳۴۰ | ۶۸/۸۲** | ۵/۶۹۶ | ۱۷/۰۸۹ | ۳ | فاصله از معدن |
| ۱۰/۳۳** | ۷/۲۸۵ | ۴۳/۷۰۸ | ns۰/۶۵ | ۹/۴۱۰ | ۵۶/۴۵۷ | ns۱/۰۲ | ۰/۰۸۵ | ۰/۵۱۱ | ۶ | فاصله * تکرار (خطای اصلی) |
| ۱۹/۵۳** | ۱۳/۷۶۲ | ۸۲/۵۷۲ | ns۱/۳ | ۱۹/۷۰۲ | ۱۱۸/۲۱۵ | ۴/۴۸** | ۰/۳۷۱ | ۲/۲۲۵ | ۶ | اثر متقابل پوشش گیاهی * فاصله از معدن |
| | ۰/۷۰۵ | ۱۱/۲۷۵ | | ۱۴/۴۶۱ | ۲۳۱/۳۷۹ | | ۰/۰۸۳ | ۱/۳۲۴ | ۱۶ | خطای فرعی |

جدول ۷. تاثیر گونه‌های *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi*, *Salsola richteri* و فواصل مختلف معدن سنگان بر فاکتورهای مختلف عنصر نیکل

| نیکل (BAC) | | | نیکل (BCF) | | | نیکل (CF) | | | نیکل (Igeo) | | | درجه آزادی | منبع تغییر |
|------------|----------------|--------------|------------|----------------|--------------|-----------|----------------|--------------|-------------|----------------|--------------|------------|---------------------------------------|
| F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | F | میانگین مربعات | مجموع مربعات | | |
| ۴۰/۲۰** | ۰/۰۰۴ | ۰/۰۰۷ | ۱۶/۲۹** | ۰/۱۴۳ | ۰/۲۸۶ | ۳۳/۶۶** | ۰/۰۸۷ | ۰/۱۷۴ | ۳۱/۷۸** | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۴۲ | ۲ | پوشش گیاهی |
| ۱/۶۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۰ | ۱/۱۲۳ | ۰/۰۱۰ | ۰/۰۲۰ | ۸۰/۵۴ | ۰/۲۰۸ | ۰/۴۱۶ | ۳۸۵/۲۶** | ۰/۲۵۶ | ۰/۵۱۲ | ۲ | تکرار |
| ۱۲/۹۲** | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۰۳ | ۱۰/۷۹۳** | ۰/۰۹۵ | ۰/۲۸۵ | ۱۸۶۳/۰۰** | ۴/۸۱۵ | ۱۴/۴۴۶ | ۳۱۶۵۵/۵۷** | ۲۱/۰۱۶ | ۶۳/۰۴۷ | ۳ | فاصله از معدن |
| ns ۰/۸۱ | ۰/۰۰۰۰۷ | ۰/۰۰ | ns ۰/۷۸ | ۰/۰۰۷ | ۰/۰۴۱ | ۱۰/۴۰** | ۰/۰۲۷ | ۰/۱۶۱ | ۶۹/۲۷** | ۰/۰۴۶ | ۰/۲۷۶ | ۶ | فاصله * تکرار (خطای اصلی) |
| ns ۱/۲۹ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۱ | ns ۱/۶۱ | ۰/۰۱۴ | ۰/۰۸۵ | ۲۹/۹** | ۰/۰۷۸ | ۰/۴۶۵ | ۳۵/۲۷** | ۰/۰۲۳ | ۰/۱۴۱ | ۶ | اثر متقابل پوشش گیاهی * فاصله از معدن |
| | ۰/۰۰۰۰۰۱ | ۰/۰۰۱ | | ۰/۰۰۹ | ۰/۱۴۱ | | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۴۱ | | ۰/۰۰۱ | ۰/۰۱۱ | ۱۶ | خطای فرعی |

۲-۳. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* بر فاکتورهای مختلف

۱-۲-۳. عنصر روی

نتایج مقایسات میانگین جدول ۸ نشان داد، پوشش گیاهی مختلف تاثیر معنی‌داری بر فاکتورهای مختلف عنصر روی دارند، به طوریکه بیشترین غلظت روی شاخساره، BCF و BAC مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* و کمترین مربوط به *Scariola orientalis* می‌باشند. بیشترین میزان غلظت روی ریشه و خاک در پوشش گیاهی *Salsola richteri* و پایین‌ترین میزان در پوشش *Artemisia sieberi* مشاهده گردید. در مورد فاکتورهای ضریب انباشتگی (Igeo) و فاکتورهای آلودگی (CF) بیشترین و کمترین میزان به ترتیب مربوط به پوشش‌های گیاهی *Artemisia sieberi* و *Salsola richteri* می‌باشد.

جدول ۸. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* بر فاکتورهای مختلف عنصر روی

| پوشش گیاهی | غلظت روی شاخساره | غلظت روی ریشه | غلظت روی خاک | Igeo (روی) | BCF (روی) | BAC (روی) | CF (روی) |
|----------------------------|------------------|---------------|--------------|------------|-----------|-----------|----------|
| <i>Scariola orientalis</i> | ۶۰/۶c | ۷۵/۵۸ b | ۳۳۴/۴ b | ۱/۸ b | ۰/۲۲ c | ۰/۱۸c | ۳/۴۶ b |
| <i>Artemisia sieberi</i> | ۷۷/۰۸ b | ۶۸/۰c | ۲۵/۰۹ c | ۲/۴ a | ۰/۲۷ b | ۰/۳۲b | ۵/۱۸ a |
| <i>Salsola richteri</i> | ۱۹۱/۳a | ۱۳۷/۱۶a | ۳۵۲/۰۸a | ۱/۸c | ۱/۳۸ a | ۱/۵۳ a | ۲/۴۳ c |

۲-۲-۳. عنصر آرسنیک

نتایج مقایسات میانگین جدول ۹ نشان داد، پوشش گیاهی مختلف تاثیر معنی‌داری بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک دارند، به طوریکه بیشترین غلظت آرسنیک شاخساره مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* و کمترین مربوط به *Scariola orientalis* می‌باشند. بیشترین میزان غلظت آرسنیک ریشه و BCF در پوشش گیاهی *Scariola orientalis* و پایین‌ترین میزان در پوشش *Artemisia sieberi* مشاهده گردید. غلظت آرسنیک خاک در پوشش *Artemisia sieberi* بیشترین میزان آرسنیک مربوط به پوشش گیاهی *Scariola orientalis* و بیشترین میزان ضریب آلودگی Igeo مربوط به گونه‌های *Scariola orientalis* و *Salsola richteri* می‌باشد، که هر دو در یک گروه قرار گرفتند. بیشترین میزان BAC و BCF آرسنیک مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* بود و شاخص تغلیظ زیستی BAC در گونه‌های *Scariola orientalis* و *Artemisia sieberi* در یک کلاس قرار گرفتند و تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند.

