Research Article

Iranian Journal of Range and Desert Research DOI: 10.22092/ijrdr.2024.131463
Vol. 31, No. 1, Page 53-73 (2024)

Phytoremediation potential of native rangeland species *Artemisia sieberi, Salsola richteri* and *Scariola Orientalis* in remediation of soils contaminated with heavy metals (Khaf mines, Khorasan Razavi province)

S. Souri[1*], M. Bayat[2], S. Nateghi[3] and P. Ashouri[3]

1*-Corresponding author, Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, E-mail: souri@rifr-ac.ir
2- Research expert, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran
3- Assistant Professor, Rangeland Research Division, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran

Received: 11/08/2023 Accepted: 05/14/2024

Abstract

Background and Objectives:

Heavy metals are major soil pollutants due to their toxicity and persistence. Mining activities are a significant source of pollution in natural ecosystems. With its numerous mines, the Khaf region is a case in point. Identifying plants capable of absorbing metals from contaminated soils is crucial for phytoremediation efforts. This study investigated the phytoremediation potential of three plant species – *Artemisia sieberi*, *Salsola richteri*, and *Scariola orientalis* – in the iron mine area of Khaf city, Razavi Khorasan province, Iran.

Methodology:

All plant species were first surveyed at distances 500, 1000, and 3000 meters from the mine to determine the dominant vegetation type. Three species belonging to this dominant type were then selected for heavy metal analysis. Plant samples were collected from different parts (leaves, roots) of these dominant species, along with soil samples from around their roots, at varying distances from the mine and in the direction of the prevailing wind. A total of 36 plant and 36 soil samples were analyzed for copper, iron, and lead using inductively coupled plasma (ICP) to determine metal contamination levels. Plant remediation potential was assessed using various phytoremediation indicators.

Results:

Significant differences in phytoremediation indicators were observed among the plant species. Salsola richteri exhibited the highest bioconcentration factors (BCF) for lead (1.38), iron (1.37), and copper (1.99), and the highest bioaccumulation coefficients (BAC) for lead (1.55), iron (1.72), and copper (1.95). This indicates Salsola richteri's strong ability to accumulate these metals.

The highest lead soil pollution index (2.64) was found around *Artemisia sieberi*, signifying moderate lead pollution exceeding natural levels in this plant's habitat. The highest iron contamination was observed in the soil around *Artemisia sieberi* and *Scariola orientalis*.

Conclusion:

Copyright: © 2024 by the authors. This is an open access, peer-reviewed article published by Research Institute of Forests and Rangelands (http://ijrdr.areeo.ac.ir/) and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License(http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Metal concentrations in shoots, roots, and soil were highest at 500 meters from the mine and decreased with increasing distance. Soil analysis revealed higher average concentrations of the studied elements compared to global soil values. Notably, high concentrations of copper (490 mg/kg), lead (343 mg/kg), and iron (49000 mg/kg) were observed.
At 500 meters from the mine, Salsola richteri displayed BCF values of 1.4, 1.5, 1.45, and 1.02 for lead, iron, copper, and BAC values of 1.7, 1.8, 1.4, and 1.34, respectively. Based on these results, *Salsola richteri* shows promise as a suitable plant for decontaminating soils in the Khaf mine area.

Keywords: Rangeland species, heavy metals, bioremidiation, soil pollution, Khaf city.

ظرفیت گیاه‌پالایی گونه‌های مرتعی *Artemisia sieberi* و *Salsola richteri* و *Scariola orientalis* در پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین (معادن سنگ آهن خواف استان خراسان رضوی)

مهشید سوری[۱*]، مینا بیات[۲] ، سعیده ناطقی[۳] و پروانه عشوری[۳]

۱*-نویسنده مسئول، استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیک: souri@rifr-ac.ir

۲-پژوهشگر بخش مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات مرتع، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۲۵

چکیده

سابقه و هدف

فلزات سنگین به دلیل سمیت و پایداری در محیط‌زیست، یکی از مهمترین آلاینده‌های خاک محسوب می‌شوند. معادن عموماً از منابع آلوده‌کننده اکوسیستم‌های طبیعی هستند و منطقه خواف با داشتن معادن متعدد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بنابراین شناسایی گیاهان مرتعی که دارای توانایی در جذب فلزات از خاک‌های آلوده و پالایش خاک‌های آلوده این منطقه باشند، حائز اهمیت است. در این راستا، این پژوهش، به منظور بررسی ظرفیت گیاه‌پالایی گونه‌های گیاهی Artemisia sieberi و Salsola richteri و Scariola orientalis در محدوده معادن سنگ آهن شهرستان خواف در استان خراسان رضوی انجام شد.

مواد و روش‌ها

در ابتدا برای تعیین تیپ غالب پوشش‌گیاهی و تعیین نقاط نمونه‌برداری از گیاه، تمامی گونه‌های گیاهی منطقه (در فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متری از معدن) پایش شدند و بعد سه گونه گیاهی متعلق به تیپ غالب پوشش‌گیاهی منطقه به منظور تعیین میزان عناصر سنگین به عنوان گونه‌های مورد بررسی، در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد، از بخش‌های مختلف سه گونه گیاهی غالب منطقه و خاک اطراف ریشه آنها در فواصل مختلف یادشده از معدن در جهت باد غالب منطقه نمونه‌برداری شد. بعد از عملیات نمونه‌برداری از گیاه و خاک، نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین عناصر فلزی در برگ، ریشه و ریزوسفر آنها ارزیابی گردید. شایان ذکر است، در مجموع در ۳۶ نمونه گیاهی و در ۳۶ نمونه خاک، عناصر مس، آهن و سرب بررسی شد. برای اندازه‌گیری میزان آلودگی به فلزات در نمونه‌های برداشت شده، از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی استفاده شد. سپس، به منظور ارزیابی و بررسی توانایی گیاهان انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات مختلف یادشده، چند شاخص مختلف گیاه‌پالایی بررسی شد.

نتایج

نتایج تحقیق نشان داد، پوشش‌های گیاهی مختلف از نظر شاخص‌های مختلف گیاه‌پالایی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر دارند، به‌طوری‌که بیشترین میزان شاخص‌های تغلیظ زیستی BCF سرب (۱/۳۸)، آهن (۱/۳۷) و مس (۱/۹۹) و BAC سرب (۱/۵۵)، آهن (۱/۷۲) و مس

(۱/۹۵) مربوط به پوشش گیاهی Salsola richteri است که قابلیت تجمعی بالای این گیاه را در جذب سرب، آهن و مس نشان می‌دهد. بیشترین میزان شاخص آلودگی خاک سرب (۲/۶۴) در خاک اطراف پوشش گیاهی Artemisia sieberi گزارش گردید که نشان می‌دهد مقدار سرب نسبت به مقدار طبیعی آن در محیط رویشگاهی این گونه بالاتر است و در وضعیت آلودگی متوسط سرب قرار می‌گیرد. همچنین بیشترین میزان آلودگی عنصر آهن مربوط به خاک اطراف گونه‌های Artemisia sieberi و Scariola orientalis می‌باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین میزان غلظت فلزات شاخساره، فلزات ریشه و فلزات خاک به ترتیب در فواصل ۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری از معدن مشاهده شد. براساس نتایج بخش خاک مشخص گردید که میانگین غلظت عناصر مورد بررسی بیشتر از مقادیر غلظت این عناصر در خاک‌های جهانی است. از این‌رو، غلظت زیاد عناصری مانند مس با میزان ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب با میزان ۳۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آهن با میزان ۴۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. شایان ذکر است در گونه Salsola richteri شاخص تغلیظ زیستی BCF فلزات سرب، آهن و مس در فاصله ۵۰۰ متری به ترتیب برابر ۱/۴، ۱/۵، ۱/۴۵ و ۱/۰۲ می‌باشد و شاخص تغلیظ زیستی BAC فلزات سرب، آهن و مس در فاصله ۵۰۰ متری به ترتیب برابر ۱/۷، ۱/۸، ۱/۴ و ۱/۳۴ است. بنابراین، با توجه به نتایج، می‌توان از گونه گیاهی Salsola richteri به عنوان گیاه بیش‌اندوز در رفع آلودگی خاک معادن خواف استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: گونه‌های مرتعی، فلزات سنگین، تغلیظ زیستی، آلایندگی خاک، شهرستان خواف

