Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Investigating the factors affecting the concentration of lead and cadmium in different points of the Sejzi desert emphasizing the distribution of biological soil crusts

Leila Kashi Zenouzi[1] | Seyed Hasan Kaboli[*2] | Kazem Khavazi[3]

1. Ph.D. Student in Combat to Desertification Department, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran. E-mail: lzenouzi@yahoo.com
2. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Arid Lands and Desert Management, Faculty of Desert Studies, University of Semnan, Iran. E-mail: hkaboli@semnan.ac.ir
3. Professor, Dept. of Soil Biology, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. E-mail: khavazik@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07.26.2021
Revised: 10.26.2021
Accepted: 03.09.2022

Keywords:
Heavy metals,
Lichen,
Principal Component Analyses (PCA),
Sejzi

ABSTRACT

Background and Objectives: Heavy metals are one of the most common pollutants that enter the environment due to industrial activities in human societies and endanger the health of organisms and humans over time. Recently, to decrease negative effects of heavy metals in the environment, the use of bio sorbents produced from industrial and agricultural wastes has been replaced by other methods as a low-cost method. Other biological methods, such as the establishment of some plant species that have the potential to absorb heavy metals, have had acceptable results in the areas around industrial estates or metal mines. Based on Researches' results in other parts of the world, biocrusts play an important role in the uptake of heavy metals and soil purification. Biocrusts are a close community of lichens, mosses, algae, and other soil microorganisms that affect the basic processes of the soil ecosystem. In this study, some of the soil properties and cadmium and lead concentrations in different parts of the Sejzi plain of Isfahan province were investigated and the effect of biological crusts on the concentration of pollutants was investigated.

Materials and Methods: After measuring acidity, electrical conductivity, organic carbon, soil texture, lead, and cadmium concentrations, the relationship between the distribution of biocrusts with soil properties and cadmium and lead concentrations was investigated by principal component analysis. Then, using one-way ANOVA, the most important effective features are identified. Based on Duncan's test, the mean values of soil properties measured in five villages located in Sejzi plain were compared with each other at 95% probability level, and finally, the soil of points of Sejzi plain with higher cadmium and lead concentrations were determined.

Results: According In all studied sites, the average absorbable lead was more than 80 mg/kg (permissible level). The amounts of cadmium were measured at Fasaran and Sejzi at 2.8±0.6 and 2.38±0.18 mg/kg, respectively, that had been exceeded its permissible level (2 mg/kg). Also, the results of the principal component analysis showed that in the first component, which is 67.4% of the total variance of the data, the correlation between the percentage of silt was 0.438 and the percentage of sand was measured -0.451. In the second component, which is justified about 48.6% of the total variance of the data, the correlation coefficient of the values of

cadmium and lead were estimated 0.388 and -0.438, respectively. The comparison of soil properties in different places showed that the average values of soil salinity, organic matter, silt percentage, cadmium and lead are different in those places.

Conclusion: The high concentration of lead and cadmium levels in areas without biocrusts, including Sajzi and Fesaran, were mainly due to human mismanagement and construction of factories, mines, and roads. Also, some intrinsic properties of soil, such as soil texture were effective in the distribution and establishment of biological crusts.

Cite this article: Kashi Zenouzi, Leila, Kaboli, Seyed Hasan, Khavazi, Kazem. 2022. Investigating the factors affecting the concentration of lead and cadmium in different points of the Sejzi desert emphasizing the distribution of biological soil crusts. *Journal of Water and Soil Conservation*, 28 (4), 123-144.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2022.19353.3483
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

بررسی برخی عوامل مؤثر بر غلظت سرب و کادمیم در نواحی مختلف بیابان سجزی با تاکید بر پراکنش پوسته‌های زیستی خاک

لیلا کاشی زنوزی[۱] | سیدحسن کابلی*[۲] | کاظم خاوازی[۳]

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، ایران. رایانامه: lzenouzi@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران. رایانامه: hkaboli@semnan.ac.ir
۳. استاد بخش تحقیقات بیولوژی خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: khavazik@yahoo.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰٥/۰٤
تاریخ ویرایش: ۱٤۰۰/۰۸/۰٤
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۱۲/۱۸

واژه‌های کلیدی:
تجزیه مؤلفه‌های اصلی،
سجزی،
فلزات سنگین،
گلسنگ

چکیده

سابقه و هدف: فلزات سنگین ازجمله آلاینده‌هایی هستند که درنتیجه فعالیت‌های صنعتی در جوامع انسانی، به محیط‌زیست وارد شده و به‌مرورزمان، سلامت موجودات زنده و انسان‌ها را به خطر می‌اندازند. برای کاهش اثرات منفی فلزات سنگین، استفاده از مواد بیوجاذب‌های تولیدشده از ضایعات صنعتی و کشاورزی، به‌عنوان یک روش ارزان‌قیمت موردتوجه بوده است. هم‌چنین روش‌های زیستی مانند استقرار برخی گونه‌های گیاهی با قابلیت جذب فلزات سنگین در نواحی آلوده صنعتی یا معادن فلزات، نتایج قابل‌قبولی داشته است. علاوه بر این پوسته‌های زیستی خاک نیز نقش مؤثری در جذب فلزات سنگین و خاک پالایی دارند. پوسته‌های زیستی خاک، اجتماعی تنگاتنگ از گلسنگ‌ها، خزه‌ها، جلبک‌ها و سایر ریزجانداران خاک هستند که فرایندهای ابتدایی اکوسیستم خاک را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. در این پژوهش برخی ویژگی‌های خاک و غلظت کادمیم و سرب در نقاط مختلف دشت سجزی استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفتند و تأثیر وجود پوسته‌های زیستی بر غلظت آلاینده‌ها بررسی شد.

مواد و روش‌ها: پس از اندازه‌گیری اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی، بافت خاک، غلظت سرب و کادمیم، رابطه پراکنش پوسته‌های زیستی با ویژگی‌های خاک و غلظت کادمیم و سرب به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی بررسی شد. مهم‌ترین ویژگی‌های تأثیرگذار با استفاده از روش تجزیه واریانس یک‌طرفه مشخص شدند. براساس آزمون دانکن، میانگین مقادیر ویژگی‌های خاک که در پنج روستای واقع در دشت سجزی اندازه‌گیری شده بودند، مقایسه شدند و نقاطی که کادمیم و سرب بیش‌تری داشتند، تعیین شدند.

یافته‌ها: در همه نقاط موردبررسی میانگین مقادیر سرب قابل‌جذب بیش از ۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (حد مجاز) به دست آمد. مقادیر کادمیم نیز در فساران و ایستگاه منابع طبیعی سجزی به ترتیب به مقدار ۰/٦±۲/۸ و ۰/۱۸±۲/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم اندازه‌گیری شدند و بیش‌ازحد مجاز آن (دو میلی‌گرم بر کیلوگرم) بودند. هم‌چنین نتایج آزمون تجزیه مؤلفه‌های اصلی نشان داد در مؤلفه اول که ٦۷/٤ درصد کل واریانس داده‌هاست، میزان همبستگی درصد سیلت ۰/٤۳۸ بود و برای درصد ماسه نیز ۰/٤٥۱- محاسبه شد. در مؤلفه دوم نیز که ٤۸/٦ درصد کل واریانس داده‌ها را توجیه می‌کند، ضریب همبستگی مقادیر کادمیم و سرب به ترتیب ۰/۳۸۸ و ۰/٤۳۸- به دست آمد. با مقایسه ویژگی‌های خاک در نقاط مختلف معلوم شد که میانگین مقادیر قابلیت هدایت الکتریکی خاک، ماده آلی، درصد سیلت، غلظت کادمیم و سرب قابل‌جذب در آن نقاط متفاوت بودند.

نتیجه‌گیری: غلظت زیاد سرب و کادمیم در نقاط فاقد پوسته‌های زیستی شامل ایستگاه سجزی و فساران عمدتاً ناشی از سوء مدیریت انسانی و احداث کارخانه‌ها، معادن و جاده‌ها بود. هم‌چنین برخی ویژگی‌های ذاتی خاک مانند درصد ذرات خاک، در استقرار پوسته‌های زیستی مؤثر هستند.