جدول ۹. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک

| پوشش گیاهی | غلظت آرسنیک شاخساره | غلظت آرسنیک ریشه | غلظت آرسنیک خاک | Igeo (آرسنیک) | BCF (آرسنیک) | BAC (آرسنیک) | CF (آرسنیک) |
|----------------------------|---------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| <i>Scariola orientalis</i> | ۱/۶۱ c | ۳/۱۸ b | ۹/۹۸ c | ۲/۰۷a | ۰/۳۰b | ۰/۱۵ b | ۱/۳۱ a |
| <i>Artemisia sieberi</i> | ۲/۰۵ b | ۲/۸۷ c | ۱۰/۳۷ a | ۲/۰۴ b | ۰/۲۷ c | ۰/۱۸ b | ۱/۲۸ c |
| <i>Salsola richteri</i> | ۵/۱۰ a | ۵/۷۹ a | ۱۰/۳۳ b | ۲/۰۷a | ۰/۵۴ a | ۰/۴۸ a | ۱/۲۹ b |

۳-۲-۳. عنصر نیکل

نتایج مقایسات میانگین جدول ۱۰ نشان داد، پوشش گیاهی مختلف تاثیر معنی داری بر فاکتورهای مختلف عنصر نیکل دارند، به طوریکه بیشترین غلظت نیکل شاخساره، CF، Igeo و BAC نیکل مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* و کمترین مربوط به *Scariola orientalis* می‌باشند. بیشترین میزان غلظت نیکل ریشه در پوشش گیاهی *Salsola richteri* مشاهده گردید. در مورد فاکتور غلظت نیکل خاک هر سه پوشش در یک کلاس قرار گرفتند و تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشتند.

جدول ۱۰. مقایسه میانگین تاثیر گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* بر فاکتورهای مختلف عنصر نیکل

| پوشش گیاهی | غلظت نیکل شاخساره | غلظت نیکل ریشه | غلظت نیکل خاک | Igeo (نیکل) | BCF (نیکل) | BAC (نیکل) | CF (نیکل) |
|----------------------------|-------------------|----------------|---------------|-------------|------------|------------|-----------|
| <i>Scariola orientalis</i> | ۰/۵۱ c | ۸/۱۰ b | ۲۹/۶۵ a | ۱/۵۶c | ۰/۲۴ b | ۰/۰۱ c | ۱/۶۴ c |
| <i>Artemisia sieberi</i> | ۰/۹۱ b | ۱۰/۱۹ b | ۲۹/۳۳ a | ۱/۶۳b | ۰/۳۰ b | ۰/۰۲ b | ۱/۷۸ b |
| <i>Salsola richteri</i> | ۱/۴۹ a | ۱۳/۸۴ a | ۲۸/۸۱ a | ۱/۶۴a | ۰/۴۵ a | ۰/۰۴ a | ۱/۸۰ a |

۳-۳. مقایسه میانگین تاثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن

۳-۳-۱. عنصر روی

نتایج جدول ۱۱ نشان داد، فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر روی تاثیر معنی داری دارد. بیشترین و کمترین میزان غلظت روی شاخساره، ریشه، خاک، BAC و BCF به ترتیب در فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری از معدن مشاهده شد. بیشترین میزان روی برای فاکتورهای CF و Igeo مربوط به فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری و کمترین مقدار مربوط به فاصله ۱۰۰۰۰ متری می‌باشد.

جدول ۱۱. مقایسه میانگین تاثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر روی با استفاده از آزمون دانکن

| فاصله | غلظت روی شاخساره | غلظت روی ریشه | غلظت روی خاک | Igeo (روی) | BCF (روی) | BAC (روی) | CF (روی) |
|--------|------------------|---------------|--------------|------------|-----------|-----------|----------|
| ۵۰۰m | ۱۹۵/۱۱ a | ۱۴۶/۸ a | ۳۷۴/۸ a | ۲/۳a | ۰/۳۸ a | ۰/۵۰ a | ۴/۷۰ a |
| ۱۰۰۰m | ۶۲/۰ c | ۵۹/۵ c | ۳۷۱/۶۶ a | ۲/۳۳a | ۰/۳۵ a | ۰/۳۵ b | ۴/۵۵ a |
| ۳۰۰۰m | ۱۱۰/۰ b | ۱۰۵/۷ b | ۲۹۳/۴۴ b | ۲/۰b | ۰/۲۹ b | ۰/۳۷ b | ۳/۳۶a |
| ۱۰۰۰۰m | ۷۱/۶ c | ۶۲/۱ c | ۲۰۹/۸ c | ۱/۴۰c | ۰/۱۵ c | ۰/۱۶ c | ۲/۱۶ b |

۳-۳-۲. عنصر آرسنیک

نتایج جدول ۱۲ نشان داد که فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک تاثیر معنی داری دارد. بیشترین میزان غلظت

آرسنیک شاخساره، ریشه، خاک، BCF، BAC، Igeo و CF در فاصله ۵۰۰ متر از معدن و کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰۰ متر مشاهده شد. برای فاکتور BCF (آرسنیک) تفاوت معنی‌داری در فواصل ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری و در مورد شاخص BAC (آرسنیک) تفاوت معنی‌داری در فواصل ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری مشاهده نشد.

جدول ۱۲. مقایسه میانگین تاثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک با استفاده از آزمون دانکن

| فاصله | غلظت آرسنیک شاخساره | غلظت آرسنیک ریشه | غلظت آرسنیک خاک | Igeo (آرسنیک) | BCF (آرسنیک) | BAC (آرسنیک) | CF (آرسنیک) |
|--------|---------------------|------------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|-------------|
| ۵۰۰m | ۵/۲۱ a | ۶/۲۰ a | ۱۳/۳ a | ۲/۴۷a | ۰/۴۶ a | ۰/۳۸ a | ۱/۶۸ a |
| ۱۰۰۰m | ۲/۹۲ b | ۴/۴۶ b | ۱۰/۲۰ b | ۲/۰۸b | ۰/۴۳ a | ۰/۲۸ b | ۱/۲۹ b |
| ۳۰۰۰m | ۱/۹۱ c | ۲/۶۱ c | ۹/۵۲ c | ۱/۹۸c | ۰/۳۲ b | ۰/۲۰ c | ۱/۲۰ c |
| ۱۰۰۰۰m | ۱/۶۶ c | ۲/۵۲ c | ۷/۸۶ d | ۱/۷d | ۰/۲۷ c | ۰/۲۱ c | ۰/۹۹ d |

۳-۳-۳. عنصر نیکل

نتایج جدول ۱۳ نشان داد، فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر نیکل تاثیر معنی‌داری دارد. در مورد غلظت نیکل شاخساره، ریشه و BAC (نیکل) بیشترین میزان در فاصله ۵۰۰ متر از معدن و کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰۰ متر مشاهده شد. برای فاکتورهای غلظت نیکل خاک، ضریب انباشتگی Igeo و فاکتور آلودگی CF بیشترین میزان در فاصله ۵۰۰ متر از معدن و کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰۰ متر مشاهده شد و تفاوت معنی‌داری در فواصل مختلف از معدن برای این فاکتورها نشان داده شد. برای فاکتور BCF (نیکل) بیشترین مقدار در فاصله ۵۰۰ متری مشاهده شد.