مقدمه

توسعه صنعت و معدن باعث رهاسازی شدید فلزات در محیط‌زیست شده و مشکلات جدی برای محیط‌زیست و سلامتی بشر ایجاد کرده است. وجود فلزات در محیط‌زیست نتیجه فعالیت‌های طبیعی خاکسازی و انسان‌ساخت است (Khan *et al*., 2008). معدن‌کاری در بخش خصوصی عمدتاً به علت عدم بازسازی محیط پس از استخراج و روش‌های نادرست استفاده از خاک، موجبات فرسایش شدید و آلودگی آن را فراهم کرده است. سالانه هزاران تن از این عناصر که ناشی از فعالیت‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است، وارد خاک می‌شود (Ahmadi, 2012). مشکلات زیست محیطی ناشی از حضور فلزات در محیط ناشی از پایداری آنها در محیط‌زیست است. البته، این عناصر برخلاف مواد آلی آلاینده‌ها از طریق فرایندهای شیمیایی و زیستی قابل تجزیه نیستند. این فلزات پس از ورود به بدن جانداران در بافت‌های بدن موجودات زنده مجتمع شده و در غلظت‌های بسیار بیشتری در سطوح بالاتر زنجیره غذایی انباشته می‌شوند (Jarup, 2003). بنابراین تعیین غلظت فلزات محلول در خاک و قابل انتقال به گیاهان، لازم و ضروریست (Chojnacka *et al*., 2005). آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین روش برای پاک‌سازی خاک‌های آلوده را روش تصفیه در محل آلودگی (in situ) معرفی کرده است (Norouzihajiabdal, 2013). اصطلاح عمومی «گیاه‌پالایی» متشکل از پیشوند یونانی phyto به‌معنای گیاه و ریشه لاتین remedium به معنی اصلاح و یا حذف مواد زیان‌آور می‌باشد. محققان سازوکارهایی که به‌وسیله گیاهان می‌توانند توده آلاینده‌ها را در خاک، رسوبات و آب تحت تأثیر قرار دهند، شناسایی کرده‌اند که عبارتند از: استخراج گیاهی، تبخیر گیاهی، تجزیه گیاهی، تصفیه ریشه‌ای، تثبیت گیاهی، کنترل هیدرولیکی و تجزیه‌ریشه‌ای (Van Epps, 2006). از میان تمامی سازوکارها، تجزیه ریشه‌ای مناسب‌ترین روش برای از بین بردن آلاینده‌های آلی می‌باشد (Khoramnejadian *et al*, 2013). از مطالعات انجام شده در زمینه فلزات سنگین، می‌توان به مطالعات Moameri و همکاران (۲۰۱۶) (ارزیابی

پتانسیل گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاکهای آلوده به سرب و روی (اراضی مرتعی اطراف شرکت سرب و روی زنجان)؛ Saba و همکاران (۲۰۱۵) (توانایی گیاهان بومی اطراف مراکز صنعتی استان زنجان برای انباشت فلزات سنگین) و Wu و همکاران (۲۰۲۱) (اثرات متنوع کاشت گیاهان در اصلاح آلودگی فلزات سنگین در خاک شهری اصلاح شده با لجن فاضلاب) اشاره کرد. در این راستا، Hamidian و همکاران (۲۰۱۵) در تالاب انزلی بر روی قابلیت گیاه‌پالایی لاله تالابی برای پالایش فلزات سنگین (مس، کروم، سرب، آرسنیک و کادمیوم) تحقیق کردند. آنان نتیجه گرفتند که لاله تالابی قابلیت بالایی در جذب فلزات مذکور از خود بروز داده است و می‌تواند به عنوان یک گونه ارزشمند برای اهداف گیاه‌پالایی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، Hashemi (۲۰۲۰) در استان یزد، ظرفیت تولید علوفه و گیاه‌پالایی وتیور در اگرواکوسیستم‌های شور را بررسی کرد. ایشان نتیجه گرفت که این گیاه حد بالایی از عناصر مختلف را در خاک تحمل کرده و به میزان قابل توجهی فلزات سنگین در خاک و آب را مانند آرسنیک، کادمیم، کروم، نیکل، سرب، جیوه و سلنیوم را جذب و در بافت‌های خود ذخیره می‌کند. ایشان بیان کرد با توجه به ظرفیت بالای وتیور در جذب فلزات سنگین، کشت این گیاه به عنوان یک گونه با ارزش اقتصادی بالا در اگرواکوسیستم‌های شورورزی قابل طرح است. در تحقیقی دیگر نیز، Moameri و همکاران (۲۰۱۷) به منظور ارزیابی ظرفیت گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به سرب، روی، کادمیوم و نیکل، تحقیقی در مراتع اطراف شرکت ملی سرب و روی زنجان انجام دادند، گونه‌های مناسب بیش‌اندوز را به منظور گیاه‌پالایی خاک مراتع اطراف شرکت ملی سرب و روی ایران زنجان معرفی کردند. همچنین، در تحقیقی دیگر نیز، Moameri و Dadjoo (۲۰۱۹) به منظور ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی Boiss *aucheri* *Artemisia* در خاکهای آلوده به فلزات سنگین در محیط گلخانه انجام دادند و چنین نتیجه گرفتند که این گونه می‌تواند در بهبود گیاه‌پالایی سرب، کادمیوم، روی و نیکل در خاکهای آلوده مورد استفاده قرار گیرد.

از آنجا که معادن خواف از مهمترین معادن فعال استان خراسان رضوی می‌باشد، بررسی آلودگی خاک و گیاهان منطقه از نظر دسترسی زیستی و تجمع فلزات مختلف در گیاهان و خاک‌های اطراف معادن ضروری به نظر می‌رسد. بر همین اساس، در این پژوهش ظرفیت گیاه‌پالایی برخی گیاهان مرتعی غالب محدوده معادن سنگ آهن خواف بررسی شد.

مواد و روش‌ها

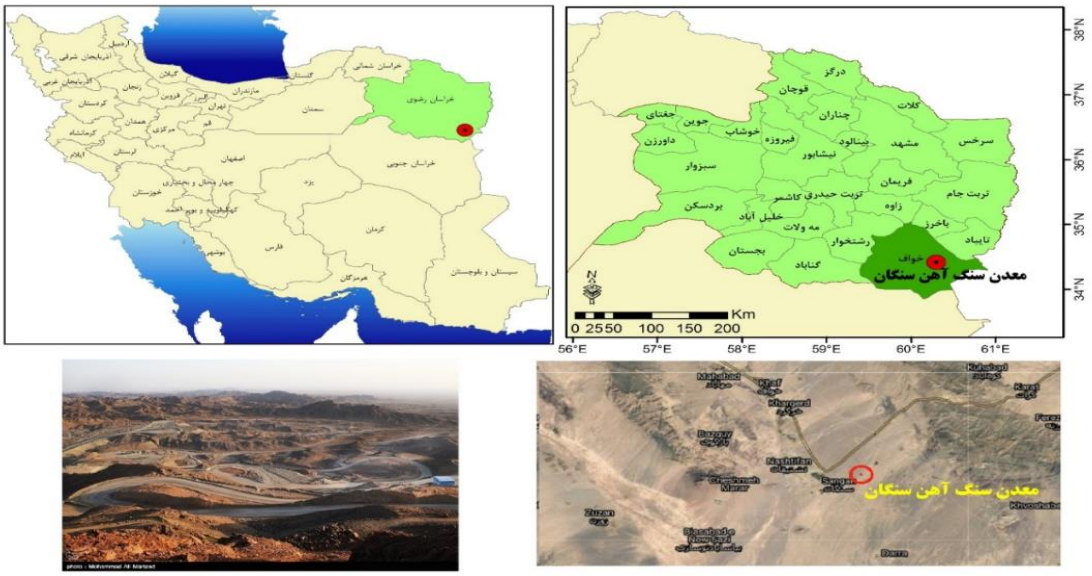
خصوصیات منطقه مورد مطالعه

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. معادن سنگ آهن سنگان خواف در مجموع با ذخیره یک میلیارد تن، یکی از ۱۰ معدن بزرگ سنگ آهن جهان است که تأمین‌کننده خوراک اولیه برای تولید ۱۷ میلیون تن کنسانتره، ۱۵ میلیون تن گندله و پنج میلیون تن سنگ آهن می‌باشد. معادن سنگان به دلیل حجم ذخیره بالا و عیار خوب اهمیت زیادی داشته و از آن به عنوان عسلویه شرق کشور نام برده می‌شود. عرصه مورد مطالعه در شهرستان خواف و در منطقه استپی قرار گرفته است، پوشش مرتعی این منطقه از تنوع گیاهی کمی برخوردار است و به‌طور عمده گونه‌های مربوط به جنس‌های *Artemisia* spp و *Salsola* spp پوشش‌گیاهی غالب منطقه را تشکیل می‌دهند. مقادیر دمای متوسط بلندمدت برابر ۱۸ درجه سانتی‌گراد، بارندگی بلندمدت ۱۱۹/۹ میلی‌متر و میانگین حداقل دما در سردترین ماه سال ۴/۲- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برخی خصوصیات خاک‌شناسی منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- برخی خصوصیات خاک‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Table 1- Some soil characteristics of the study area

land use	erosion	soil structure	texture	Drainage depth
پوشش مرتعی با گونه غالب درمنه	فرسایش آبی سطحی متوسط و شیاری کم تا متوسط	دانه‌ای تا فشرده با سنگریزه ریز و درشت و قلوه سنگ	خاک معدنی با بافت متوسط	خاک کم عمق تا نیمه عمیق همراه با سنگریزه با زهکشی متوسط



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

Figure 1- Geographical location of Khaf in Razavi Khorasan province and Iran

روش تحقیق

انتخاب گیاه و نحوه نمونه‌برداری:

در ابتدا برای تعیین تیپ غالب پوشش‌گیاهی و تعیین نقاط نمونه‌برداری از گیاه، تمامی گونه‌های گیاهی منطقه (در فواصل ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری از معدن) پایش شدند و سه گونه گیاهی متعلق به تیپ غالب پوشش‌گیاهی منطقه، به منظور تعیین میزان عناصر سنگین و تعیین درجه آلودگی، به عنوان گونه‌های مورد پژوهش در نظر گرفته شدند. در مرحله بعد، نمونه‌برداری ترکیبی (از بخش‌های مختلف شامل: برگ، اندام هوایی و ریشه) سه گونه گیاهی غالب منطقه خواف و خاک اطراف ریشه گونه‌ها، در امتداد ۳ ترانسکت در هریک از فواصل یادشده به مرکزیت از معدن و در جهت باد غالب منطقه انجام شد. بعد از عملیات نمونه‌برداری از گیاه و خاک، برای اندازه‌گیری میزان آلودگی به فلزات در نمونه‌های برداشت شده، از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی استفاده شد. سپس، به منظور ارزیابی و بررسی توانایی گیاهان انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات مختلف، چند شاخص مختلف گیاه‌پالایی بررسی گردید. شایان ذکر است که در مجموع ۳۶ نمونه گیاهی و ۳۶ نمونه خاک بررسی شد.