استناد: کاشی زنوزی، لیلا، کابلی، سیدحسن، خاوازی، کاظم (۱۴۰۰). بررسی برخی عوامل مؤثر بر غلظت سرب و کادمیم در نواحی مختلف بیابان سجزی با تاکید بر پراکنش پوسته‌های زیستی خاک. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۸ (۴)، ۱۴۴-۱۲۳.
DOI: 10.22069/jwsc.2022.19353.3483

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

فلزات سنگین مانند سرب، کادمیم، نیکل، جیوه و کروم و غیره که عمدتاً در اثر فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی در محیط‌زیست رها شده‌اند؛ غیرقابل تجزیه بیولوژیکی بوده و به‌دلیل تجمع زیستی، از جمله تهدیدهای جدی برای محیط‌زیست به شمار می‌روند (۲۰، ۲۱ و ۲۹). میزان فلزات سنگین در جهان طی ۱۵۰ سال گذشته بیش از ٤۰۰۰ برابر افزایش‌یافته است (۲۷). بررسی خاک‌های کشاورزی اطراف کارخانه‌های صنعتی نشان داد مزارع اطراف کارخانه‌های صنعتی آلوده به فلزات سنگین سرب و کادمیم هستند و این موضوع نگرانی شدیدی در مورد خاک‌های کشاورزی اطراف کارخانه‌های صنعتی ایجاد کرده است (۱۱، ١٤ و ۲۷). در پژوهش‌های پیشین، اثبات‌شده است که حتی مقادیر بسیار جزئی از فلزات سنگین آلودگی شدیدی در خاک ایجاد نموده و برای اکوسیستم خاک زیان‌بار هستند؛ به‌ویژه این گونه آلاینده‌ها کمبود میکرومغذی‌های خاک ازجمله آهن را تشدید کرده و درنتیجه باعث کاهش تکثیر و فعالیت ریزجانداران خاک می‌شوند. نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که پوسته‌های زیستی خاک در جذب مواد آلاینده و خاک پالایی نقش مؤثری دارند. پوسته‌های زیستی خاک[1]، مجموعه پیچیده‌ای از موجودات زنده‌ای مانند سیانوباکتری، جلبک، قارچ، گلسنگ‌ها و خزه‌ها در نسبت‌های مختلف و در بین ذرات خاک هستند که بر روی سطح خاک یا در داخل چند میلی‌متر فوقانی آن مستقر می‌گردند (۲۸). در برخی موارد فلزات سنگین با گروه‌های سولفوهیدریل[2] پروتئین‌ها ترکیب شده و فعالیت‌های آنزیمی میکروارگانیسم‌های خاک را کاهش می‌دهند (۲۰). فیکوسیانین‌ها[3] منبع نیتروژن در سیانوباکتری‌های خاکزی هستند و در غلظت‌های بسیار کم کادمیم (۵، ۱۰ و ۲۰ میکرومولار) کاهش شدید فیکوسانین‌ها گزارش شده است (٤، ٤۷ و ٤۸). آن دسته از ریزجانداران خاک که در غلظت ۰/۵ میلی‌مولار کادمیم به رشد و فعالیت خود ادامه می‌دهند جزء گونه‌های مقاوم به این عنصر هستند (۳) کادمیم سبب اختلال در فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاهان شده و عملکرد آنزیم‌های پراکسیداز[4]، سوپراکسید دیسموتاز[5] را دچار اختلال می‌کند (۱۰). در بین فلزات سنگین، سرب از نظر انتشار گسترده‌ترین عنصر سمی در محیط است که پس از جذب به‌وسیله موجودات زنده می‌تواند اثرات مخربی بر سلامتی آن‌ها برجای گذارد (٤۰). سرب به دلیل انباشت در افق سطحی خاک به‌راحتی در دسترس گیاهان قرار گرفته و جذب گیاه می‌شود و سبب اختلال در فعالیت‌های متابولیکی و رشد و نمو گیاه می‌شود (٤۲). غلظت بحرانی سرب کل در خاک بین ۱۰۰ تا ٤۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد (۷ و ۱۳). غلظت بالای سرب باعث تغییر در مرفولوژی گیاهان و کاهش زیتوده[6]، کاهش رشد اندام‌های هوایی، ممانعت از جوانه‌زنی، القای کلروز[7] و نکروز[8] برگ، تغییر رنگ و چوبی شدن ریشه (۳٤)؛ اندازه و شکل کلروپلاست و نیز سبب افزایش اندازه واکوئل در سلول‌های گیاهی می‌شود (۲۵). علاوه بر این با تأثیر بر نحوه عملکرد روزنه‌ها، محتوای نیترات و تعادل آبی سلول‌ها را بر هم زده و در نهایت فتوسنتز و تنفس گیاهی را مختل می‌کند و موجب افزایش پراکسیداسیون لیپیدها می‌شود (۳۵).

در طول دو دهه گذشته پژوهش‌هایی در مورد ارزیابی قابلیت اصلاح‌کننده‌های متفاوت خاک برای

1- Biological soil crust
2- Sulfhydryl group
3- Phycocyanin

4- Peroxidase
5- Superoxide dismutase
6- Biomass
7- Chlorosis
8- *Necrosis*

غیرمتحرک کردن فلزات سنگین در خاک‌های آلوده انجام‌شده است (٦ و ۱۸). فهم دقیق غلظت فلزات سنگین، شکل‌های آن‌ها و وابستگی آن‌ها به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (٤٥)، پایه‌ای برای مدیریت دقیق خاک ایجاد نموده که تا حد امکان اثر منفی فلزات سنگین را در اکوسیستم‌ها محدود خواهد کرد (۱۲). در مناطق خشک با اسیدیته بالاتر از پنج به‌دلیل جذب سطحی و ظرفیت بافری بالا، تحرک فلزات کم‌تر شده و رسوب اتفاق می‌افتد (۱۷ و ٤۳). عناصر سمی، به‌تدریج در بین اجزاء گوناگون فاز جامد خاک و در شکل‌های مختلف تبادلی، کربناتی، آلی و غیره توزیع می‌شوند (۲۳). یکی از روش‌های اصلاح شیمیایی خاک‌آلوده به فلز سنگین، کاربرد مواد آلی است که به دلیل داشتن قابلیت تشکیل کمپلکس پایدار با فلزات سنگین در خاک، بسیار موردتوجه قرار گرفته است (۱). کمپلکس بین فلز و مواد آلی محلول، به رقابت بین پیوند فلز با مکان‌های جذبی و لیگاند آلی محلول وابسته است فلزاتی که به‌آسانی کمپلکس‌های پایدار با مواد آلی محلول تشکیل می‌دهند، در خاک متحرک هستند (۳۹). در سال‌های اخیر، نقش سیانوباکتری‌ها در حذف فلزات سنگین از آب‌های آلوده به‌صورت گسترده‌ای موردمطالعه قرار گرفته است. مطالعات بسیاری اثر افزودن سیانوباکتری‌های زنده و یا زی‌توده غیرزنده آن‌ها را بر جذب سرب از آب‌های آلوده بررسی کرده و به نتایج موفقیت‌آمیزی در زمینه جذب یا حذف این فلز دست یافته‌اند (۵، ۲۲ و ۳۳). سیانوباکتری‌ها به خاطر اندازه کوچک و داشتن سطح ویژه زیاد برای پیوند با فلزات موردتوجه قرار دارند (۳۲، ۳۷ و ۵۳).