جدول ۱۳. مقایسه میانگین تاثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر نیکل با استفاده از آزمون دانکن

| فاصله | غلظت نیکل شاخساره | غلظت نیکل ریشه | غلظت نیکل خاک | Igeo(نیکل) | BCF(نیکل) | BAC(نیکل) | CF(نیکل) |
|--------|-------------------|----------------|---------------|------------|-----------|-----------|----------|
| ۵۰۰m | ۲/۰۹ a | ۲۰/۷۷ a | ۴۵/۰۳ a | ۲/۸۴a | ۰/۴۵ a | ۰/۰۴ a | ۲/۶۹ a |
| ۱۰۰۰m | ۰/۹۷ b | ۱۲/۲۰ b | ۳۱/۸۳ b | ۲/۳۲b | ۰/۳۸ a | ۰/۰۳ b | ۱/۸۹ b |
| ۳۰۰۰m | ۰/۴۹ c | ۵/۵۵ c | ۲۳/۴۶ c | ۱/۸۸c | ۰/۲۳ b | ۰/۰۲ c | ۱/۳۹ c |
| ۱۰۰۰۰m | ۰/۲۴ c | ۴/۳۳ c | ۱۶/۷۳ d | -۰/۶d | ۰/۲۶ b | ۰/۰۲ c | ۰/۹۹ d |

۳-۴. مقایسه میانگین تاثیرات متقابل گونه‌های *Scariola orientalis*، *Salsola richteri* و فواصل مختلف از

معدن بر فاکتورهای مختلف

۳-۴-۱. عنصر روی

نتایج جدول ۱۴ نشان داد که، بیشترین میزان غلظت روی شاخساره، ریشه، خاک، BCF و BAC در گونه *Salsola richteri* در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده شد. بیشترین میزان ضریب انباشتگی و فاکتور آلودگی روی در فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری معدن در گونه *Artemisia sieberi* دیده شد و کمترین غلظت روی شاخساره، خاک، ریشه، ضریب انباشتگی و فاکتور آلودگی مربوط به گونه *Scariola orientalis* در فاصله ۱۰۰۰۰ متری معدن می‌باشد.

۳-۴-۲. عنصر آرسنیک

نتایج جدول ۱۵ نشان داد که، بیشترین میزان غلظت آرسنیک شاخساره، ریشه، BCF و BAC در گونه *Salsola richteri* در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده شد. بیشترین و کمترین میزان غلظت آرسنیک در فاکتور آلودگی و ضریب انباشتگی به ترتیب مربوط به

فاصله‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری از معدن در هر سه گونه مشاهده شد. کمترین غلظت آرسنیک شاخساره، خاک و BAC در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Sc.or دیده شد.

جدول ۱۴. مقایسه میانگین تاثیرات متقابل گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi* و فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر روی

| CF روی | | BAC روی | | BCF روی | | Igeo روی | | غلظت روی خاک | | غلظت روی ریشه | | غلظت روی شاخساره | | * |
|--------|--------|---------|--------|---------|--------|----------|--------|--------------|--------|---------------|--------|------------------|---------|----|
| c | ۲/۰۲۶۷ | a | ۱/۸۱۴۳ | a | ۱/۵۳۶۷ | c | ۲/۰۶۶۷ | a | ۴۱۶/۶۶ | a | ۲۲۳/۶۶ | a | ۳۹۹/۰۰ | ۱۱ |
| bc | ۲/۷۰۳۳ | efg | ۰/۳۱۹۳ | f | ۰/۲۲۶۳ | c | ۲/۰۳۳۳ | a | ۴۰۸/۳۳ | c | ۹۲/۶۶ | c | ۱۳۰/۰۰۰ | ۱۲ |
| bc | ۲/۶۹ | b | ۰/۵۳۸۳ | b | ۰/۴۰۷۳ | d | ۱/۷ | c | ۳۱۸/۶۶ | b | ۱۳۰/۰۰ | b | ۱۷۱/۰۰۰ | ۱۳ |
| bc | ۲/۳۳ | bc | ۰/۴۷۴۷ | bc | ۰/۳۸۶۳ | e | ۱/۴ | e | ۲۶۴/۶۶ | c | ۱۰۲/۳۳ | cd | ۱۲۵/۳۳۳ | ۱۴ |
| a | ۸/۳۱۳۳ | cde | ۰/۴۲۵۳ | de | ۰/۳۲۳۳ | a | ۲/۸۶ | cd | ۳۱۲/۰۰ | c | ۱۰۰/۳۳ | c | ۱۳۳/۰۰۰ | ۲۱ |
| a | ۷/۰۹۳۳ | i | ۰/۱۰۳۷ | g | ۰/۱۵۲۰ | a | ۲/۹ | c | ۳۱۸/۶۶ | d | ۴۸/۳۳ | fg | ۳۳/۳۳ | ۲۲ |
| bc | ۳/۱۲۶۷ | def | ۰/۳۵۸۷ | cd | ۰/۳۵۱۳ | b | ۲/۶ | ef | ۲۵۹/۳۳ | c | ۹۱/۰۰ | de | ۹۳/۰۰ | ۲۳ |
| c | ۲/۲۲۳۳ | bcd | ۰/۴۳۱۷ | e | ۰/۲۸۷۳ | e | ۱/۴ | g | ۱۱۳/۶۶ | de | ۳۲/۳۳ | fg | ۴۹/۰۰ | ۲۴ |
| bc | ۳/۷۸۶۷ | fg | ۰/۲۸۵۳ | e | ۰/۲۹۴۷ | c | ۲/۰۶ | b | ۳۹۶/۰۰ | b | ۱۱۶/۶۶ | cd | ۱۱۳/۳۳ | ۳۱ |
| bc | ۳/۸۶۳۳ | i | ۰/۰۵۸۷ | h | ۰/۰۹۶۷ | c | ۲/۰۶ | b | ۳۸۸/۰۰ | de | ۳۷/۶۶ | g | ۲۲/۶۶ | ۳۲ |
| b | ۴/۲۶۶۷ | gh | ۰/۲۱۸۰ | de | ۰/۳۱۷۳ | d | ۱/۷ | d | ۳۰۲/۳۳ | c | ۹۶/۳۳ | ef | ۶۶/۰۰ | ۳۳ |
| c | ۱/۹۴۳۳ | hi | ۰/۱۶۲۳ | f | ۰/۲۰۴۰ | e | ۱/۴ | f | ۲۵۱/۶۶ | d | ۵۱/۶۶ | fg | ۴۰/۶۶ | ۳۴ |

*: اثر متقابل پوشش‌های گیاهی مختلف در فواصل متفاوت از معدن
عدد یکان: ۱: فاصله ۵۰۰ متر از معدن، ۲: فاصله ۱۰۰۰ متر از معدن، ۳: فاصله ۳۰۰۰ متر از معدن، ۴: فاصله ۱۰۰۰۰ متر از معدن
عدد دهگان: ۱: *Salsola richteri*، ۲: *Artemisia sieberi* و ۳: *Scariola orientalis*

جدول ۱۵. مقایسه میانگین تاثیرات متقابل گونه‌های *Salsola richteri*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi*

و فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر آرسنیک

| CF آرسنیک | | BAC آرسنیک | | BCF آرسنیک | | Igeo آرسنیک | | غلظت آرسنیک خاک | | غلظت آرسنیک ریشه | | غلظت آرسنیک شاخساره | | * |
|-----------|--------|------------|--------|------------|--------|-------------|--------|-----------------|-------|------------------|--------|---------------------|--------|----|
| a | ۱/۷۱۰۰ | a | ۰/۶۶۳۰ | a | ۰/۶۹۰۳ | a | ۲/۵۰۳۳ | a | ۱۳/۶۶ | a | ۹/۴۳۳۳ | a | ۹/۰۳۳۳ | ۱۱ |
| b | ۱/۲۸ | b | ۰/۴۴۶۳ | b | ۰/۵۳۵۳ | b | ۲/۰۹ | bc | ۱۰/۲۳ | b | ۵/۵۰۰۰ | b | ۴/۵۶۶۷ | ۱۲ |
| b | ۱/۱۹ | bc | ۰/۳۵۵۳ | cd | ۰/۴۵۳۳ | b | ۱/۹۸ | bc | ۹/۵۶ | cd | ۴/۳۰۰۰ | cd | ۳/۳۳۳۳ | ۱۳ |
| c | ۰/۹۸ | b | ۰/۴۵۵۳ | bc | ۰/۴۹۹۰ | c | ۱/۷۰ | e | ۷/۸۶ | d | ۳/۹۳۳۳ | c | ۳/۵۰۰۰ | ۱۴ |
| a | ۱/۶۰ | cd | ۰/۲۷۲۰ | f | ۰/۳۲۸۰ | a | ۲/۴ | a | ۱۳/۰۰ | cd | ۴/۲۶۶۷ | c | ۳/۵۶۶۷ | ۲۱ |
| b | ۱/۳۰ | cde | ۰/۲۳۵۳ | ef | ۰/۳۶۴۷ | b | ۲/۱ | b | ۱۰/۵۳ | d | ۳/۸۳۳۳ | de | ۲/۴۶۶۷ | ۲۲ |
| b | ۱/۲۱ | ef | ۰/۱۳۳۰ | h | ۰/۱۴۰۳ | b | ۱/۹۹ | bc | ۹/۸۳ | f | ۱/۳۶۶۷ | fg | ۱/۳۰۰۰ | ۲۳ |
| c | ۱/۰۰۳ | ef | ۰/۱۰۸۰ | g | ۰/۲۵۳۷ | c | ۱/۷۱ | de | ۸/۱۳ | e | ۲/۰۳۳ | fg | ۰/۹۰۰۰ | ۲۴ |
| a | ۱/۷۵۳۳ | cde | ۰/۲۲۷۳ | ef | ۰/۳۶۹۷ | a | ۲/۵۲ | a | ۱۳/۳۳ | bc | ۴/۹۰۰ | cd | ۳/۰۳۳۳ | ۳۱ |
| b | ۱/۲۹۳۳ | def | ۰/۱۷۹۰ | de | ۰/۴۱۳۳ | b | ۲/۰۸ | bc | ۹/۸۳ | d | ۴/۰۶۶ | ef | ۱/۷۳۳۳ | ۳۲ |
| b | ۱/۲۰۳۳ | ef | ۰/۱۱۸۳ | g | ۰/۲۳۶۰ | b | ۱/۹۸ | cd | ۹/۱۶ | e | ۲/۱۶۶۷ | fg | ۱/۱۰۰۰ | ۳۳ |
| c | ۰/۹۹۳۳ | f | ۰/۰۷۹۳ | g | ۰/۲۱۱۰ | c | ۱/۷۰ | e | ۷/۶۰ | ef | ۱/۶۰۰۰ | g | ۰/۶۰۰۰ | ۳۴ |

*: اثر متقابل پوشش‌های گیاهی مختلف در فواصل متفاوت از معدن
عدد یکان: ۱: فاصله ۵۰۰ متر از معدن، ۲: فاصله ۱۰۰۰ متر از معدن، ۳: فاصله ۳۰۰۰ متر از معدن، ۴: فاصله ۱۰۰۰۰ متر از معدن
عدد دهگان: ۱: *Salsola richteri*، ۲: *Artemisia sieberi* و ۳: *Scariola orientalis*

۳-۴-۳. عنصر نیکل

نتایج جدول ۱۶ نشان داد که، بیشترین میزان غلظت نیکل شاخساره، BCF، BAC در گونه Sa.ri در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده

شد. بیشترین میزان غلظت نیکل ریشه، خاک، Igeo و CF در رویشگاه گونه‌های Sa.ri و Ar.si مشاهده شد. کمترین غلظت نیکل شاخساره و BAC در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Sc.or و کمترین غلظت نیکل ریشه در رویشگاه گونه‌های Ar.si و Sc.or مشاهده شد. کمترین غلظت نیکل خاک در فاصله ۱۰۰۰۰ متری رویشگاه گونه Ar.si و گونه Sa.ri دیده شد.

جدول ۱۶. مقایسه میانگین تاثیرات متقابل گونه‌های *Salsola r*, *Scariola orientalis*, *Artemisia sieberi*

| نیکل CF | | نیکل BAC | | نیکل BCF | | نیکل Igeo | | غلظت نیکل خاک | | غلظت نیکل ریشه | | غلظت نیکل شاخساره | | * |
|---------|--------|----------|--------|----------|--------|-----------|-------|---------------|---------|----------------|---------|-------------------|--------|----|
| a | ۲/۹۱۶۷ | a | ۰/۰۶۵۷ | a | ۰/۵۶۱۳ | a | ۲/۹۶ | a | ۴۶/۶۶ | a | ۲۶/۱۹۶۷ | a | ۳/۰۶۰۰ | ۱۱ |
| c | ۱/۸۹۳۳ | b | ۰/۰۴۴۰ | ab | ۰/۴۳۰۷ | b | ۲/۳۳ | c | ۳۰/۳۲ | bc | ۱۳/۰۷۰۰ | c | ۱/۳۳ | ۱۲ |
| d | ۱/۳۹۶۷ | bc | ۰/۰۴۰۳ | ab | ۰/۴۱۷۷ | c | ۱/۸۸ | de | ۲۲/۳۴ | bcd | ۹/۳۳ | cd | ۰/۸۷۳۳ | ۱۳ |
| e | ۰/۹۹۶۷ | b | ۰/۰۴۶۳ | ab | ۰/۴۲۶۳ | d | -۰/۶ | f | ۱۵/۹۳ | cde | ۶/۷۹۰۰ | de | ۰/۷۱۳۳ | ۱۴ |
| a | ۲/۸۴۶۷ | b | ۰/۰۴۵۳ | ab | ۰/۴۵۹۳ | a | ۲/۹۲ | a | ۴۶/۶۶ | a | ۲۱/۶۰۳۳ | b | ۲/۱۴۳۳ | ۲۱ |
| c | ۱/۹۰۳۳ | bc | ۰/۰۳۳۳ | ab | ۰/۴۲۶۰ | b | ۲/۳۴ | c | ۳۱/۲۲۶۷ | bc | ۱۳/۲۱۳۳ | cd | ۱/۰۳۰۰ | ۲۲ |
| d | ۱/۴۰۳۳ | de | ۰/۰۱۳۷ | e | ۰/۱۱۵۷ | c | ۱/۹ | d | ۲۳/۰۱۶ | e | ۲/۶۴۰۰ | ef | ۰/۳۱۰۰ | ۲۳ |
| e | ۱/۰ | de | ۰/۰۱۰۷ | cde | ۰/۲۰۴۰ | d | -۰/۵۹ | f | ۱۶/۴۱۳۳ | e | ۳/۳۳۶۷ | ef | ۰/۱۷۶۷ | ۲۴ |
| b | ۲/۳۲ | cd | ۰/۰۲۶۰ | bc | ۰/۳۴۸۰ | ab | ۲/۶۴ | b | ۴۱/۷۸۳۳ | b | ۱۴/۵۳۶۷ | cd | ۱/۰۹۳۳ | ۳۱ |
| c | ۱/۸۸ | de | ۰/۰۱۶۰ | bcd | ۰/۳۰۳۷ | b | ۲/۳۴ | c | ۳۳/۹۶ | bcd | ۱۰/۳۳۶۷ | def | ۰/۵۵۰۰ | ۳۲ |
| d | ۱/۳۹ | de | ۰/۰۱۱۳ | cde | ۰/۱۸۴۳ | c | ۱/۸۹ | d | ۲۵/۰۲۶۷ | de | ۴/۶۸۰۰ | ef | ۰/۲۸۶۷ | ۳۳ |
| e | ۰/۹۹۳۳ | e | ۰/۰۰۷۷ | de | ۰/۱۶۱۰ | d | -۰/۵۹ | ef | ۱۷/۸۴۶۷ | e | ۲/۸۶۶۷ | f | ۰/۱۳۶۷ | ۳۴ |