تجزیه آزمایشگاهی:

به‌منظور بررسی غلظت عناصر خاک و میزان تأثیر معدن‌کاری بر افزایش عناصر آلاینده منطقه، غلظت عناصر مس، آهن و سرب ریشه و برگ گونه‌های غالب نمونه‌برداری شده و غلظت

عناصر یادشده در خاک با استفاده از دستگاه پلاسمای جفت شده القایی ICP-OES(Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy) تعیین شد. در این تحقیق بررسی عناصر مس، آهن و سرب، براساس نتایج مطالعات «اثرات زیست محیطی برداشت از معادن سنگ آهن خواف» که توسط اداره کل حفاظت محیط‌زیست انجام شده بود، انتخاب گردید (Hafizi Moghadis and Bagherzadeh, 2013). همچنین، مقایسه داده‌های بدست آمده از خاک با مقادیر استاندارد بین‌المللی براساس اطلاعات ارائه شده در جدول (۸) انجام شد.

محاسبه کارایی گیاه‌پالایی:

به منظور ارزیابی و بررسی توانایی گیاه انتخاب شده در پاکسازی محیط از فلزات مختلف، چند شاخص به شرح ذیل بررسی شدند (Moameri *et al*, 2017).

فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی و ریشه (BCF (Bio-Concentration Factor)) و (BAC (Biological Absorption Coefficient)

برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی اندام هوایی (BAC) از نسبت غلظت فلزات در بخش هوایی خشک گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده شد و برای تعیین فاکتور تغلیظ زیستی ریشه (BCF) از نسبت غلظت فلزات در بخش خشک ریشه گیاه به غلظت این فلزات در خاک استفاده گردید (Zhuang *et al*., 2007, Behrouz *et al*., 2008; Lorestani *et al*., 2011; Zu *et al*., 2005; Cheraghi *et al*., 201 Favas and pratas, 2013; Ali *et al*., 2013). معمولاً فاکتور تغلیظ زیستی بیشتر از یک، نشان‌دهنده قابلیت تجمعی بالای گیاه در جذب فلزات است (Boonyapookana, 2002).

فاکتور آلودگی (CF)

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

$$CF= [C]sample/ ([C]background$$

در این رابطه، CF فاکتور آلودگی، [C]sample غلظت عنصر مورد بررسی و [C]background غلظت عنصر مبنا در نمونه

مرجع است. خاک‌ها از نظر آلودگی به فلزات سنگین براساس فاکتور آلودگی به ۴ گروه $CF<1$ (آلودگی کم)، $1 < cf < 3$(آلودگی متوسط)، $3 \leq cf < 6$ (آلودگی بالا) و $cf \geq 6$ (آلودگی بسیار بالا) تقسیم می‌شوند (Luo *et al*, 2007).

تحلیل‌های آماری:

داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار پایگاه اطلاعاتی Excel دسته‌بندی و نمودارهای مربوط تهیه شد. در این تحقیق تحلیل‌های آماری انجام شده برای خاک و گیاه با نرم‌افزار آماری SPSS ver22. براساس 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 تحلیل داده‌ها توزیع نرمالی آنها از طریق آزمون کلموگراف– اسمیرنف بررسی شد.

نتایج

تجزیه واریانس عنصرهای مختلف براساس طرح اسپلیت پلات

الف– عنصر سرب

با توجه به نتایج جدول ۲، مشخص گردید که فاکتورهای مختلف غلظت سرب شاخساره، غلظت سرب ریشه، غلظت سرب خاک، BCF (سرب)، BAC (سرب) و CF (سرب) در پوشش‌های گیاهی مختلف *Scariola orientalis, Artemisia sieberi* و *Salsola* richteri, و همینطور فاصله‌های متفاوت از

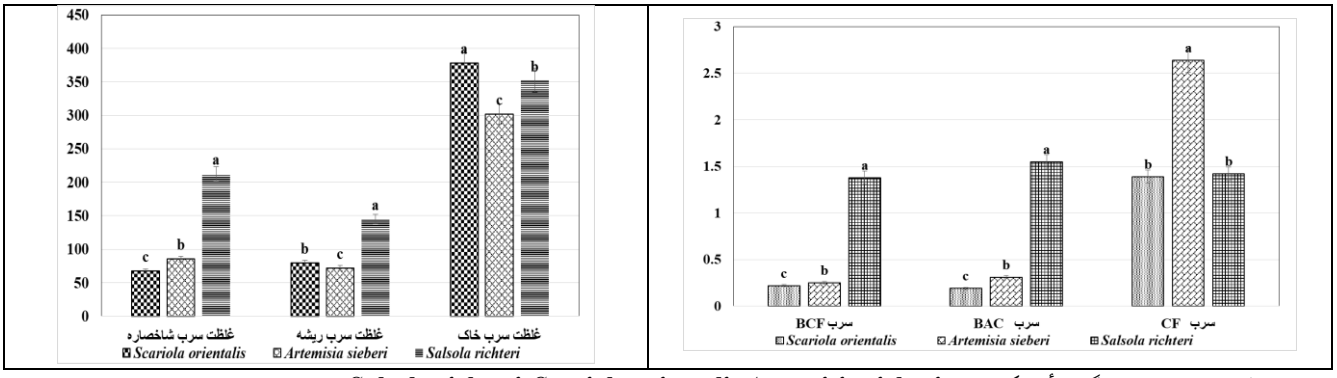
معدن در سطح یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین مشخص شد که فاکتورهای مختلف یادشده عنصر سرب از نظر اثرهای متقابل پوشش گیاهی در فاصله از معدن در سطح یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* و اصل مختلف معدن سنگان خواف بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب براساس طرح اسپلیت پلات

Table 2-Variance analysis of the effect of Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri species and different distances of Sangan Khaf mine on different factors of pb element based on split plot design

Source	DF	(CF) pb	(BCF) pb	(BAC) pb	Shoot pb concentration	root pb concentration	soil pb concentration
		F	F	F	F	F	F
Vegetation	2	104.2**	111.1**	147.6**	147.6**	152.12**	59.2**
Repetition	2	.47	2.4	.18	.18	2.6	.33
Distance from the mine	3	113.7**	99.7**	80.12**	80.12**	125.69**	141.5**
Distance * Repeat (Main error)	6	.64ns	.60ns	.71ns	.71ns	.51ns	.85ns
vegetation * distance	6	88.03**	9.6**	9.76**	9.76**	19.56**	16.54**
Minor error	16						

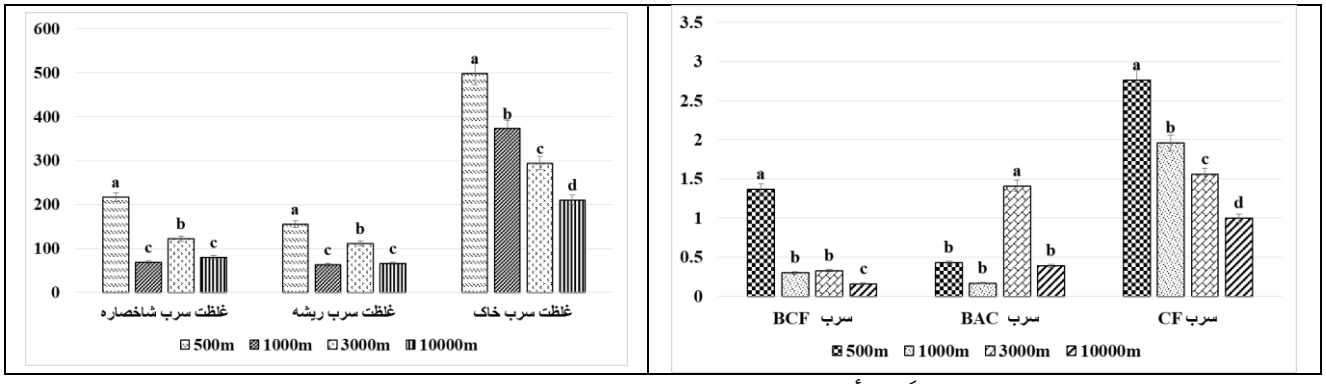
مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب با استفاده از آزمون دانکن در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج شکل ۲ مقایسات میانگین نشان داد، پوشش گیاهی مختلف تأثیر معنی‌داری بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب دارند.