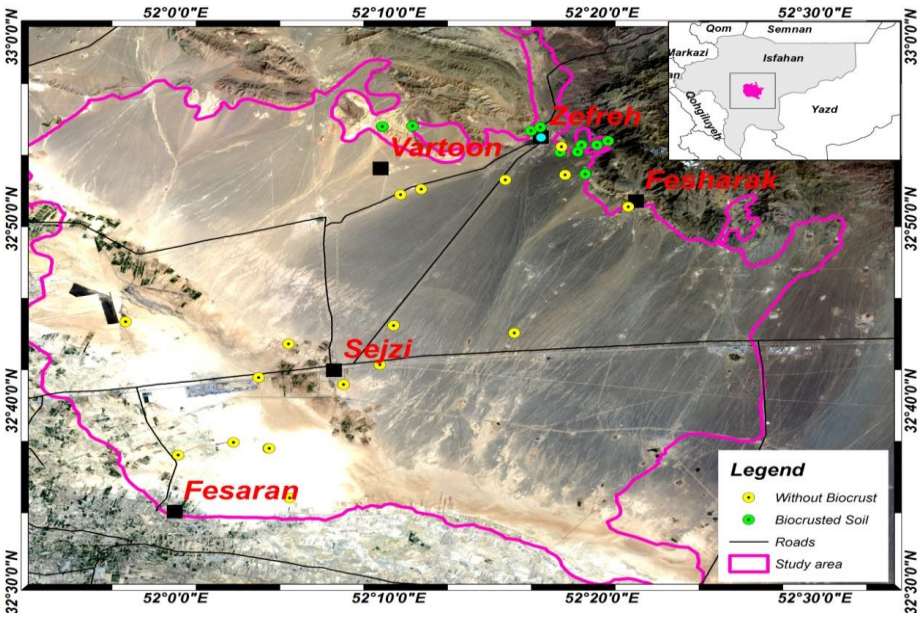
پائولی و همکاران (۲۰۱۸) با انتقال گلسنگ *Flavoparmelia caperata* به منطقه‌ای که آلوده به عناصر کادمیم، سرب، جیوه، کروم، مس، آرسنیک و روی بودند، مدت زمان پالایش توسط این گونه از گلسنگ‌ها تخمین زدند. ایشان پارامترهای مزبور را قبل و بعد از سپری شدن ۱۲ ماه از انتقال در بافت‌های گلسنگ اندازه‌گیری کردند هم‌چنین پارامترهای فیزیولوژیکی مانند میزان کلروفیل، متابولیت‌های ثانویه و ارگوسترول[1] را در هر دو زمان موردسنجش قرار دادند. نتایج پژوهش نشان داد مقادیر آلودگی عناصر سنگین در محیط استقرار گلسنگ ۲۵ درصد کاهش‌یافته است و ازنظر فیزیولوژیکی مقادیر کلروفیل و سایر پارامترها کاهش نداشته است. برخی پژوهش‌گران داخلی با توجه به پتانسیل جذب کمپلکس‌های آلی فلزات کادمیم و سرب توسط برخی گیاهان و میکروارگانیسم‌های خاک، پژوهش‌هایی درباره پالایش سبز خاک‌های آلوده انجام داده‌اند (٤۱). رسولی صدقیانی و همکاران (۲۰۱۹) در استفاده از اسید هیومیک به‌عنوان اصلاح‌کننده آلی خاک، بیان نمودند که احتمالاً از طریق تشکیل کمپلکس سرب-اسید هیومیک و افزایش فراهمی و حلالیت سرب، جذب و ذخیره سرب در ریشه و شاخسار گیاه افسنتین (*Atremisia absinthium*) افزایش یافت و کارایی گیاه را در پالایش خاک بهبود بخشید. در نمونه‌های شاهد بین مقدار سرب در ریشه و شاخسار گیاه اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده نشد و فاکتور انتقال و ضریب تغلیظ زیستی کم‌تر از یک بودند و معلوم شد که گیاه افسنتین غیر انباشتگر است، ولی افزودن اسید هیومیک به خاک قابلیت دسترسی گیاه افسنتین به سرب را افزایش داده و سبب جذب بیش‌تر سرب توسط گیاه و کاهش آلودگی سرب در خاک شده بود (٤٤). طبق یافته‌های اخگر و همکاران (۲۰۲۱) باکتری‌های *سودوموناس فلورسنت* حل‌کننده فسفات باعث افزایش جذب کادمیم توسط ذرت می‌شود و تیمار باکتری بر وزن خشک بخش هوایی و ریشه و نیز بر مقدار کلروفیل a، b و کاروتنوئیدها در سطح یک درصد اثر معنی‌داری داشته است (۲). هم‌چنین زمانی کبرآبادی و همکاران (۲۰۲۱) پتانسیل قارچ‌های میکوریز در زیست‌پالایی سرب توسط محلب (*Cerasusmahaleb* L. Mill) در سطوح

1- Ergosterol

مختلف آلودگی خاک با فلز سنگین سرب و تلقیح با قارچ‌های میکوریزی موردبررسی قرار دادند. ایشان بیان نمودند که فاکتور انتقال فلز سرب در ساقه و برگ در تیمار خاک با آلودگی شدید نسبت به خاک با آلودگی کم افزایش یافته و تیمار ترکیبی قارچ میکوریزی در انتقال فلز سرب به برگ و ساقه محلب عملکرد نسبتاً بهتری دارد. بالاترین مقادیر مربوط به هر دو فاکتور انتقال زیستی (تجمع در ریشه) و ضریب تجمع زیستی (انتقال به اندام هوایی) در تیمار خاک با آلودگی شدید بیش‌ترین مقدار بود. هم‌چنین تیمار ترکیبی قارچ میکوریزی بهترین عملکرد را در افزایش دو فاکتور ذکر شده داشت. نهال‌های گونه محلب اگرچه دارای توانایی انباشت فلزات سرب در ریشه و انتقال آن به اندام‌های هوایی را داشتند، ولی تثبیت در ریشه را با کارایی بسیار بهتر و مؤثرتری انجام داده و در همزیستی با قارچ‌های میکوریزی در کاهش انتقال عنصر سنگین در خاک مفید واقع شدند (۵۲). با توجه به اهمیت موضوع حفاظت منابع آب‌وخاک کشور و جلوگیری از آلودگی و هدررفت خاک، این پژوهش با هدف بررسی غلظت سرب و کادمیم در دشت سجزی استان اصفهان انجام یافته است و غلظت سرب و کادمیم در نقاط مختلف دشت سجزی اندازه‌گیری شده و با بررسی‌های آماری غلظت سرب و کادمیم در نقاط دارای پوسته‌های زیستی و بدون پوسته‌های زیستی مقایسه شدند.

مواد و روش‌ها

محدوده موردمطالعه بخشی از بیابان سجزی (بیابان‌های مرکزی ایران) است که در استان اصفهان واقع‌شده است. این محدوده با مساحت ۱۹۹/۵ هکتار بین طول جغرافیایی "۵۱°۵۲'۳۲ تا "۵۲°۲۷'۴۱ شرقی و عرض جغرافیایی شمالی "۳۲°۳۳'۳۱ تا "۳۲°۵۵'۰۱ غربی گسترده شده است (شکل ۱). شیب متوسط دشت سجزی ۱/۰۸ درصد و ارتفاع متوسط آن ۱۶۸۰ متر است. بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی شرق اصفهان (ایستگاه شهید بهشتی) متوسط بارش سالیانه منطقه ۱۰۶ میلی‌متر است. بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن (De Martonne's climatic classification) اقلیم منطقه از نوع خشک و براساس طبقه‌بندی آمبرژه از نوع خشک سرد است (۳۰).



شکل ۱- موقعیت منطقه موردمطالعه در استان اصفهان به همراه نقاط نمونه‌برداری.

Figure 1. Location of the study area in Isfahan province with sampling points.