* اثر متقابل پوشش‌های گیاهی مختلف در فواصل متفاوت از معدن

عدد یکان: ۱: فاصله ۵۰۰ متر از معدن، ۲: فاصله ۱۰۰۰ متر از معدن، ۳: فاصله ۳۰۰۰ متر از معدن، ۴: فاصله ۱۰۰۰۰ متر از معدن
عدد دهگان: ۱: *Salsola richteri*، ۲: *Artemisia sieberi* و ۳: *Scariola orientalis*

۳-۵. غلظت عناصر در خاک‌های جهانی

جدول ۱۷ نتایج بخش خاک را ارایه می‌دهد، از این میان، غلظت زیاد عناصری مانند نیکل با میزان ۲۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آرسنیک با میزان ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به میانگین جهانی نیکل ۱۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آرسنیک ۴/۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. همچنین نتایج نشان داد که غلظت عنصر روی بیشتر از مقادیر استاندارد چین و کانادا می‌باشد.

جدول ۱۷. غلظت عناصر انتخاب شده در خاک‌های جهانی و استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، چین و کانادا برای کیفیت خاک

(غلظت برای تمام عناصر بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم (جهانتاب و نجم‌الدین، ۱۴۰۰)

| عناصر | روی | نیکل | آرسنیک |
|--|-----|------|--------|
| میانگین | ۳۱۲ | ۲۹ | ۱۰ |
| انحراف معیار | ۸ | ۳ | ۱ |
| کمینه | ۱۰۸ | ۱۲ | ۷ |
| بیشینه | ۴۲۳ | ۴۸ | ۱۴ |
| خاک‌های جهانی | ۶۲۰ | ۱۸ | ۴/۷ |
| استاندارد WHO (سیامردی و همکاران، ۱۳۹۳) | ۲۹۰ | ۳۶ | - |
| استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران (ISQGSb) | ۵۰۰ | ۱۵۵ | ۴۰ |
| استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست چین (ChSQGS) | ۲۵۰ | ۵۰ | ۲۰ |
| استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست کانادا (CSQGSd) | ۲۰۰ | ۴۵ | ۱۲ |

۴. بحث و نتیجه‌گیری

فلزات سنگین از جمله مهمترین آلاینده‌های اکوسیستم‌ها می‌باشند. زمانیکه گیاهان در معرض مقادیر سمی فلزات سنگین قرار می‌گیرند، مکانیسم‌های مولکولی، شیمیایی و فیزیکی که مسئول تحمل و سازگاری آنها به تنش‌های محیطی است تحت تاثیر قرار می‌گیرد و انتقال عناصر سنگین به زنجیره غذایی در مطالعات زیست محیطی و در سالهای اخیر مورد توجه واقع شده است (Nocito et al., 2006). نتایج تحقیق حاضر نشان داد، پوشش‌های گیاهی مختلف از نظر شاخص‌های مختلف گیاه پالایی عناصر روی، آرسنیک و نیکل اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند، به طوری که بیشترین میزان شاخص‌های تغلیظ زیستی BCF روی (۱/۳۸)، آرسنیک (۰/۵۴) و نیکل (۰/۴۵) و BAC روی (۱/۵۳)، آرسنیک (۰/۴۸) و نیکل (۰/۰۴) مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* است که قابلیت تجمع بالایی گیاه *Salsola richteri* را در جذب روی نشان می‌دهد و کمترین میزان قابلیت تجمع مربوط به گونه *Scariola orientalis* می‌باشد. ارزیابی آلودگی خاک با استفاده از فاکتور آلودگی (CF) و شاخص زمین انباشتی (Igeo) انجام شد. بیشترین میزان روی با توجه به شاخص زمین انباشت با میزان (۲/۴) و فاکتور آلودگی (۵/۱۸) در محیط رویش گونه گیاهی *Artemisia sieberi* گزارش گردید که نشان می‌دهد مقدار روی نسبت به مقدار طبیعی آن در محیط رویشگاهی این گونه بالاتر است و در وضعیت آلودگی بالایی روی قرار می‌گیرد. همچنین بالاترین میزان CF و Igeo آرسنیک به ترتیب به میزان ۲/۰۷ و ۱/۳ در محیط رویش گونه‌های *Scariola orientalis* و *Salsola richteri* دیده شد، که از نظر آلودگی در وضعیت آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. بیشترین میزان Igeo و CF نیکل نیز با مقدار ۱/۶۴ و ۱/۸ مربوط به محیط رویش گونه *Salsola richteri* می‌باشد که در وضعیت آلودگی متوسط قرار گرفت. همسو با این تحقیق، سیستانی و همکاران (۱۳۹۶) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان و غنای فلزی و درجه آلودگی خاک را بررسی کردند. آنها نیز از شاخص‌های زمین انباشت (Igeo) و عامل آلودگی (CF) استفاده کردند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد غلظت عناصر سنگین، متاثر از مجتمع‌های فولاد است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که درجه آلودگی گونه‌های گیاهی مرتعی با توجه به فاصله‌شان از معدن با یکدیگر متفاوت است. به‌طوریکه بیشترین میزان غلظت عناصر در فاصله ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری به معدن گزارش گردید. بیشترین میزان غلظت روی، آرسنیک و نیکل شاخساره، ریشه و خاک در فاصله ۵۰۰ متری در محیط رویش *Salsola richteri* دیده شد. همچنین بالاترین میزان تغلیظ زیستی BAC و BCF روی به ترتیب به میزان ۱/۸۱ و ۱/۵۳ مربوط به گونه *Salsola richteri* در فاصله ۵۰۰ متری می‌باشد نتایج تحقیق حاضر نشان داد که میزان فاکتورهای تغلیظ زیستی گونه گیاهی *Salsola richteri* بالاتر از یک می‌باشد که این موضوع نشان دهنده توانایی بالایی گیاه *Salsola richteri* در انباشتن فلزات سنگین می‌باشد و نشان می‌دهد که این گیاه می‌تواند به عنوان گیاه بیش‌اندوز فلز روی در محدوده معادن سنگان خواف مورد استفاده قرار گیرد. نتایج حاصل از پژوهش حاضر با برخی محققان همخوانی دارد. به طوری که آریزا^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در بررسی *A. marina* در اطراف منطقه استخراج بوکسیت در اندونزی انجام دادند، چنین اظهار کردند که این گونه چون دارای فاکتور انتقال بزرگ‌تر از یک می‌باشد، توانایی مناسبی برای بیش‌اندوزی عناصر سنگین دارد. همچنین این راستا، معماری و همکاران (۲۰۱۷) بیان داشتند که گیاهانی که فاکتورهای تغلیظ زیستی در آنها بالاتر از یک می‌باشد، توانایی خوبی در گیاه پالایی دارند و به عنوان گیاهان بیش‌اندوز می‌توانند استفاده شوند. دلیل این موضوع را این طور می‌توان توضیح داد که ریشه گیاهان با فیلتر کردن، جذب و تبادل کاتیونی عناصر سنگین، نقش مهمی در حذف آلاینده‌ها دارند. همچنین، گیاهان با توانایی تجمع و تجزیه عناصر در ریشه می‌توانند در مدیریت خاک‌های آلوده یا گیاه پایایی موثر باشند. بدین منظور گیاهان پالاینده نیازمند سیستم ریشه‌ای قوی می‌باشند (Deng et al., 2004). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که، مقدار عنصرهای مورد بررسی در گیاه *Salsola richteri* در اندام هوایی بیشتر از اندام زیرزمینی است. دلیل این مسئله این است که بارهای منفی که در سلول‌های ریشه گیاهان است با گروه‌های