شکل ۲- مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های ***Salsola richteri ،Scariola orientalis,Artemisia sieberi*** بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب

Figure 2-Comparison of the average effect of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species on different factors of pb elemen

مقایسه میانگین تأثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن برای عنصر سرب در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- میانگین تأثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب

Figure 3- The average effect of different distances from the mine on different factors of pb element

نتایج شکل ۳ نشان داد، فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب تأثیر معنی‌داری دارد. به این صورت که در مورد غلظت سرب شاخساره و غلظت سرب ریشه بیشترین میزان در فاصله ۵۰۰ متر از معدن مشاهده شد. برای فاکتورهای غلظت سرب خاک و سرب CF، تفاوت معناداری در فواصل مختلف از معدن نشان داده شد. برای فاکتور BCF (سرب) بیشترین مقدار در فاصله ۵۰۰ متری مشاهده شد. برای فاکتور BAC (سرب) بیشترین مقدار در فاصله ۵۰۰ متری مشاهده شد و تفاوت معناداری در فواصل ۵۰۰، ۳۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری مشاهده نشد.

ب- عنصر آهن

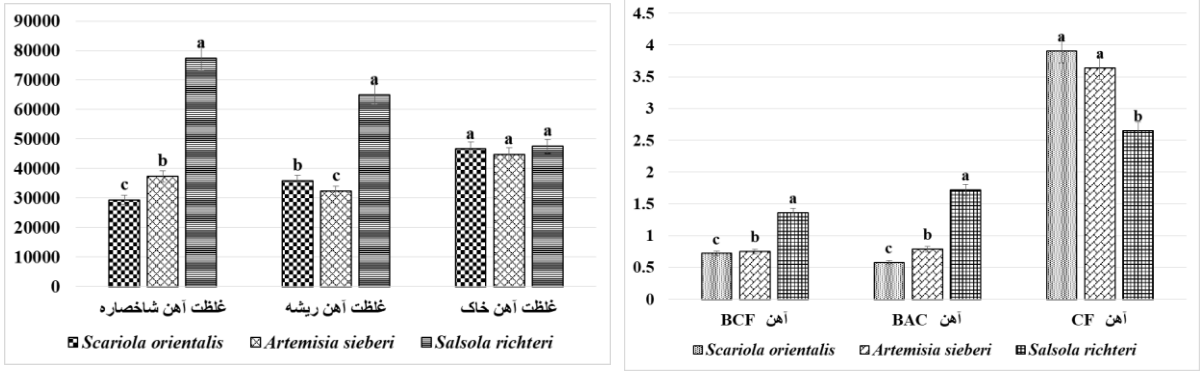
با توجه به نتایج جدول ۳، مشخص گردید که فاکتورهای مختلف غلظت آهن شاخساره، غلظت سرب ریشه، غلظت آهن خاک، BCF (آهن)، BAC (آهن) و CF (آهن) در پوشش‌های گیاهی مختلف *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* و همینطور فاصله‌های متفاوت از معدن در سطح یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف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

جدول ۳- تجزیه واریانس تأثیر گونه‌های ***Salsola richteri, Scariola orientalis, Artemisia sieberi,*** و فواصل مختلف معدن سنگان خواف بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن براساس طرح اسپلیت پلات

Table 3 - Analysis of the variance of the effect of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species and different distances of Sangan Khaf mine on different factors of Fe element based on split plot design

Source	DF	(CF) Fe	(BCF) Fe	(BAC) Fe	Shoot Fe concentration	root Fe concentration	soil Fe concentration
		F	F	F	F	F	F
Vegetation	2	9.6^{**}	220.24^{**}	37.17^{**}	95.14^{**}	250.75^{**}	1462.88^{**}
Repetition	2	1.09	3.38	1.31	0.016	2.68	7772.02
Distance from the mine	3	25.24^{**}	34.11^{**}	1.44^{ns}	43.25^{**}	224.5^{**}	156530.07^{**}
Distance * Repeat (Main error)	6	1.70^{ns}	3.65^{*}	0.73^{ns}	0.92^{ns}	0.51^{ns}	1469.27^{*}
vegetation * distance	6	8.55^{**}	8.34^{**}	1.85^{ns}	0.38^{ns}	19.4^{**}	51.394^{**}
Minor error	16						

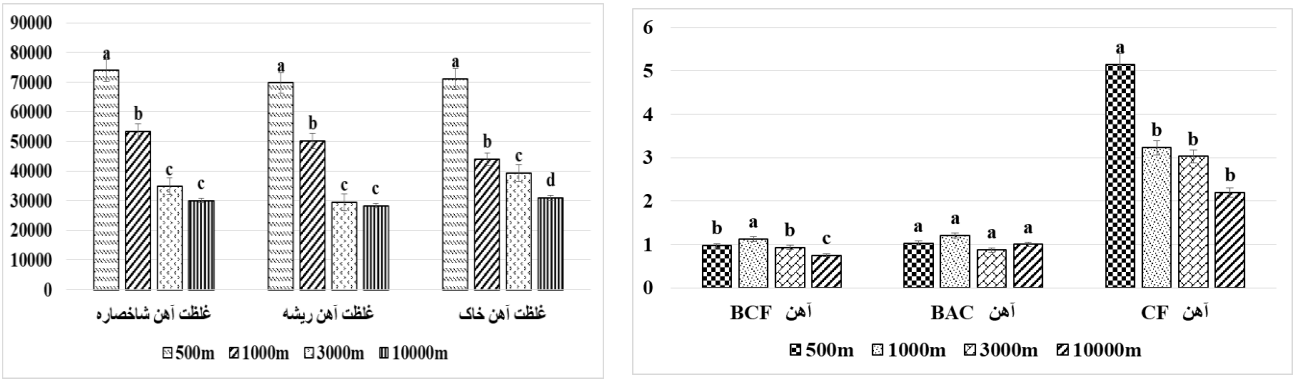
مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi* ،*Salsola richteri* بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن با استفاده از آزمون دانکن در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های ***Scariola orientalis,Artemisia sieberi* ،*Salsola richteri*** بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن

Figure 4- Mean Comparison of the average effect of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species on different factors of Fe element

نتایج شکل ۴ مقایسات میانگین نشان داد، پوشش گیاهی مختلف تأثیر معنی‌داری بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن دارند، به‌طوری‌که بیشترین غلظت آهن شاخساره، BCF آهن و BAC آهن مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* و کمترین مربوط به *Scariola orientalis* می‌باشد. پایین‌ترین میزان غلظت آهن ریشه در پوشش *Artemisia sieberi* مشاهده گردید. اما در مورد فاکتور غلظت آهن خاک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مقایسه میانگین تأثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن برای عنصر آهن در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- میانگین تأثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن

Figure 5- The mean effect of different distances from the mine on different factors of Fe element

نتایج شکل ۵ نشان داد، فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن تأثیر معنی‌داری دارد. در مورد غلظت آهن شاخساره، غلظت آهن ریشه و خاک بیشترین میزان در فاصله ۵۰۰ متر از معدن و کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰۰ متری مشاهده شد. برای فاکتور BCF (آهن) کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰۰ متری مشاهده شد. برای فاکتور BAC (آهن) تفاوت معناداری در فواصل مختلف مشاهده نشد. برای فاکتور *CF* (آهن) کمترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰۰ متری مشاهده گردید.

عنصر مس

با توجه به نتایج جدول ۴، مشخص گردید که فاکتورهای مختلف غلظت مس در پوشش‌های گیاهی مختلف و همینطور فاصله‌های متفاوت از معدن در سطح یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. همچنین براساس نتایج جدول ۴، مشخص شد که فاکتورهای غلظت مس شاخساره، BAC از نظر اثرهای متقابل پوشش گیاهی در فاصله از معدن با احتمال ۹۹ درصد با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند.

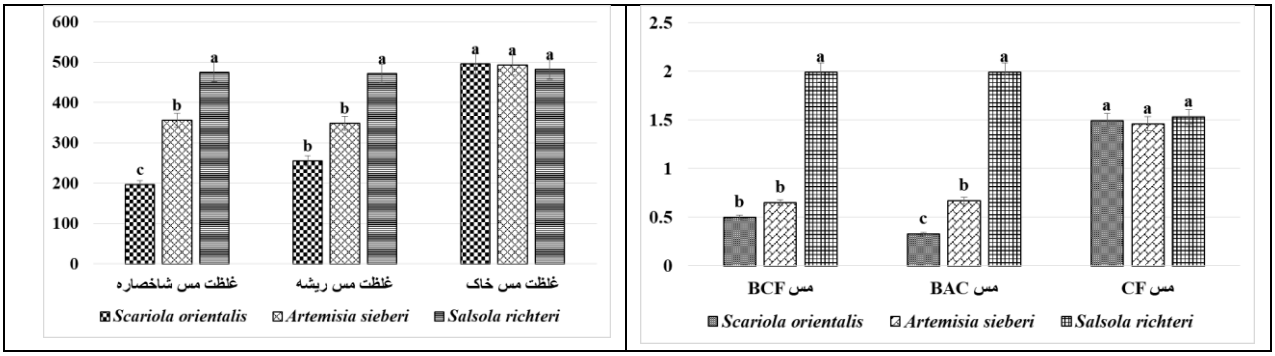
جدول ۴- تجزیه واریانس تأثیر گونه‌های ***Salsola richteri ،Scariola orientalis,Artemisia sieberi*** و فواصل مختلف معدن سنگان خواف بر فاکتورهای مختلف عنصر مس براساس طرح اسپلیت پلات

Table 4 - Variance analysis of the effect *of Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species and different distances of Sangan Khaf mine on different factors of Cu element based on split plot design