نمونه‌برداری خاک از پنج نقطه در دشت سجزی انجام گرفت که سه نقطه دارای پوشش پوسته‌های زیستی (زفره، فشارک و ورتون) و دو نقطه دیگر فاقد پوشش پوسته‌های زیستی (فساران و ایستگاه سجزی) بودند. با توجه به شروع بارش باران از اواخر مهرماه در دشت سجزی که هم‌زمان با افزایش رطوبت خاک فعالیت پوسته‌های زیستی نیز آغاز می‌شود، اواسط آذرماه برای فصل نمونه‌برداری انتخاب شد. پس از تلفیق لایه‌های بافت خاک، قابلیت هدایت الکتریکی، اسیدیته و ماده آلی با نقشه تیپ رویشی دشت سجزی واحدهای نسبتاً همگن در محدوده موردمطالعه تشکیل داده و با نقشه پراکنش پوسته‌های زیستی قطع داده شد. سپس نمونه‌برداری به روش تصادفی طبقه‌بندی شده و با توجه به مساحت واحدهای نسبتاً همگن، از خاک زیرپوشش پوسته‌های زیستی با فراوانی گلسنگ و نقاط فاقد پوسته‌های زیستی از عمق ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متری خاک انجام یافت. از نقاط با پراکنش جلبک (به‌ویژه در اطراف زمین‌های کشاورزی و داخل نهرهای آب یا نواحی کوچک و پراکنده باحالت ماندابی که جلبک‌ها در آن‌ها رشد کرده بودند) صرف‌نظر شد. به‌دلیل یکسان بودن گونه‌های پوسته‌های زیستی، تا شعاع تقریباً ۳۰ متری هر یک از نقاط، در هر نقطه سه نمونه خاک از هرکدام به میزان یک کیلوگرم برداشت شدند و پس از مخلوط کردن هر سه نمونه، یک نمونه خاک همگن به میزان یک کیلوگرم تهیه شد. به همین ترتیب از نقاط فاقد پوشش پوسته‌های زیستی نمونه‌برداری انجام یافت و مجموعاً ٤۰ نمونه خاک (۲۰ نمونه از خاک زیرپوشش پوسته‌های زیستی و ۲۰ نمونه از خاک فاقد پوشش پوسته‌های زیستی) تهیه و به آزمایشگاه منتقل شدند.

شکل ۲- برخی نقاط نمونه‌برداری در دشت سجزی، A: مانداب‌های جلبکی در اطراف روستای ورتون-B: نقاط با پراکنش گلسنگ‌های خاک‌زی در اطراف روستای فشارک-C: پراکنش خزه و گلسنگ خاک‌زی در پای بوته‌ها در اطراف روستای زفره-D: پراکنش گلسنگ‌های خاک‌زی در پای بوته‌ها در اطراف روستای ورتون.

Figure 2. Some of sampling points in Sejzi plain, A: Algal wetlands around the village of Vartoon - B: Points with the distribution of terrestrial lichens around the village of Fesharak - C: Distribution of moss and terrestrial lichens at the foot of the bushes around the village of Zefreh - D: Terrestrial lichens at the foot of the bushes around the village of Vartoon.

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شامل اسیدیته (٤٦)، قابلیت هدایت الکتریکی (٤٦)، بافت (١٦)، کربن آلی (٥١) اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری عناصر کادمیم و سرب قابل جذب ١٠ گرم از نمونه خاک با استفاده از محلول DTPA (دی اتیلن تری‌آمین پنتا استیک اسید[1]) عصاره‌گیری و با دستگاه ICP-MASS در حد میکروگرم بر گرم[2] قرائت و به میلی گرم بر کیلوگرم[3] تبدیل شدند (٣٧).

در تجزیه‌وتحلیل آماری، برای مقایسه دو نوع نمونه خاک (فاقد پوشش پوسته‌های زیستی و خاک زیرپوشش پوسته‌های زیستی) و رابطه خصوصیات خاک با یکدیگر در دو کلاس متفاوت، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی[4] نرم‌افزار Minitab 16.0 استفاده شد. در روش PCA برای به حداقل رساندن بار عاملی از روش چرخش واریماکس استفاده شده است.

و شاخص کفایت نمونه‌ها (KMO)[5] و آماره بارتلت[6] برای بررسی همبستگی واریانس‌ها محاسبه شدند. پس از انجام تجزیه واریانس یک‌طرفه[7] داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 21.0، مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن[8] در سطح احتمال ٥ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

مقایسه ویژگی‌های خاک در نقاط مختلف دشت سجزی نشان داده است که مقادیر میانگین، حداقل و حداکثر ویژگی‌های موردبررسی در خاک در جدول دو به تفکیک نام روستاها آورده شده است. با توجه به اطلاعات مندرج در این جدول، در نمونه‌های خاک، بیش‌ترین مقادیر کادمیم و سرب قابل‌جذب به‌ترتیب در سجزی و فساران بودند و حداقل مقادیر کادمیم در ورتون اندازه‌گیری شدند.

به‌عبارتی حداکثر مقادیر کادمیم و سرب قابل‌جذب در نقاط فاقد پوسته‌های زیستی و حداقل مقادیر آن‌ها در نقاط دارای پوسته‌های زیستی مشاهده شدند. براساس راهنمای استانداردهای کیفیت منابع خاک که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست کشور تهیه شده است (٢٤)، حد مجاز عناصر سنگین خاک، مقدار مجاز برای مقادیر کل کادمیم و سرب (جدول ١) برای خاک‌های اسیدی (pH<٧) و غیراسیدی (pH>٧) در انواع کاربری اراضی متفاوت است و بیش از این مقدار نشان‌دهنده آلودگی خاک است. با توجه به مقادیر اسیدیته خاک در دشت سجزی و با در نظر گرفتن اینکه نقاط اندازه‌گیری شده دارای کاربری مسکونی هستند حد مجاز مقادیر سرب و کادمیم کل به‌ترتیب ٨٠ و دو میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک تعیین شده است.

1- Diethylene triamine penta acetic acid
2- Part Per Million
3- Part per Billion
4- Principal Component Analysis
5- Kaiser-Meyer-Olkin Measure of sampling adequancy
6- Bartlett's Test of Sphericity
7- One Way ANOVA
8- Duncan Test

جدول ۱- غلظت حد مجاز کادمیم و سرب (mg/kg) در خاک در انواع کاربری اراضی (۲٤).

Table 1. Permissible concentration of cadmium and lead (mg/kg) in the soil in different types of land use (24).

اسیدیته خاک Soil acidity	فلزات سنگین Heavy metal	مناطق مسکونی Residential areas	مناطیق تجاری Business areas	پارک نفریحی Recreational park	مزارع کشاورزی Farm	جنگل‌ها و مراتع Range and forests
pH<7	Cd (mg/kg)	2	8	8	1	1
	Pb (mg/kg)	50	200	200	200	50
pH>7	Cd (mg/kg)	2	8	8	5	8
	Pb (mg/kg)	80	700	290	75	290

در این پژوهش سرب و کادمیم قابل‌جذب اندازه‌گیری شده است. واضح است که مقادیر قابل‌دسترس عناصر کم‌تر از مقادیر کل می‌باشد. با توجه به میانگین حسابی مقادیر سرب و کادمیم قابل‌جذب اندازه‌گیری شده، همه نقاط از نظر غلظت سرب در محدوده بالاتر از حد مجاز قرار دارند. غلظت کادمیم در فساران و سجزی بیش‌تر از دو میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک بود که بیش‌تر از حد مجاز می‌باشد.

جدول ۲- آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در نقاط مختلف دشت سجزی.

Table 2. Descriptive statistics of soil properties in different regions of Sejzi plain.

متغیر Variable	روستا Village	بیشینه Max	کمینه Min	انحراف استاندارد ± میانگین Mean ± SE
pH	Zefreh	8.4	8.1	8.1±0.499
	Fesharak	8.3	7.9	8.0±0.586
	Vartoon	8.2	7.8	8.1±0122
	Sejzi	8.9	7.6	8.2±0179
	Fesaran	8.4	8.2	8.1±0.111
EC(dS/m)	Zefreh	3	0.5	1.3±0.250
	Fesharak	2.5	0.6	1.4±0.202
	Vartoon	55.6	2.1	12.6±10.8
	Sejzi	106.9	2.9	60.8±14.8
	Fesaran	109.3	5.5	53±23.9
OC%	Zefreh	0.98	0.34	0.51±0.07
	Fesharak	0.63	0.11	0.37±0.0634
	Vartoon	0.71	0.11	0.47±0.136
	Sejzi	0.47	0.19	0.33±0.0517
	Fesaran	0.59	0.29	0.44±0.074

ادامه جدول ۲-

Continue Table 2.