¹ Azizah

هیدروکسیل با بارهای مثبت عنصرهای سنگین با یکدیگر بر همکنش ایجاد کرده و به دنبال آن تعادل دینامیکی حاصل و منجر به ورود آسان تر به سلولها از طریق آپوپلاست یا سیمپلاست می‌گردد (Franco et al., 2018). از طرفی دیگر علت این مسئله آن است که این عنصرها در مجاورت سطح ریشه جذب و از طریق غشا سلولی وارد سلولهای ریشه می‌شوند و در برخی از قسمت‌ها عنصر از غشا سلولی عبور و به بافت آوندی ریشه می‌رسند. در حالیکه بیشتر بخش باقیمانده عناصر، در واکوئل بی‌حرکت شده و سپس از بافت‌های آوندی به برگ و ساقه منتقل می‌شوند. سپس، اکثر این عنصرها زمانی که در داخل بافت گیاه قرار می‌گیرند، نامحلول شده و به علت اسیدیته پهنه سلولی نمی‌توانند در سیستم عروقی حرکت کنند لذا عنصرهای نامحلول عموماً در محفظه‌های خارجی و درونی سلول به صورت رسوبات سولفات، کربنات یا فسفات ذخیره می‌شوند (Manzoor et al., 2020).

بیشترین میزان شاخص زمین انباشت و عامل آلودگی روی به ترتیب با میزان $2/9$ و $8/3$ در فاصله 500 و 1000 متری مربوط به گونه *Artemisia sieberi* می‌باشد که از نظر شاخص آلودگی در وضعیت بسیار آلوده قرار می‌گیرد. همچنین بالاترین میزان غلظت نیکل از نظر شاخص زمین انباشت و آلودگی به میزان $2/9$ در فاصله 500 متری گونه‌های *Salsola richteri* و *Artemisia sieberi* گزارش گردید که در وضعیت آلودگی متوسط قرار می‌گیرد. بالاترین غلظت آرسنیک از نظر شاخص زمین انباشت و آلودگی به ترتیب به میزان $2/5$ و $1/7$ مربوط به فاصله 500 متری محدوده رویش هر سه گونه مورد بررسی می‌باشد که از نظر آلودگی در رده وضعیت متوسط قرار دارد. جوان سیامردی و همکاران (۲۰۱۴) غلظت فلزات سنگین (آهن، نیکل، مس، روی و سرب) در خاک کشاورزی بخش مرکزی سیستان را مورد بررسی قرار دادند و اظهار کردند که شاخص آلودگی CF شاخص کارایی در تبیین میزان آلودگی عناصر سنگین محیط می‌باشد. همچنین نتیجه تحقیق حاضر نشان داد، بیشترین میزان فاکتورهای مورد بررسی نظیر غلظت فلزات شاخساره، ریشه و خاک در فاصله 500 متری از معدن و کمترین میزان فاکتورهای غلظت فلزات مختلف نیز در فاصله 10000 متری از معدن می‌باشد. همسو با این نتیجه شفیعی و همکاران (۲۰۱۳) غنی‌شدگی آرسنیک و سلنیوم را در خاک‌های پیرامون معدن مس سرچشمه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که غلظت این عناصر در نزدیکی معدن بیشتر است و با فاصله گرفتن از معدن، غلظت آنها کاهش می‌یابد، همچنین ایشان بیان کردند که عنصر سلنیوم در محدوده غیر آلوده و عنصر آرسنیک در محدوده کمی آلوده تا شدیداً آلوده قرار می‌گیرد.

بر اساس نتایج بخش خاک پژوهش حاضر مشخص گردید که میانگین غلظت عناصر مورد بررسی بیشتر از مقادیر غلظت این عناصر در خاک‌های جهانی است. از این میان، غلظت بالای عناصری مانند روی با میزان 312 میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیکل با میزان 29 میلی‌گرم بر کیلوگرم و آرسنیک با میزان 10 میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به میانگین جهانی روی 62 میلی‌گرم بر کیلوگرم، نیکل 18 میلی‌گرم بر کیلوگرم و آرسنیک $4/7$ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. همچنین نتایج نشان داد غلظت عنصر روی در مقایسه با استانداردهای سازمان حفاظت محیط زیست ایران، چین و کانادا نیز، بیشتر از مقادیر استاندارد می‌باشد. علاوه بر حضور طبیعی فلزات سنگین در سنگ‌ها و خاک‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و معدن کاوی نیز از منابع ورود عناصر سنگین به محیط زیست است که در نهایت منجر به افزایش سطح فلزات سنگین در محیط می‌شود. دلایل این موضوع در تحقیقات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است، من جمله، سعادت (۲۰۱۶) چنین بیان می‌کند که منابع آلودگی فلزات سنگین ناشی از فعالیت معدن کاوی، بسته به فعالیت خود منجر به ورود فلزات سنگین متفاوت به محیط زیست می‌شوند. کافی^۱ و همکاران (۲۰۰۹) اظهار داشتند در مناطق آلوده متداول‌ترین فلزات سنگین کادمیم، سرب، کروم، مس، جیوه و روی هستند. در این بین، سرب، مس و روی از آلاینده‌های سمی هستند که خسارت‌هایی جدی به بار می‌آورند. بر اساس نتایج کیانپور و همکاران (۲۰۱۴) یکی از مهمترین مسائل محیط زیستی همراه با معدنکاری، باطله‌های معدنی هستند که جزء لاینفک معدن‌کاری به حساب می‌آیند و عدم مدیریت صحیح آنها باعث افزایش عناصر سنگین خاک شده و صدمات جبران ناپذیری را به محیط زیست و اکوسیستم وارد می‌کند. ایشان بیان می‌کنند که اکثر فعالیت‌های انسانی، باطله تولید می‌کند که معدن‌کاری نیز از این امر مستثنی نیست. از آنجا که باطله تولیدی سالیانه این مجموعه‌های معدنی بدون هیچ راهکار مناسب و غیر اصولی در طبیعت