Source	DF	(CF) Cu	(BCF) Cu	(BAC) Cu	Shoot Cu concentration	root Cu concentration	soil Cu concentration
		F	F	F	F	F	F
Vegetation	2	0.81^{ns}	18.10^{**}	48.11^{**}	41.66^{**}	9.76^{**}	0.38^{ns}
Repetition	2	10.47	1.3	2.61	2.86	0.98	10.99
Distance from the mine	3	223.10^{**}	5.2^{*}	29.5^{**}	86.31^{**}	21.7^{**}	239.48^{**}
Distance * Repeat (Main error)	6	1.99^{ns}	1.500^{ns}	2.98^{*}	4.95^{**}	0.98^{ns}	2.0719^{*}

Source	DF	(CF) Cu	(BCF) Cu	(BAC) Cu	Shoot Cu concentration	root Cu concentration	soil Cu concentration
		F	F	F	F	F	F
vegetation * distance	6	0.84^{ns}	2.313^{ns}	8.901^{**}	7.75^{**}	1.54^{ns}	0.452^{ns}
Minor error	16						

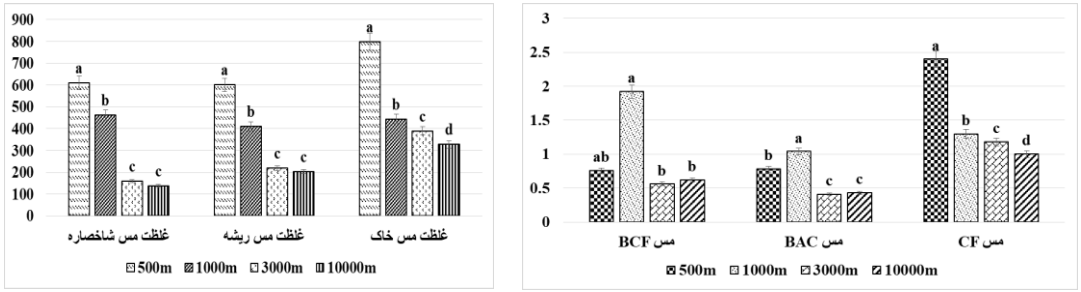
مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های *Scariola orientalis* ،*Artemisia sieberi* ،*Salsola richteri* بر فاکتورهای مختلف عنصر مس با استفاده از آزمون دانکن در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۶- مقایسه میانگین تأثیر گونه‌های ***Salsola richteri* ،*Scariola orientalis* ،*Artemisia sieberi*** بر فاکتورهای مختلف عنصر مس

Figure 6- Mean comparison of the average effect of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species on various factors of Cu element

نتایج شکل ۶ مقایسات میانگین نشان داد، پوشش گیاهی مختلف تأثیر معنی‌داری بر فاکتورهای مختلف عنصر مس دارند، به‌طوری‌که بیشترین غلظت مس شاخساره و BAC مس مربوط به پوشش گیاهی *Salsola richteri* و کمترین مربوط به*Scariola orientalis* می‌باشد. بیشترین میزان غلظت مس ریشه و BCF مس در پوشش گیاهی *Salsola richteri* مشاهده گردید. در مورد فاکتورهای غلظت مس خاک و CF تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. مقایسه میانگین تأثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن برای عنصر مس در نمودار ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- میانگین تأثیر فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر مس

Figure 7 - The mean comparition effect of different distances from the mine on different factors of Cu element

نتایج شکل ۷ نشان داد، فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر مس تأثیر معنی‌داری دارد. در مورد غلظت شاخساره، غلظت ریشه و غلظت خاک و برای فاکتور CF مس، بیشترین میزان در فاصله ۵۰۰ متر از معدن گزارش شد. برای فاکتور BCF (مس) کمترین مقدار در فاصله ۳۰۰۰ متر مشاهده گردید. برای فاکتور BAC (مس) کمترین مقدار در فاصله ۳۰۰۰ متری و ۱۰۰۰۰ متری و بیشترین مقدار در فاصله ۱۰۰۰ متری مشاهده شد.

- مقایسه میانگین تأثیرات متقابل گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* و فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن

- عنصر سرب

بیشترین میزان فاکتورهای غلظت سرب شاخساره، غلظت سرب ریشه، غلظت سرب خاک، BCF سرب و BAC سرب در گونه Sa.ri در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده شد. بیشترین میزان فاکتورهای غلظت سرب خاک و CF سرب در گونه Ar.si در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده شد. در تمامی فاکتورها کمترین غلظت جذب سرب در گونه Sc.or مشاهده شد. کمترین غلظت سرب شاخساره در فاصله ۱۰۰۰ متری از معدن گونه Sc.or دیده شد. کمترین غلظت سرب ریشه در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Ar.si مشاهده شد. کمترین غلظت سرب خاک در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Ar.si مشاهده شد. کمترین میزان غلظت BCF سرب در فاصله ۳۰۰۰ متری گونه Sc.or مشاهده شد. کمترین غلظت BAC سرب در فاصله ۱۰۰۰ متری از معدن گونه‌های Ar.si و Sc.or مشاهده شد.

جدول ۵- مقایسه میانگین تأثیرات متقابل گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* و فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر سرب با استفاده از آزمون دانکن

Table 5-Mean comparison of the interaction of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species on various factors of Cu element

*	Shoot Pb concentration	root Pb concentration	soil Pb concentration	(BCF) Pb	(BAC) Pb	(CF) Pb
11	376.66^{a}	236.0^{a}	517.66^{a}	1.45^{a}	1.72^{a}	1.95^{d}
12	144.33^{c}	97.66^{c}	409.33^{c}	0.23^{gh}	0.35^{ef}	1.54^{e}
13.00	190.00^{b}	137.00^{b}	319.33^{d}	0.42^{ab}	0.59^{b}	1.20^{f}
14.00	139.33^{cd}	108.0^{c}	265.33^{e}	0.40^{bc}	0.52^{bc}	1.00^{g}
21.00	147.6667	106.00^{c}	513.00^{a}	0.20^{h}	0.28^{efg}	4.50^{a}
22.00	37.00^{fg}	51.00^{d}	319.33^{d}	0.16^{i}	0.11^{h}	2.80^{b}
23.00	103.33^{de}	96.00^{c}	260.00^{e}	0.36^{cd}	0.39^{de}	2.28^{c}
24.00	54.33^{fg}	34.33^{e}	114.33^{f}	0.30^{ef}	0.47^{cd}	1.00^{g}
31.00	125.66^{cd}	123.00^{b}	463.66^{b}	0.26^{fg}	0.27^{fg}	1.84^{d}
32.00	25.33^{g}	39.66^{de}	389.00^{c}	0.10^{j}	0.06^{h}	1.54^{e}
33.00	73.33^{ef}	101.66^{c}	303.33^{d}	0.33^{de}	0.24^{fg}	1.20^{f}

❋	Shoot Pb concentration	root Pb concentration	soil Pb concentration	(BCF) Pb	(BAC) Pb	(CF) Pb
34.00	45.33^{fg}	54.33^{d}	252.00^{e}	0.21^{h}	0.17^{gh}	1.00^{g}

❋: اثر متقابل پوشش‌های گیاهی مختلف در فواصل متفاوت از معدن

عدد یکان:۱: *Salsola richteri*، ۲: *Artemisia sieberi* و ۳: *Scariola orientalis*

عدد دهگان:۱: فاصله ۵۰۰ متر از معدن، ۲: فاصله ۱۰۰۰ متر از معدن، ۳: فاصله ۳۰۰۰ متر از معدن، ۴: فاصله ۱۰۰۰۰ متر از معدن

- عنصر آهن

بیشترین میزان فاکتورهای غلظت آهن شاخساره، غلظت آهن ریشه و BCF آهن در گونه Sa.ri در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده شد. بیشترین میزان فاکتور غلظت آهن خاک در فاصله ۵۰۰ متری از معدن در هر سه گونه مشاهده گردید. بیشترین غلظت BAC آهن در گونه Sa.ri در فاصله ۱۰۰۰۰ متری از معدن مشاهده شد. بیشترین غلظت CF آهن در گونه Ar.si در فاصله ۵۰۰ متری از معدن مشاهده گردید. کمترین غلظت آهن شاخساره در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Ar.si و ۱۰۰۰۰ متری گونه Sc.or دیده شد. کمترین غلظت آهن ریشه در فاصله ۳۰۰۰ متری گونه Ar.si مشاهده شد. کمترین غلظت آهن خاک در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Ar.si مشاهده گردید. کمترین میزان BCF غلظت آهن در فاصله ۳۰۰۰ متری گونه Ar.si مشاهده شد. کمترین غلظت BAC آهن در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Sc.or مشاهده شد. کمترین میزان CF آهن در فاصله ۳۰۰۰ متری Ar.si مشاهده شد.