متغیر Variable	روستا Village	بیشینه Max	کمینه Min	انحراف استاندارد ± میانگین Mean ± SE
Pb (mg/Kg)	Zefreh	146.6	33.86	136.59±98.7
	Fesharak	189.74	26.74	124.55±45.7
	Vartoon	195.12	24.18	93.49±29.74
	Sejzi	936.2	39.4	369.8±31.89
	Fesaran	413.2	35.06	156.06±75.8
Cd(mg/Kg)	Zefreh	2.67	0.44	1.76±0.9
	Fesharak	2.6	0.5	1.8±0.6
	Vartoon	1.8	0.02	0.86±0.26
	Sejzi	3.6	0.13	2.38±0.18
	Fesaran	1.25	0.33	2.8±0.6
Sand%	Zefreh	53.7	29.7	43.9±2.52
	Fesharak	79.7	37.7	56.9±4.79
	Vartoon	75.7	47.7	57.3±5.64
	Sejzi	63.7	37.7	52.8±3.78
	Fesaran	53.7	49.7	52.4±6.90
Silt%	Zefreh	60.2	26.2	36.2±3.22
	Fesharak	44	8	25.7±3.61
	Vartoon	32	2	18.4±4.96
	Sejzi	52	12	28.9±5.07
	Fesaran	28	12	20.9±3.27
Clay%	Zefreh	30.3	8.3	20±1.79
	Fesharak	34.3	8.3	19.3±2.60
	Vartoon	28.3	20.3	24.3±1.41
	Sejzi	24.3	6.3	18.3±2.76
	Fesaran	26.3	8.3	20.8±4.27

رابطه پوسته‌های زیستی با غلظت سرب و کادمیم: برای بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی در مقادیر ویژگی‌های خاک، مقادیر پارامترهای خاک در دو حالت به‌صورت خاک‌های زیرپوشش پوسته‌های زیستی و بدون پوشش پوسته‌های زیستی طبقه‌بندی‌شده و به روش تجزیه مؤلفه‌های اصلی تحلیل شدند. مقادیر محاسبه‌شده برای ضریب KMO و آماره بارتلت در سطح احتمال ۵ درصد به ترتیب ۰/٤٤۲ و ۲۸۲/۳٦۸ به‌دست آمد که نشان داد روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای بررسی داده‌های موردنظر قابل‌اطمینان است. از مقدار ویژه محاسبه‌شده به‌عنوان معیاری برای تفسیر ویژگی‌های مؤلفه‌های اصلی استفاده شد. مؤلفه‌هایی که مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک داشتند واریانس بیش‌تری را نسبت به یک متغیر انفرادی تخمین می‌زنند و مؤلفه‌های اول تا سوم که مقادیر ویژه بیش‌تر از یک داشتند به‌عنوان مؤلفه‌های

اصلی انتخاب شدند. اهمیت سه مؤلفه اصلی با توجه به مقادیر ویژه آن‌ها در جدول ۳ آمده است. هم‌چنین ضرایب مؤلفه‌های اصلی متغیرهای مورداستفاده در جدول ٤ گنجانده شده‌اند. سه مؤلفه اول ٦٧/٤٣ درصد کل واریانس داده‌ها را تشریح می‌کنند. در مؤلفه اول (PC1) که ٢٦/٧٧ درصد واریانس را توجیه می‌کند، بیش‌ترین بار عاملی مثبت و منفی را مقادیر سیلت (۰/٤۳۸)، شن خاک (۰/٤٥۱-) و کربن آلی (۰/٢٦٢-) دارند. بنابراین پوسته‌های زیستی نقش مهمی در افزایش ماده آلی خاک داشته‌اند. ضریب منفی به‌دلیل کاهش مقدار قابل‌توجه ماده آلی در خاک‌های فاقد پوسته‌های زیستی بوده است و منفی بودن ضریب درصد شن نشان می‌دهد که میزان استقرار پوسته‌های زیستی بر روی خاک‌های سبک کم‌تر بوده است. آن‌چه مسلم است در مؤلفه اول با وجود تأثیر عوامل ماده آلی خاک و درصد ذرات خاک، ضرایب کادمیم و سرب قابل‌جذب کاهش یافته‌اند. مؤلفه دوم PC2 ٤٨/٦ درصد کل واریانس را توجیه می‌کند و در این مؤلفه بیش‌ترین بار عاملی مثبت مربوط به کادمیم قابل‌جذب (۰/۳۸۸) و بیش‌ترین بار عاملی منفی مربوط به مقادیر سرب قابل‌جذب (۰/٤۳۸-)، اسیدیته (۰/٤۳-)، درصد رس (۰/۳۱٤-) و کربن آلی (۰/۲۰٤-) می‌باشند. مواد آلی تازه در خاک دارای اسیدهای آلی کم محلول با وزن مولکولی زیاد هستند ولی مواد آلی هوموس شده حاوی اسیدهای آلی با حلالیت زیاد و کم‌وزن هستند که توانایی تحرک و تشکیل لیگاندهای آلی با فلزات خاک دارند. اسید هیومیک با فلزات خاک ترکیب شده و از سمیت آن‌ها در محیط می‌کاهد (۲٥ و ٤۳). میزان عناصر فلزی قابل‌جذب در خاک‌های سبک بیش‌تر از خاک‌های رسی است. درواقع کانی‌های رسی با جذب بسیاری از آلاینده‌های معدنی و آلی و تبدیل آن‌ها به فرم‌های غیرسمی و یا با سمیت کم‌تر و کاهش تحرک آلاینده‌ها نقش مهمی در جلوگیری از جذب آن‌ها توسط گیاهان و درنتیجه عدم ورود آن‌ها به چرخه غذایی ایفا می‌کنند (٤۹). درنهایت مؤلفه سوم با تشریح ۱۸/۷ درصد از کل واریانس، بیش‌ترین بار عاملی مثبت مربوط به کادمیم قابل‌جذب (۰/۲۹۲) و بیش‌ترین بار عاملی منفی مربوط به مقادیر سرب قابل‌جذب (۰/۹۲-) و قابلیت هدایت الکتریکی (۰/٤۹٦-) به‌دست آمد. نگهداشت عناصر فلزی توسط مواد آلی به pH خاک و میزان هوموس شدن ماده آلی بستگی دارند. برهمکنش متقابل اسیدیته خاک، مقدار ماده آلی و هم‌چنین قابلیت هدایت الکتریکی در تثبیت، نگهداری و غلظت فلزات در خاک مؤثر هستند. افزایش ماده آلی و کاهش اسیدیته سبب افزایش حلالیت عناصر فلزی و افزایش هدایت الکتریکی خاک می‌شود. کم‌ترین تحرک یا بیش‌ترین ترسیب فلزات کادمیم و سرب در اسیدیته خنثی تا کمی قلیایی اتفاق می‌افتد (۲٥ و ٤۳). از طرفی در اثر کاهش pH یون‌های H^+ در خاک تولید می‌شوند که با مکان‌های جذب تبادل یون ناشی از نوع رس خاک رقابت می‌کنند (٤٤).

جدول ۳- مقدار ویژه سهم هر مؤلفه، واریانس و واریانس تجمعی توصیف‌شده با استفاده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی.

Table 3. Eigenvalue of each component, variance and cumulative variance described using principal component analysis method.

مؤلفه Components	مقدار ویژه Eigen value	واریانس (٪) Variance (%)	واریانس تجمعی (٪) Cumulative variance (%)	معیار انتخاب Selection criteria
1	2.4094	26.772	67.43	0.22
2	1.9690	21.878	48.649	0.195
3	1.690	18.781	26.772	0.189

جدول ٤- ضرایب استخراج‌شده از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای هریک از ویژگی‌های خاک.