¹ Kafi

رها می‌گردد، بنابراین خسارات جبران‌ناپذیر انسانی و آلودگی محیط زیستی در بر خواهد داشت. همچنین، از دلایل دیگر آلودگی آب و خاک مناطق معدن کاوی می‌توان به دفن غیراصولی مواد زاید جامد در محدوده معدن، رواناب‌های احتمالی حاصل از بارندگی‌های فصلی و بوجود آمدن مخازن ذخیره گودالی فراوان در سطح منطقه و نفوذ عمقی آب‌های آلوده به منابع آب زیرزمینی، و ورود رواناب‌ها به چاله‌ها و گودال‌های حاصل از فعالیت معدنی، اشاره کرد.

کاربرد گونه بومی *Salsola richteri* که سازگار با شرایط آب و هوای منطقه مطالعاتی هستند، کارایی زیادی در جذب و تجمع عنصرهای هدف در این مطالعه را داشته که برای برنامه‌های محیط زیستی در منطقه مذکور به عنوان گزینه مناسب به منظور گیاه پالایی محدوده معدن سنگان خواف و مناطق مشابه پیشنهاد می‌شود. بنابراین خروجی این پژوهش معرفی گونه بومی مناسب برای مدیریت زیستی در شرایط آب و هوایی نیمه خشک می‌باشد به طوریکه گونه پیشنهادی *Salsola richteri* به عنوان گیاه بیش‌اندوز، گونه مناسبی برای غلبه بر تنش آلودگی و رفع آلودگی خاک در محدوده معدن سنگان خواف است.

References

- Abrahams, P.W. (2002). Soils: their implications to human health. *The Science of the Total Environment*, (291), 1-23.
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, M. A. (2013). Phyto extraction of heavy metals – Concepts and applications. *Chemosphere*, (91), 869-881. (In Persian).
- Alizadeh, M., Panahpour, E. & Nazarpour, A. (2018). The Study on the Level of Pollution and Spatial Distribution of Concentrations of Heavy Metals (Cr, Ni, Cu, Pb and Zn) in the Industrial City of Mah-Shahr. *Journal of Natural Environment*, 71(3), 399-412. doi:10.22059/jne.2018.220690.1277. (In Persian).
- Aryafar, A., Doulati Ardejani, F., Mahvi, M.R., & Kiyanoosh, P. (2009). 3rd Conference of Environmental Engineering, Tehran, Iran. (In Persian).
- Aykol, A., Budakoglu, M., Kumral, M., Gultekin, A.H., Turhan, M., Esenli, V., Yavuz, F., & Orgun, Y. (2003). Heavy metal pollution and acid drainage from the abandoned Balya PbZn sulfide mine, NW Anatolia, Turkey, *Environmental Geology*, (45), 198-208.
- Azizah, D., Lestari, F., Kurniawan, D., Melany, W.R., Apriadi, T., & Murtini, S. (2022). Index of environmental pollution and adaptation of *Avicennia marina* around the ex-bauxite mining area in Bintan Island. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Badri, A.R., Haidernia Fathabad, Z. & Kariminia, H.R. (2010). Examining the standards of soil pollution in the world and Iran, the fourth specialized conference and exhibition of environmental engineering, 10 November, Tehran. (In Persian).
- Behrouz, E.M., Abdolkarim, C., Nafiseh, Y., & Bahareh, L. (2008). Identification of the hyper accumulator plants in copper and iron mine in Iran. *Pakistan journal of biological science*, 11(3), 490-492. (In Persian).
- Boonyapookana, B., Upatham, E.S., Kruatrachne, M., Pokethitiyook, P., & Singhakaw, S. (2002). Phytoaccumulation and phytotoxicity of cadmium and chromium in Duckweed *Wolffia globosa*. *International Journal of Phytoremediation*, (4), 87-100.
- Chaney, R.L. (1983). Plant uptake of inorganic waste constituents. In: Parr, J.F., Marsh, P.B., Kla, J.M. (Eds.), *Land Treatment of Hazardous Waste*. Noyes Data Corporation, Park Ridge, NJ: 50– 76.
- Chehregani, A., Noori, M., & LariYazdi, H. (2009). Phytoremediation of heavy-metal polluted soils: Screening for new accumulator plants in Angouran mine (Iran) and evaluation of removal ability. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 72 (5), 1349–1353. (In Persian).
- Chen, T.B., Wong, J.W.C., & Zhou, H.Y. (1997). Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soil of Hong Kong, *Environmental Pollution*, (96), 61-68.
- Deng, H., Ye, Z.H., & Wong, M.H. (2004). Accumulation of lead, zinc, copper and cadmium by 12 wetland plant species thriving in metalcontaminated sites in China, *Environmental Pollution Journal*, 132 (1), 29–40.
- Duman, F., Urey, E., & Koca, F.D. (2015). Temporal variation of heavy metal accumulation and translocation characteristics of narrow-leaved cattail (*Typha angustifolia* L.). *Environmental Science and Pollution Research*, (22), 886- 896.
- Etim, E. E. (2012). Phytoremediation and Its Mechanisms: A Review. *International Journal of Environment and Bioenergy*, 2(3), 120-136.