جدول ۶- مقایسه میانگین تأثیرات متقابل گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* و فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر آهن با استفاده از آزمون دانکن

Table 6-Mean comparison of the interaction of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species on various factors of Fe element

❋	Shoot Fe concentration	root Fe concentration	soil Fe concentration	(BCF) Fe	(BAC) Fe	(CF) Fe
11.00	102511.3^{a}	106200.0^{a}	72993.67^{a}	1.45^{a}	1.40^{bc}	2.960^{def}
12.00	82998.66^{b}	61650.0^{b}	45208.66^{b}	1.36^{ab}	1.85^{ab}	2.46^{def}
13.00	60819.33^{c}	48600.0^{c}	40340.33^{b}	1.20^{bc}	1.51^{bc}	2.84^{def}
14.00	63001.66^{c}	43950.0^{c}	31752.00^{cd}	1.42^{a}	2.11^{a}	2.33^{def}
21.00	64450.66^{c}	47725.0^{c}	68614.00^{a}	0.69^{d}	0.93^{cde}	6.98
22.00	45105.66^{de}	43216.0^{c}	42495.66^{b}	1.02^{c}	1.06^{cd}	3.67^{cd}
23.00	23717.00^{fg}	15450.0^{e}	37920.00^{bc}	0.40^{e}	0.62^{de}	1.74^{f}
24.00	16040.33^{g}	22999.3^{d}	29846.66^{d}	0.78^{d}	0.54^{de}	2.19^{def}
31.00	54853.66^{cd}	55350.	71533.33^{a}	0.77^{d}	0.76^{de}	5.52^{b}
32.00	32010.33^{ef}	45695.00^{c}	44304.33^{b}	1.02^{c}	0.72^{de}	3.56^{cde}
33.00	19788.33^{fg}	24431.33^{d}	39533.33^{b}	0.61^{d}	0.50^{de}	4.50^{bc}
34.00	11058.33^{g}	17850.00^{de}	31117.00^{cd}	0.58^{de}	0.35^{e}	2.09^{ef}

❋: اثر متقابل پوشش‌های گیاهی مختلف در فواصل متفاوت از معدن

عدد یکان:۱: *Salsola richteri*، ۲: *Artemisia sieberi* و ۳: *Scariola orientalis*

عدد دهگان:۱: فاصله ۵۰۰ متر از معدن، ۲: فاصله ۱۰۰۰ متر از معدن، ۳: فاصله ۳۰۰۰ متر از معدن، ۴: فاصله ۱۰۰۰۰ متر از معدن

- عنصر مس

بیشترین میزان فاکتورهای غلظت مس شاخساره و غلظت مس ریشه در فاصله ۵۰۰ متری گونه Sa.ri مشاهده شد. بیشترین غلظت مس خاک و Igeo مس و CF مس در فاصله ۵۰۰ متری از معدن در هر سه گونه مشاهده گردید. بیشترین غلظت BCF مس در فاصله ۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری گونه *Sa.ri* و ۱۰۰۰ متری گونه *Ar.si* مشاهده شد. بیشترین غلظت BAC مس در فاصله ۱۰۰۰ متری از معدن در گونه‌های *Sa.ri* و *Ar.si* مشاهده شد. بیشترین غلظت *CF* مس در فاصله‌های ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری هر سه گونه مشاهده گردید. کمترین غلظت مس شاخساره در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه‌های Ar.si و Sc.or دیده شد. کمترین غلظت مس ریشه در فاصله ۳۰۰۰ متری گونه Ar.si و فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Sc.or مشاهده شد. کمترین غلظت مس خاک در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه‌های Sa.ri و Sc.or مشاهده شد. کمترین میزان غلظت BCF مس در فاصله ۳۰۰۰ متری گونه Ar.si مشاهده شد. کمترین غلظت BAC مس در فاصله ۱۰۰۰۰ متری گونه Ar.si و در فواصل ۳۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری در گونه Sc.or مشاهده شد. کمترین میزان CF مس در فاصله ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ متری هر سه گونه مشاهده گردید.

جدول ۷- مقایسه میانگین تأثیرات متقابل گونه‌های *Scariola orientalis,Artemisia sieberi*، *Salsola richteri* و فواصل مختلف از معدن بر فاکتورهای مختلف عنصر مس با استفاده از آزمون دانکن

Table 6-Mean comparison of the interaction of *Scariola orientalis, Artemisia sieberi, Salsola richteri* species on various factors of Cu element

*	Shoot Cu concentration	root Cu concentration	soil Cu concentration	(BCF) Cu	(BAC) Cu	(CF) Cu
11.00	753.33^{a}	755.00^{a}	810.66^{a}	0.954^{a}	0.959^{b}	2.573^{a}
12.00	580.33^{ab}	438.333^{c}	427.33^{bcd}	1.024^{a}	1.347^{a}	1.35^{b}
13.00	278.66^{c}	372.^{33cde}	374.66^{bcd}	0.994^{a}	0.753^{b}	1.19^{b}
14.00	288.66^{c}	320.00^{cdef}	315.33^{d}	1.014^{a}	0.927^{b}	1.00^{b}
21.00	578.66^{ab}	654.333^{ab}	775.00^{a}	0.856^{ab}	0.753^{b}	2.300^{a}
22.00	662.33^{ab}	466.333^{bc}	457.33^{b}	1.014^{a}	1.44^{a}	1.356^{b}
23.00	108.66^{cd}	109.66^{f}	400.66^{bcd}	0.274^{d}	0.27^{cd}	1.190^{b}
24.00	73.66^{d}	163.33^{ef}	337.33^{cd}	0.485^{bcd}	0.217^{d}	1.003^{b}
31.00	499.00^{b}	393.33^{cd}	810.66^{a}	0.488^{bcd}	0.629^{bc}	2.450^{a}
32.00	146.66^{cd}	325.0^{cdef}	449.00^{bc}	0.72^{abc}	0.325^{cd}	1.356^{b}
33.00	90.66^{cd}	173.66^{def}	393.00^{bcd}	0.440^{cd}	0.229^{d}	1.186^{b}
34.00	50.66^{d}	127.00^{f}	331.33^{d}	0.38^{cd}	0.152^{d}	1.00^{b}

*: اثر متقابل پوشش‌های گیاهی مختلف در فواصل متفاوت از معدن

عدد یکان:۱: *Salsola richteri*، ۲: *Artemisia sieberi* و ۳: *Scariola orientalis*

عدد دهگان:۱: فاصله ۵۰۰ متر از معدن، ۲: فاصله ۱۰۰۰ متر از معدن، ۳: فاصله ۳۰۰۰ متر از معدن، ۴: فاصله ۱۰۰۰۰ متر از معدن

غلظت عناصر در خاک‌های جهانی

براساس نتایج جدول (۸) غلظت زیاد عناصری مانند مس با میزان ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب با میزان ۳۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم، آهن با میزان ۴۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

نسبت به میانگین جهانی مس ۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آهن ۴۷۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. غلظت عناصر با بیشینه غلظت مجاز ارائه شده توسط سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست ایران، چین و کانادا نیز مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که غلظت همه عناصر در مقایسه با استانداردهای کشورهای مختلف بیشتر از مقادیر استاندارد می‌باشد.

جدول ۸- غلظت عناصر انتخاب شده در خاک‌های جهانی و استانداردهای سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران، چین و کانادا برای کیفیت خاک (غلظت برای تمام عناصر برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم **(Jahantab and Najmeddin, 2021)**

Table 8- Concentration of elements in Universal soil and standards of china and Canada for soil quality (mg/kg)

(Fe)	(Cu)	(Pb)	Element
49304	490	343	Average
156	19	16	Standard Deviation
24947	300	108	Minimum
74940	944	524	Maximum
47000	14	25	Global soils
3000	-	83	Standard WHO
-	400	80	(ISQGsb) Standard of Iran Environmental Protection Organization
-	100	300	(ChSQGSc) Standard of China Environmental Protection Agency
-	63	140	(CSQGsd) Environmental Protection Agency of Canada standard

بحث

شاخص‌های گیاه‌پالایی

در این تحقیق ظرفیت گیاه‌پالایی گونه‌های گیاهی *Scariola orientalis, Artemisia sieberi* و *Salsola richteri,* در محدوده معادن سنگ آهن شهرستان خواف بررسی شد. نتایج عناصر سرب، آهن و مس نشان می‌دهد. گونه گیاهی *Salsola richteri* دارای سیستم ریشه‌ای بسیار وسیع با گستردگی عمودی و افقی است که می‌تواند نقش بسیار مهمی در فرایند گیاه‌پالایی داشته باشد. استفاده از گیاهان بومی هر منطقه برای پالایش خاکهای آلوده به فلزات سنگین می‌تواند کارآیی گیاه‌پالایی را افزایش دهد، زیرا این گیاهان به شرایط اقلیمی و آلودگی منطقه سازگار بوده و نگهداری آنها ساده‌تر است. بنابراین استفاده از گیاهان بومی هر منطقه با تولید زیست توده بالا و سازگار با شرایط هر منطقه می‌تواند کارآیی گیاه‌پالایی را به‌طور چشمگیری افزایش دهد (Barbosa *et al.*, 2015).