Table 4. Extracted coefficients from the principal component analysis method for each soil properties.

متغیرها Variables	مؤلفه اول First component	مؤلفه دوم Second component	مؤلفه سوم Third component
pH	0.008	-0.43	-0.022
EC (dS/m)	0.03	0.102	-0.496
OC%	0.262	-0.204	0.057
Pb (mg/Kg)	0.065	-0.438	-0.92
Cd (mg/Kg)	-0.032	0.388	0.292
Sand%	-0.451	0.048	-0.008
Silt%	0.438	0.125	-0.073
Clay%	0.062	-0.314	0.145

حضور پوسته‌های زیستی در منطقه موردمطالعه بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک تأثیر داشت و سبب کاهش قابلیت هدایت الکتریکی و افزایش ماده آلی خاک در دشت سجزی شده است. غلامحسینان و همکاران (۲۰۱۹) نیز با بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی خزه و گلسنگ بر ویژگی‌های خاک در دشت‌سرهای دامنه‌ای منطقه حفاظت‌شده تخت سلطان در استان خراسان‌رضوی به نتایج مشابهی دست یافته‌اند (۱۹). با افزایش ماده آلی، pH خاک کاهش‌یافته و اسیدی‌تر شده است و از طرفی غلظت کادمیم **(۳۸)** و سرب **(۹)** قابل‌جذب نیز با افزایش ماده آلی خاک کاهش یافته‌اند. نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش در دشت سجزی همسو با یافته‌های کیبریا و همکاران (۲۰۱۳) نیز همبستگی مثبتی بین مقادیر سرب و کادمیم قابل‌جذب و ماده آلی و قابلیت هدایت الکتریکی خاک را گزارش کردند (۳۱).

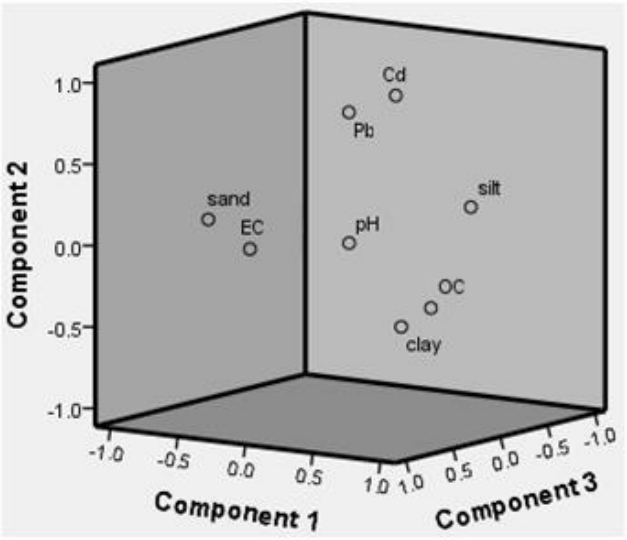
برای تعیین مهم‌ترین ویژگی تأثیرگذار بر پوسته‌های زیستی معیار انتخاب برای هریک از مؤلفه‌های اصلی محاسبه شد (جدول ۳) معیار انتخاب ویژگی‌های خاک از مؤلفه اول به سوم کاهش یافته است. مؤلفه‌هایی که ارزش ویژه آن‌ها کمتر از یک باشد، معیار انتخاب آن‌ها به یک‌صدم کاهش می‌یابد. بنابراین از دقت مناسبی برای تحلیل نتایج برخوردار نمی‌باشند. طبق جدول سه از مؤلفه یک تا مؤلفه سوم ارزش ویژه عوامل، بیش‌تر از یک بوده و قابل‌قبول هستند. در مؤلفه اول و سوم و دوم با توجه به معیار انتخاب محاسبه شده پارامترهای خاک انتخاب شده و معادله وزنی آنها به شرح ذیل نوشته شد:

PC1 = 0.4383 Silt% + 0.262OC% - 0.451 Sand%

PC2 = 0.388 Cd - 0.314 Clay% - 0.438 Pb - 0.204 OC%

PC3 = 0.292 Cd - 0.92 Pb -0.496 EC + 145 Clay%

نمودار توزیع وزن متغیرهای موردبررسی نسبت به یکدیگر در شکل ۳ ارائه شد. ویژگی‌های خاک که از نقطه مرکزی فاصله بیش‌تری دارند وزن بیش‌تری به خود اختصاص داده و اهمیت بیش‌تری نسبت به سایر پارامترها دارند. به همین ترتیب ویژگی‌هایی که به مرکز نزدیک‌تر هستند وزن کم‌تری داشته و کم‌ترین تأثیر در مؤلفه‌های اصلی دارند.



شکل ۳- نمودار ویژگی‌های وزن خاک برای سه مؤلفه شناسایی‌شده بر اساس روش چرخش واریماکس در تجزیه مؤلفه‌های اصلی.

Figure 3. Diagram of soil characteristics weights for three identified components based on the Varimax rotation method in principal component analysis.

در بررسی تأثیر پوسته‌های زیستی بر خصوصیات خاک در نقاط مختلف دشت سجزی، در سطح احتمال پنج درصد (P<۰/۰۵) ویژگی‌های قابلیت هدایت الکتریکی خاک، مقدار کربن آلی، سرب قابل‌جذب و درصد سیلت خاک دارای اختلاف معنی‌دار در مناطق با و بدون پوشش پوسته‌های زیستی بودند (جدول ۵) درحالی‌که میانگین اسیدیته، درصد ماسه و درصد رس دارای تفاوت معنی‌دار در اطراف روستاهای زفره، فشارک، ورتون، فساران و ایستگاه منابع طبیعی سجزی نبودند. هم‌چنین مقادیر کادمیم در سطح احتمال یک درصد (P<۰/۰۱) دارای اختلاف معنی‌دار در مناطق با و بدون پراکنش پوسته‌های زیستی در دشت سجزی بود.