- Favas, P.J.C. & Pratas, J. (2013). Uptake of uranium by native aquatic plants: potential for bio indication and Phytoremediation. Published by EDP Sciences, E3S Web of conferences in Portugal 1, 13007, 674-677.
- Franco, H., Celis, C., Forero, S., Gurjar, B. R., Jain, A., Sharma, A., Agarwal, A., Gupta, P., Nagpure, A. S., & Lelieveld, J. (2010). Human health risks in megacities due to air pollution. *Atmospheric Environment*, 44(36), 4606-4613.
- Ineel, I.L. (2000). Idaho national engineering and environmental laboratory, U.S. Department of Energy, Chicago.
- Islam, M.S., Ahmed, M.K., Habibullah-Al-Mamun, M., Hoque, M.F. (2014). Preliminary assessment of heavy metal contamination in surface sediments from a river in Bangladesh. *Environmental Earth Sciences*. 2014; 73(4), 1837-48.
- Iyer, P.V.R., Rao, T.R., & Grover, P.D., (2002). Biomass thermo chemical characterization. Indian Institute of Tech., New Dehli.
- Jahantab, E. (2021). Potential of *Gundelia tournefortii* species absorption in heavy metals in rangelands around the Yasouj cement factory. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(4), 733-744. doi: 10.22092/ijrdr.2021.125280. (In Persian).
- Jahantab, E., & Najmeddin, A. (2021). Investigation of Heavy Metal Contamination and Enrichment (Case Study: Shiraz Industrial Town and surrounding Lands). *Journal of Range and Watershed Management*, 74(1), 37-51. doi: 10.22059/jrwm.2021.314260.1549 (In Persian).
- Jarup, I. (2003). Hazards of heavy metal contamination, *British Medical Bulletin*, 68(1), 167-182.
- Javan Siamardi, S., Rezaei Kahkha, M.R., Safaei Moghaddam, A., & Noori, R. (2014). Survey of heavy metals concentration (Fe, Ni, Cu, Zn, Pb) in farmland soils of Sistan Central Part, *Journal of Environmental Health Engineering*, 1(2), 46-53. (In Persian).
- Kafi, M., Borzouee, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masoomi, A. & Nabati, J. (2009). Iranian Academic Center for Education, Culture and Research, Mashhad. p502. (In Persian).
- Kara, Y. (2005). Bioaccumulation of Cu, Zn, and Ni from the wastewater by treated *Nasturirium officinalis*. *International Journal of Science and Technology*, (2), 63-67.
- Keshavarzi, A. & Kumar, V., (2019). Spatial distribution and potential ecological risk assessment of heavy metals in agricultural soils of Northeastern Iran, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 29 (5): 544- 560. (In Persian).
- Khoramnejadian, S.H., Matinfar, F., & Khoramnejadian. S.H. (2013). Phytoremediation of petroleum hydrocarbons by native plants of Damavand region. *Global Journal of Medicinal Plant Research*, 1(1), 8-11. (In Persian).
- Khosravi, V., Doulati Ardejani, F., Yousefi, S., & Aryafar, A. (2018). Monitoring soil lead and zinc contents via combination of spectroscopy with extreme learning machine and other data mining methods, *Geoderma*, (318), 29- 41. (In Persian).
- Kianpour, S., Brokhan, M. & Zanganeh, S. (2014). The necessity of environmental education in placer mines; An example of Sangan Complex. The 7th Conference & Exhibition on Environmental Engineering, Tehran, Iran. (In Persian).
- Knight, B.P., Chaudri, A.M., McGrath, S.P., & Giller, K.E. (1998). Determination of chemical availability of cadmium and zinc in soils using inert soil moisture samplers, *Environmental Pollution*, (99), 293-298.
- Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Singh Sidhu, G.P., Bali, A.S., Bhardwaj, R., & Cerda. A. (2019). Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art, *Chemosphere*, (216), 449- 462.
- Lorestani, B., Cheraghi, M., & Yousefi, N. (2011). Phytoremediation potential of native plants growing on a heavy metals contaminated soil of copper mine in Iran. *World academy science, engineering technology*, (53), 377 -382. (In Persian).
- Luo, W., Lu, Y., Giesy, J.P., Wang, T., Shi, Y., & Wang, G. (2007). Effects of land use on concentrations of metals in surface soils and ecological risk around Guanting Reservoir, China. *Environmental Geochemistry and Health*, 29(6), 459-71.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8 (14), 14-30. Doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
- Manzoor, M.M., Goyal, P., Gupta, A.P., & Gupta, S. (2020). Heavy metal soil contamination and bioremediation. *Bioremediation and Biotechnology*, (2), 221-239.
- McMichael, A.J. (2000). The urban environment and health in a world of increasing globalization: issues for developing countries. *Bulletin of the world Health Organization*, (78), 1117-1126.
- Moameri, M., Jafri, M., Tavili, A., Motasharezadeh, B., & Zare Chahouki, M. (2017). Rangeland plants potential for phytoremediation of contaminated soils with Lead, Zinc, Cadmium and Nickel (Case Study: rangelands around national lead & zinc factory, Zanjan, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 7(2), 160-171. (In Persian).
- Mohamadi, M., Shirvani Mahanim, S., & Haghnia, G.H. (2006). Radishes and cress and study compared absorption of zinc and cadmium in their interactions, Conference on soil, environment and sustainable development, Tehran. (In Persian).

- Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geojournal*, (2), 108-118.
- Naimi, S., & Ayoubi, S. (2013). Vertical and horizontal distribution of magnetic susceptibility and metal contents in an industrial district of central Iran. *Journal of Applied Geophysics*, (96), 55-66. (In Persian).
- Nocito, F., Lancilli, C., Crema, B., Fourcroy, P., Davidian, J., & Attilio Sacchi, G. (2006). Heavy metal stress and sulfate uptake in maize roots. *Journal of Plant Physiology*, (141), 1138- 1148.
- Pombo, L.M., & Rodriguez, O.E. (2018). Phytoremediating Activity of *Baccharis Latifolia* in Soils Contaminated with Heavy Metals. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 9(4), 38-43.
- Rashed, M. (2010). Monitoring of contaminated toxic and heavy metals, from mine tailings through age accumulation, in soil and some wild plants at Southeast Egypt. *Journal of Hazardous Materials*, 178(1), 739-750.
- Saadati, A. (2016). Investigating the environmental effects of the extraction of placer iron ore mines in Sangan Khaf region on water and soil resources. Masters' thesis, Department of Science, The Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad. (In Persian).
- Shafiee, N., Shirani, S.H., & Sfandiarpour, I. (2013). Enrichment of arsenic and selenium in the soils around Sarcheshmeh copper mine. *Soil Management Journal*, 2(1), 1-11. (In Persian).
- Singh, S.P., & Ghosh, M. (2003). A comparative study on effect of cadmium, chromium and lead on seed germination of weed and accumulator plant species. *Indian Journal of Environment Protection*, 23 (5), 513-518.
- Sistani, N., Moeinaddini, M., Khorasani, N., Hamidian, A., Ali-Taleshi, M., & Azimi Yancheshmeh, R. (2017). Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *Journal of Health and Environment*, 10 (1), 75-86. (In Persian).
- Wang, Y., Tao, J., & Dai, J. (2011). Lead tolerance and detoxification mechanism of *Chlorophytum comosum*. *African Journal of Biotechnology*, (10), 14516-14521.
- Zareh reshqueih, M., Hamidian, A.H., & Jabbarian Amiri, B. (2018). Investigating heavy metal pollution in soil and plant (*Astragalus* sp.) in lands around Khotoun Abad melting plant. *Journal of Natural Environment*, 71(2), 185-195. (In Persian).
- Zhuang, P., Yang, Q., Wang, H., & Shu, W. (2007). Phyto extraction of heavy metals by eight plant species in the field. *Water, Air, and soil pollution*, (184), 235- 242.
- Zu, YQ., Li, Y., Chen, JJ., Chen, HY., Qin, L., & Schwartz, C. (2005). Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead -zinc mining area in Yunnan. *China Environment International*, (31), 755 -762.