این تحقیق نشان داد که غلظت عناصر آهن، سرب و مس بخش‌های مختلف شامل شاخساره، ریشه، خاک و شاخص‌های مختلف گیاه‌پالایی شامل: BCF، BAC و CF در پوشش‌های گیاهی مختلف *Scariola orientalis, Artemisia sieberi* و *Salsola richteri,* از لحاظ آماری دارای اختلاف معنی‌داری با یکدیگر هستند. با توجه به نتایج نمودارهای مقایسات میانگین، مشخص گردید که بیشترین میزان غلظت عناصر مذکور در قسمت‌های شاخساره و ریشه و از نظر شاخص‌های BCF و BAC مربوط به گونه گیاهی *Salsola richteri* می‌باشد، در حالی که کمترین میزان قابلیت تجمعی مربوط به گونه *Scariola orientalis* است. بیشترین شاخص‌های تغلیظ زیستی BCF سرب (۱/۳۸)، آهن (۱/۳۷) و مس (۱/۹۹) و BAC سرب (۱/۵۵)، آهن (۱/۷۲) و مس (۱/۹۵) در پوشش گیاهی Salsola richteri گزارش شد که قابلیت تجمعی بالای گیاه*Salsola richteri* را در جذب

فاصله‌های ۵۰۰ و ۱۰۰۰۰ متری از معدن مشاهده شد. نتایج این تحقیق 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. همچنین براساس نتایج تحقیق مشخص شد که عناصر سنگین در خاک‌های منطقه نسبت به استانداردهای مختلف بالاتر است و میزان بیش‌اندوزی عناصر آلاینده گونه‌های گیاهی مختلف مورد مطالعه با یکدیگر متفاوت است. شایان ذکر است که شاخص BCF فلزات سرب، آهن و مس گونه *Salsola richteri* در فاصله ۵۰۰ متری به ترتیب برابر ۱/۴، ۱/۵، ۱/۴۵ و ۱/۰۲ می‌باشد و شاخص BAC فلزات سرب، آهن و مس گونه *Salsola richteri* در فاصله ۵۰۰ متری به ترتیب برابر ۱/۷، ۱/۸، ۱/۴ و ۱/۳۴ است که این موضوع نشان‌دهنده توانایی بالای گیاه *Salsola richteri* در انباشتن فلزات سنگین می‌باشد. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که این گیاه می‌تواند به عنوان گیاه بیش‌اندوز فلزات سرب، آهن و مس در محدوده معادن سنگان خواف معرفی گردد. این نتیجه با نتایج محققان دیگر ازجمله Moameri و همکاران (۲۰۱۷) و Siyar و همکاران (۲۰۲۰) مطابقت دارد. آنان نیز بیان کردند گیاهانی که شاخص‌های تغلیظ زیستی در آنها بالاتر از یک باشد، گونه‌های مناسبی برای معرفی شدن به عنوان گیاهان انباشته کننده یا بیش‌اندوز هستند. بنابراین با توجه به نتایج این تحقیق، به نظر می‌رسد که بتوان از *Salsola richteri* در رفع آلودگی خاک معادن سنگان از فلزات سنگین مانند سرب، آهن و مس استفاده کرد. در مورد شاخص CF نیز بیشترین میزان CF سرب (۲/۶۴) در محیط رویش پوشش گیاهی *Artemisia sieberi* گزارش گردید که نشان می‌دهد مقدار سرب نسبت به مقدار طبیعی آن در محیط رویشگاهی این گونه بالاتر است. با توجه به مقدار آن، از نظر این شاخص در وضعیت آلودگی متوسط سرب قرار می‌گیرند. همچنین بیشترین میزان CF عنصر آهن مربوط به محیط رویش در مورد گونه *Salsola richteri* برای فلز سرب که مقدار شاخص‌های تغلیظ زیستی بزرگتر از یک بود، احتمالاً بدلیل ساختار فیزیولوژیک ریشه و ترشحات ریزوسفری گونه گیاهی مورد نظر می‌باشد که در نتیجه آن ترکیبات کمپلکس آلی محلول سرب تشکیل شده که منجر به افزایش تحرک عنصر شده که در نهایت منجر به انتقال بیشتر این عنصر از ریشه به اندام هوایی می‌شود که این نتیجه با نتایج تحقیق tavili و همکاران (۲۰۱۸) که در زمینه پالایش خاک‌های آلوده به فلز سنگین سرب بوسیله گیاهان مرتعی در شرایط گلخانه‌ای انجام دادند، مطابقت دارد. ایشان نیز چنین بیان کردند که ساختار فیزیولوژیک ریشه و ترشحات ریزوسفری گونه‌های گیاهی مرتعی *Stipagrostis plumosa*، *Calotropis L procera* و *Medicago sativa* که از گونه‌های گیاهی بومی منطقه پازنان گچساران هستند، نقش مؤثری در گیاه‌پالایی آنها دارد. در همین راستا (Moameri *et al*., 2017) در تحقیقی که بر روی ظرفیت گیاهان مرتعی برای گیاه‌پالایی خاکهای آلوده به عناصر سرب، روی، کادمیوم و نیکل مراتع اطراف کارخانه ملی سرب و روی زنجان ایران انجام دادند، چنین بیان کردند که گونه‌های مرتعی توانایی گیاه‌پالایی خاک مراتع منطقه مورد بررسی را داشتند. برای نمونه، آنان دریافتند که گونه *Scariola orientalis* به عنوان یک گونه بیش‌اندوز فلز سنگین نیکل، مناسب است. یادآوری می‌شود که کمترین میزان غلظت مس در فاکتور ریشه مربوط به هر دو گونه *Artemisia sieberi* و *Scariola orientalis* می‌باشد که از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد، غلظت عناصر مختلف مس، سرب و آهن برای فاکتورهای شاخساره، ریشه، خاک، BCF، BAC و CF در فاصله‌های متفاوت از معدن در سطح یک درصد (احتمال ۹۹ درصد) با یکدیگر اختلاف معنی‌داری دارند. بیشترین و کمترین میزان فاکتورهای مورد بررسی مانند غلظت فلزات شاخساره، غلظت فلزات ریشه و غلظت فلزات خاک به ترتیب مربوط به

در محیط است. سرب در خاک به شکل ترکیبات انحلال‌ناپذیر مانند کربنات، سولفات و فسفات حضور دارد. به‌طورکلی غلظت عنصر سرب در لایه‌های سطحی خاک بیش از لایه‌های عمقی است و با افزایش عمق خاک غلظت این عنصر کاهش می‌یابد. میزان غلظت آهن و مس خاک در هر سه گونه مورد بررسی یکسان بود و هر سه در گروه a قرار گرفتند و از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند. به‌طورکلی نتایج این تحقیق حکایت از این دارد که هرچه فاصله به معدن نزدیک‌تر می‌شود (در فواصل ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری از معدن)، میزان آلودگی خاک نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد، به‌طوری‌که بیشترین میزان عناصر مس، آهن و سرب به ترتیب ۷۹۸، ۷۱۰۴ و ۴۹۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در فاصله ۵۰۰ متری از معدن گزارش شد. این نتایج مؤید این مطلب است که فعالیتهای صنعتی ناشی از معادن سنگ آهن شهرستان خواف منجر به افزایش فلزات سنگین مس، سرب و آهن در منطقه مورد مطالعه شده است. دلایل این آلودگی را می‌توان چنین توجیه کرد که فعالیت‌های معادن در اراضی صنعتی و فرونشست‌های جوی حاصل از آنها در افزایش میزان این عناصر تأثیرگذار هستند. معدن‌کاری به‌ویژه در مناطق روباز موجب بلند شدن مقادیر بسیاری خاک و گردوغبار می‌شود. همچنین، این معادن روباز دارای ترکیبات سنگین و سولفیدی است و با آمدن باران می‌تواند وارد چرخه‌های زیرزمینی شده و سبب آلودگی گردد. شایان ذکر است که عناصر روی، سرب، مس و نیکل با منشأ لیتوژنیک مشخص می‌گردند و عناصر آرسنیک و آهن با منشأ آنتروپوژنیک (فعالیت‌های معدن‌کاری) مرتبط هستند (*Saadati*, 2016). Shahriyar و همکاران (۲۰۰۳) نیز در تحقیقی که بر روی آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از عملیات استخراج در معادن سنگ آهک سعیدی انجام دادند، بیان کردند که فعالیت‌های معدن‌کاری همانند بیشتر صنایع باعث آلودگی‌های محیط‌زیست می‌شود و این موضوع واکنش جوامع نسبت به فعالیت‌های معدنی را تشدید می‌کند. در همین راستا گونه‌های *Artemisia sieberi* و *Scariola orientalis* می‌باشد. با توجه به مقدار آن، از نظر این شاخص در وضعیت آلودگی متوسط تا زیاد قرار می‌گیرد و در مورد شاخص CF مس نیز پوشش‌های گیاهی مختلف، تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند و هر سه گونه گیاهی در گروه b قرار گرفتند. شاید علت این موضوع را بتوان چنین توجیه کرد که فعالیت‌های معدنی، بیشتر باعث ایجاد آلودگی در منابع آب و خاک می‌شوند و عناصر سنگین را وارد محیط‌های طبیعی می‌کنند که با نتایج تحقیق (Abbaszadeh-Dahaji *et al*., 2019) همخوانی دارد.