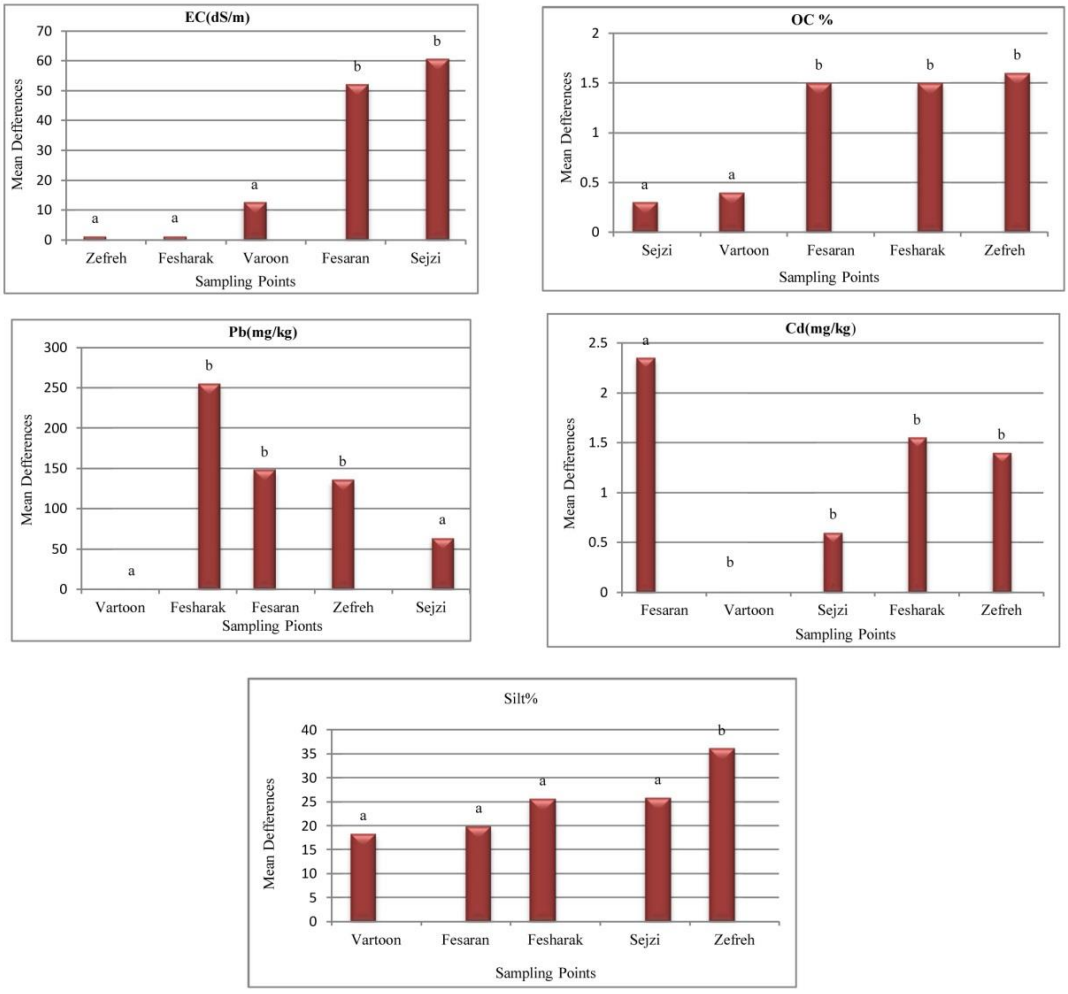
بیش‌ترین اختلاف میانگین مقادیر ماده آلی خاک از نقاط فاقد پوسته‌های زیستی، مربوط به فساران به‌میزان ۱/۵ درصد بود و روستای زفره (از نقاط دارای پوسته‌های زیستی) با عدد ۱/٦ بیش‌ترین اختلاف را با سایر نقاط داشت. ماده آلی در روستای ورتون و سجزی اختلاف معنی‌دار با روستاهای فشارک، زفره و فساران داشتند. مقادیر سرب در روستاهای ورتون، فشارک و ایستگاه سجزی اختلاف معنی‌دار با روستاهای زفره و فساران داشتند و مقادیر سرب قابل‌جذب در روستای فشارک بیش‌تر از سایر نقاط بود. مقادیر کادمیم در روستای ورتون و فساران اختلاف معنی‌دار با مقادیر کادمیم قابل‌جذب در روستاهای فشارک، زفره و ایستگاه سجزی داشتند. مقادیر سیلت خاک نیز در ایستگاه سجزی و فساران اختلاف معنی‌دار با روستاهای زفره، ورتون و فشارک داشت و بیش‌ترین اختلاف میانگین‌ها مربوط به روستای زفره (۳٦/۲ درصد) بود.

جدول ۵- تجزیه واریانس یک‌طرفه و تعیین سطح معنی‌داری برای بررسی ویژگی‌های خاک.

Table 5. One-way ANOVA analysis and determination of significance level to study soil properties.

		درجه آزادی df	میانگین مربعات ME	انحراف استاندارد SE
pH	بین گروه‌ها	4	0.112^{ns}	0.158
	درون گروه‌ها	35	0.088^{ns}	
	کل	39		
EC (dS/m)	بین گروه‌ها	4	6130.532^{*}	17.173
	درون گروه‌ها	35	523.623^{*}	
	کل	39		
OC (%)	بین گروه‌ها	4	0.050^{*}	0.116
	درون گروه‌ها	35	0.049^{*}	
	کل	39		
Pb (mg/kg)	بین گروه‌ها	4	16771.44^{*}	21.53
	درون گروه‌ها	35	2674.2^{*}	
	کل	39		
Cd (mg/kg)	بین گروه‌ها	4	3.509^{**}	0.136
	درون گروه‌ها	35	0.954^{**}	
	کل	39		
Sand (%)	بین گروه‌ها	4	314.252^{ns}	6.891
	درون گروه‌ها	35	161.925^{ns}	
	کل	39		
Silt (%)	بین گروه‌ها	4	396.802^{*}	5.671
	درون گروه‌ها	35	136.811^{*}	
	کل	39		
Clay (%)	بین گروه‌ها	4	30.183^{ns}	3.78
	درون گروه‌ها	35	54.105^{ns}	
	کل	39		

* معنی‌داری در سطح احتمال پنج درصد، ** معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و ^{ns} عدم معنی‌داری



میانگین های با حروف مشابه، اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد ندارند

شکل ٤- نتایج آزمون دانکن در سطح احتمال ۹۵ درصد (P<۰/۰۵) و مقایسه میانگین مقادیر ویژگی‌های خاک در ۵ روستا واقع در دشت سجزی.

Figure 4. Duncan test results at confidence level 95% (P<0.05) and comparison of mean values of soil properties in 5 villages located in Sejzi plain.

قابلیت هدایت الکتریکی خاک در روستاهای زفره، ورتون و فشارک اختلاف معنی‌داری با سجزی و فساران (نقاط فاقد پوسته‌های زیستی) داشتند. کم‌ترین میزان هدایت الکتریکی خاک مربوط به روستای زفره و برابر با ۱/۳ (dS/m) بود و بیش‌ترین قابلیت هدایت الکتریکی خاک در ایستگاه سجزی ٦۰/٦ (dS/m) مشاهده شد. براساس نتایج آزمون دانکن، در نقاط با پراکنش پوسته‌های زیستی (روستاهای زفره، ورتون و فشارک) قابلیت هدایت الکتریکی و درصد سیلت خاک اختلاف معنی‌داری با نقاط فاقد پوسته‌های زیستی (ایستگاه سجزی و فساران) داشتند. روستای زفره از نقاط دارای پراکنش پوسته‌های زیستی بوده است که بر روی خاک‌های لوم سیلتی استقرار یافته و با افزایش ماده آلی تأثیر مثبتی در کاهش مقادیر سرب و کادمیم قابل‌جذب داشته‌اند. البته براساس یافته‌های کاکه و همکاران (۲۰۱۳)

پوسته‌های زیستی خاک سبب کاهش قابلیت هدایت الکتریکی خاک شده، ولی تأثیری در توزیع اندازه ذرات نداشتند (۲۸). نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد پوسته‌های زیستی در کاهش قابلیت هدایت الکتریکی خاک مؤثر بوده‌اند ولی برخلاف نتایج ایشان درصد سیلت خاک رابطه معنی‌دار با حضور پوسته‌های زیستی خاک داشت. در منطقه مطالعاتی، مقادیر سرب قابل‌جذب، کادمیم قابل‌جذب و درصد ماده آلی خاک صرفاً تحت‌تأثیر پوسته‌های زیستی خاک نمی‌باشند و اختلاف معنی‌دار در غلظت آلاینده‌ها، بین نقاط موردبررسی تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی افزایش می‌یابند. در منطقه فساران که فاقد پوشش پوسته‌های زیستی بود، به‌جز گونه‌های درختچه‌ای دست‌کاشت مانند تاغ، پوشش گیاهی مناسبی ندارد، بالا بودن مقادیر ماده آلی به دلیل تخلیه زباله‌های شهری در این منطقه است؛ ممکن است نفوذ شیرابه‌های زباله‌های شهری سبب افزایش مقادیر ماده آلی به‌صورت اثر نقطه‌ای در این ناحیه شده است. در ایستگاه سجزی که انواع مالچ‌های شیمیایی و نفتی در قالب طرح‌های تحقیقاتی و در کرت‌های آزمایشی پاشیده شدند، موجب آلودگی خاک نواحی اطراف ایستگاه سجزی شده است. بقایای مالچ‌های نفتی حاوی مقادیر زیادی از فلزات سنگین مانند کادمیم و سرب هستند و ماندگاری زیادی در طبیعت دارند. به‌طورکلی حوالی دشت سجزی با توجه به احداث فرودگاه شهید بابایی و کارخانه‌ها و معادن مختلف مانند معادن گچ در جنوب روستای ورتون و خطوط راه‌آهن امکان پخشیدگی آلاینده‌ها ازجمله فلزات سنگین وجود دارد. در سایر مناطق از جمله زفره، فشارک و ورتون مقادیر آن‌ها کم‌تر است.