غلظت فلزات سنگین در خاک

براساس نتایج بخش خاک مشخص گردید که میانگین غلظت اغلب عناصر مورد بررسی بیشتر از مقادیر غلظت این عناصر در خاک‌های جهانی است. از این میان، غلظت زیاد عناصری مانند مس با میزان ۴۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب با میزان ۳۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آهن با میزان ۴۹۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به میانگین جهانی مس ۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم، سرب ۲۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و آهن ۴۷۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قابل توجه است. غلظت عناصر با بیشینه غلظت مجاز ارائه شده توسط سازمان‌های حفاظت محیط‌زیست ایران، چین و کانادا نیز مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که غلظت همه عناصر در مقایسه با استانداردهای کشورهای مختلف بیشتر از مقادیر استاندارد می‌باشد. این موضوع نقش منابع انسان‌ساز در افزایش غلظت عناصر را نشان می‌دهد. بالاترین و پایین‌ترین مقدار غلظت سرب خاک به ترتیب به میزان ۳۷۷/۹ و ۳۰۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مربوط به گونه‌های *Scariola orientalis* و *Artemisia sieberi* می‌باشد. غلظت این عنصر از استاندارد جهانی و استاندارد حفاظت محیط‌زیست ایران برای خاک بسیار بیشتر است که نشان‌دهنده آلودگی شدید این عنصر در خاک منطقه مطالعاتی است و نیاز به توجه بیشتر به منظور کاهش غلظت این عنصر (Moameri *et al*., 2017) بیان کردند که مقادیر نسبتاً زیاد

سرب و روی در شهرک صنعتی روی زنجان ناشی از خود شرکت سرب و روی می‌باشد. همچنین محققانی مانند (Farahmandkia *et al*., 2009) بیان کردند فعالیتهای صنعتی انجام شده در شهرک روی زنجان عامل اصلی افزایش غلظت عناصر روی و سرب در هوای شهر زنجان است. براساس نتایج تحقیق Moameri و Dadjoo (۲۰۱۹)، غلظت بالای فلزات سنگین در خاک، ناشی از منابع مختلفی مانند هوازدگی طبیعی به شدت وسیع در سنگ‌های زمینه و محتویات فلزی و یا ناشی از آلودگی‌های با منبع انسانی است. به عبارت دیگر، این فلزات به‌طور طبیعی در خاک وجود دارند، اما در اثر فعالیت‌های انسانی مانند معدن‌کاوی هم به خاک افزوده می‌شوند. نتایج حاصل از ضریب آلودگی نشان داد، فعالیت‌های معدنی در آلودگی رسوبات نقش بسزایی داشته‌اند (Mortazavi *et al*., 2018). از دلایل دیگر آلودگی در منطقه مورد مطالعه، وجود ذرات گردوغبار موجود در هوا در اثر فعالیت‌های مختلفی مانند استخراج سنگ آهن، عملیات خاکبرداری و ترانشه‌برداری به منظور احداث جاده‌های دسترسی و تردد ماشین‌آلات سنگین و سبک است. با توجه به آب و هوای خشک منطقه و وجود بادهای ۱۲۰ روزه در فصول گرم سال، میزان پراکنش گردوغبار بسیار زیاد می‌باشد. برداشت‌های بی‌رویه و برهم زدن توپوگرافی و شکل طبیعی زمین در اثر معدن‌کاوی، علاوه بر از بین بردن پوشش گیاهی باعث آلوده شدن خاک منطقه شده است. از این‌رو، در چنین شرایطی و با توجه به نتایج این تحقیق، استفاده از گونه مرتعی بومی *Salsola richteri* به عنوان گیاه بیش‌اندوز فلزات سرب، آهن و مس می‌تواند به عنوان یک راهکار کاربردی در پالایش خاک‌های آلوده منطقه خواف مطرح شود.

References:

Abbaszadeh-Dahaji, P., Baniasad-Asgari, A. and Hamidpour, M. 2019. The effect of Cu-resistant plant growth-promoting rhizobacteria and EDTA on phytoremediation efficiency of plants in a Cu-contaminated soil. Journal of Environmental Science and Pollution Research, https://doi.org/10.1007/s11356-019-06334-

Ahmadi, B., 2012. The role of heavy metals in human health. July 20 2012. Available at: Resources heavy metals

Ali, H., khan, E. and Sajad, M. A., 2013. Phyto extraction of heavy metals – Concepts and applications. Chemosphere, 91: 869 – 881.

Barbosa, B., Boléo S, Sidella, S., Costa, J., Duarte, M.P., Mendes, B., Cosentino, S.L., and Fernando, A.L. 2015. Phytoremediation of Heavy Metal-Contaminated Soils Using the Perennial Energy Crops Miscanthus spp. and Arundo donax L. BioEnergy Research, 8: 1500-1511.

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.

Boonyapookana, B., Upatham, E.S., Kruatrachne, M., Pokethitiyook, P. and Singhakaew, S., 2002. Phytoaccumulation and phytotoxicity of cadmium and chromium in Duckweed Wolffia globose. International Journal of Phytoremediation, 4:87-100.

Chojnacka, K., Chojnacki, A., Gorecka, H. and Górecki, H., 2005. Bioavailability of heavy metals from polluted soils to plants. Science of the total Environment, 337(1-3): 175-182.

Farahmandkia, Z., Mehrasbi, M.R., Sekhawatju, M.S., Hasanalizadeh, A.S.H., and Ramezanzadeh, Z. 2009. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. Iran. Journal of Health Environmental, 2(4), 240-249.

Favas, P.J.C. and 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.

Hafizi Moghadis, N. and Bagherzadeh, A., 2013, "Studies on the environmental effects of harvesting from iron ore mines of Khaf", General Department of Environmental Protection, Khorasan Razavi

Hamidian, A.H., Norouznia, H. and Mirzaie, R., 2015. Phytoremediation efficiency of Nelumbo

nucifera in removing heavy metals (Cu, Cr, Pb, As and Cd) from water of Anzali wetland. Journal of Natural Enviroment. 96 (2): 633-643.

Hashemi, H., 2020. Using the potential of forage production and plant remediation of vetiver in saline agroecosystems The Second International Conference on Haloculture (ICH) will be held at Yazd, Iran during February 19-20, Yazd, Iran.

Jahantab, E. and Najmeddin, A., 2021. Investigation of Heavy Metal Contamination and Enrichment (Case Study: Shiraz Industrial Town and surrounding Lands). Journal of Range and Watershed Managment, 2021; 74(1): 37-51. doi: 10.22059/jrwm.2021.314260.1549

Jarup, l., 2003. Hazards of heavy metal contamination, British Medical Bulletin, 68(1): 167–182.

Khan, S., Aijun, L., Zhang, S., Hu, Q. and Zhu, Y. G., 2008. Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. Journal of Hazardous Materials, 152(2): 506-515.

Khoramnejadian, S.H., Matinfar, F. and Khoramnejadian. S.H., 2013. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons by native plants of Damavand region. Global Journal of Medicinal Plant Research, 1(1): 8-11.

Lorestani, B., Cheraghi, M. and Yousefi. N., 2011. Phytoremediation Potential of Native Plants

Investigating the environmental effects of Neishabur camel iron ore mining, northeast of Iran. National Conference on Knowledge Based Research in Earth Sciences, Chamran University.

Norouzihajiabdal, f., Farzamisepehr, M. and Farajzadeh, M.A., 2013. Phytoremediation potential of polypogon monspeliensis L. in remediation of petroleum polluted soils. Journal of Plant Environmental Physiology, 8(1): 75-87.

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 Sciense, The Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad.

Saba, G., A.H. Parizanganeh, A. Zamani & Saba, J., 2015. Phytoreme diation of heavy metals contaminated environments: screening for native accumulator plants in Zanjan-Iran. International Journal of Environmental Researched, 9(1):309-316.

Shahriyar, K., Forohar, F. and Sharif, N., 2003. Environmental pollution caused by mining Growing on a Heavy Metals Contaminated Soil of Copper mine in Iran. World Academy Science, Engineering Technology, 53: 377 -382.

Moameri, M. and Dadjoo, F., 2019. Assessing Capability of Artemisia aucheri Boiss for Phytoremediation of Soils Contaminated with Heavy Metals. Journal of Rangeland Science, 9(4): 414-425.

Moameri, M., Jafri, M. O. H. A. M. M. A. D., Tavili, A., Motasharezadeh, B. and 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.

Moameri, M., Jafri, M., Tavili, A., Motasharezadeh, D. and Zare Chahouki, M.A., 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.

Moameri, M., Jafary, M., Tavili, A. and Motesharezadeh, B., 2016. 2nd Coference on Conservation Natural Resources and Environment. Investigating the phytoremediation ability of some pasture plants (case study: pastures around Zanjan lead and zinc company), Ardabil.p:1-5.

Mortazavi, S.J., Dabiri, R. and Valipour, M. A., 2018. operations in Saidi limestone mines. 5th Congress on Safety, Health and Environment in Mines and Related Industries, Kerman.

Siyar, R., Doulati Ardejani, F., Farahbakhsh, M., Norouzi, P., Yavarzadeh, M. and Maghsoudy, S., 2020. Potential of Vetiver grass for the phytoremediation of a real multi-contaminated soil, assisted by electrokinetic. Journal of Chemosphere, 246: 125802.

Tavili, A., Jahantab, E., Jafari, M., Motashre zadeh, B. and Zargham, N.A., 2018. Remediation of contaminated soils with heavy metal of Pb using rangelands plants in the greenhouse condition Plant Research Journal (Iranian Biology Journal, 31(3):663-675. https://sid.ir/paper/360428/en

Van Epps, A., 2006. Phytoremediation of petroleum Hydrocarbons, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, 171p.

Wu, D., Yu, X., Lai, M., Feng, J., Dong, X., Peng, W., Su, S., Zhang, X., Wan, L., Jacobs, D.F. and Zeng, S., 2021. Diversified effects of co-planting

landscape plants on heavy metals pollution remediation in urban soil amended with sewage sludge. Journal of Hazardous Materials, 403:123855.

Zhuang, P., Yang, Q., Wang, H. and 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. and Schvartz, C. 2005. Hyperaccumulation of Pb, Zn and Cd in herbaceous grown on lead -zinc mining area in Yunnan. China Environment International, 31: 755 -762.