حضور پوسته‌های زیستی در یک اکوسیستم می‌تواند دلیل سلامت آن ازنظر کیفیت خاک، پوشش گیاهی و حتی شرایط اقلیمی باشد (۱۷). زیرا هرچه شرایط اکوسیستم مطلوب‌تر باشد تراکم و پراکنش پوسته‌های زیستی در آن ناحیه بیش‌تر خواهد بود (۸). یکی از رویکردهای مثبت میکروارگانیسم‌های خاک آن است که فلزات سنگین را به‌صورت فعال (جذب زیستی) یا به‌صورت غیرفعال (جذب سطحی) جذب می‌نمایند و در حفظ سلامت اکوسیستم خاک نقش مؤثری دارند. دیواره سلولی آن‌ها که عمدتاً متشکل از پلی‌ساکاریدها، لیپیدها و پروتئین‌ها است، گروه‌های عاملی متنوعی جهت باند شدن با فلزات سنگین دارند که شامل گروه‌های کربوکسیلات، هیدروکسیل و آمین و فسفات هستند (۱٤). تثبیت سرب توسط پلیمرهای خارج سلولی چند نوع باکتری مانند *استافیلوکوکوس اوروئوس*[1]، *میکروکوکوس لوتئوس*[2] و *ازتوباکتر*[3] گزارش شده است (۲٦). باند شدن فلزات با این مواد باعث تثبیت آن‌ها شده و از ورودشان به داخل سلول جلوگیری می‌کند. شایان‌ذکر است با توجه به این‌که گروه‌های عاملی مواد پلیمری خارج سلولی دارای بار منفی هستند، کارایی باند شدن این مواد با فلزات، وابسته به اسیدیته است و در خاک اسیدی جذب فلزات کم‌تر می‌شود.

در دشت سجزی نیز هرچه از سمت زفره، فشارک و ورتون به طرف مرکز (ایستگاه منابع طبیعی) و جنوب (فساران) پیش می‌رویم حضور پوسته‌های زیستی خاک کم‌تر و فرسایش بادی نیز تشدید می‌شود. شرایط اقلیمی محدوده موردمطالعه به لحاظ عدم وجود فاصله زیاد بین روستاها از یکدیگر اختلاف چندانی باهم ندارند، ولی نوع مدیریت منابع خاک و آب در هرکدام از آن‌ها متفاوت بود. در فساران به لحاظ قابلیت هدایت الکتریکی خاک و مقاوم بودن گیاه تاغ، در اطراف فساران اقدام به تاغ‌کاری شده است. جایگزینی نهال تاغ با گونه‌های

1- Staphylococcus aureus
2- Micrococcus luteus
3- Azotobacter

گیاهی مقاوم به قابلیت هدایت الکتریکی خاک که همزیستی با میکروارگانیسم‌های پالایشگر کادمیم دارند، راهکاری مؤثر برای بهبود شرایط خاک است. به‌عنوان‌مثال گونه‌هایی از جنس گیاه قره‌داغ ازجمله *Nitraria sibirica* زنده‌مانی بالایی در تنش شوری خاک داشته و با قارچ مایکوریزا همزیستی دارند (۳٦) از طرفی گونه‌های مایکوریزا مانند *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* در شرایط تنش شوری خاک موجب افزایش غلظت کادمیم در اندام‌های هوایی گیاهان می‌شود (۱۵). بنابراین شاید بتوان با ایجاد همزیستی بین گونه‌های *Funneliformis mosseae* و *Rhizophagus intraradices* و *Nitraria sibirica* ضمن حفظ پوشش گیاهی، اثرات غلظت کادمیم ناشی از فعالیت‌های انسانی را کاهش داد. در ایستگاه منابع طبیعی نیز اقدام مؤثری برای کنترل اثرات زیست‌محیطی عوامل آلاینده زیست‌محیطی صورت نگرفته است و از طرف دیگر موضوع در کنار سایر عوامل طبیعی (شرایط خشک اقلیمی و قابیلت هدایت الکتریکی خاک) سبب از دست رفتن هرچه بیش‌تر منابع خاک و آب در این نقطه از دشت سجزی شده است. روستای ورتون هرچند که از شرایط اقلیمی خشک برخوردارند ولی تأثیر سوء مدیریت انسانی در هردوی آن‌ها کم‌تر بود و آلودگی سرب و کادمیم در آن کم‌تر از سایر نقاط بود و پوسته‌های زیستی بر سطح خاک منطقه تراکم نسبی داشتند. ولی در روستای فشارک اختلاف میانگین مقادیر سرب قابل‌جذب بسیار بیش‌تر از روستاهای اطراف خود بود. میانگین حسابی غلظت سرب قابل‌جذب در روستای فشارک ۱۲٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم در خاک بود. ولی مقدار ماده آلی در خاک‌های روستای فشارک کم‌تر از سایر نقاط بود. احتمال آن می‌رود که در روستای فشارک ازیک‌طرف به دلیل استفاده کشاورزان از کودهای شیمیایی آلودگی سرب بیش‌تر شده است و از طرف دیگر پوسته‌های زیستی در این نقطه از دشت سجزی، به مانند آن‌چه در ورتون و زفره اتفاق افتاده است، تکامل نیافته‌اند و در خاک‌های زیرپوشش پوسته‌های زیستی در فشارک ماده آلی کم‌تری در مقایسه با زفره و ورتون وجود داشته است. بنابراین برای حفظ شرایط موجود و جلوگیری از افزایش هرگونه آلودگی زیست‌محیطی در این روستاها، شایسته است که با ترویج فرهنگ استفاده از روش‌های بیولوژیکی، از جمله استفاده از کودهای زیستی (میکروارگانیسم‌های تثبیت‌کننده نیتروژن، فسفر و ... که با محصولات زراعی همزیست می‌شوند) به‌جای کودهای شیمیایی توسط کشاورزان از هدررفت بیش‌تر منابع خاک پیشگیری شود.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد در روستاهای زفره، ورتون، فشارک، ایستگاه سجزی و فساران، غلظت فلزات سنگین، قابلیت هدایت الکتریکی، درصد سیلت خاک و درصد کربن آلی خاک معنی‌دار هستند ولی غلظت فلزات سنگین و درصد کربن آلی خاک، در هر یک از نقاط، دارای پوسته‌های زیستی و بدون پوسته‌های زیستی با توجه به مقدار آن‌ها معنی‌دار بودند. بنابراین غلظت فلزات سنگین بستگی به نوع مدیریت خاک و فعالیت‌های انسانی داشته و صرفاً تحت‌تأثیر پراکنش پوسته‌های زیستی خاک نمی‌باشند. قابلیت هدایت الکتریکی و درصد سیلت خاک فقط تحت‌تأثیر پوسته‌های زیستی خاک بوده و نقاط دارای پوسته‌های زیستی اختلاف معنی‌داری با نقاط بدون پوسته‌های زیستی داشتند. با توجه به مقادیر درصد اجزای بافت خاک و عدم معنی‌داری درصد شن و رس خاک، چنین استنباط می‌شود که در دشت سجزی، پوسته‌های زیستی بر روی خاک‌های سیلتی-لوم استقرار یافته و از پراکنش بیش‌تری برخوردار هستند. هرچند که ماده

آلی سبب اسیدی شدن خاک شده و در مقدار pH تأثیر زیادی دارد و رابطه بین این دو پارامتر بسیار نزدیک است، ولی ازنظر مقایسات آماری فقط ماده آلی خاک دارای اختلاف معنی‌دار شده است. زیرا در صورت همبستگی نزدیک بین دو پارامتر، یکی از آن‌ها حذف می‌شود و در اینجا تنها ماده آلی خاک باقی‌مانده است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان جهت همکاری در پژوهش و انجام نمونه‌برداری و تهیه داده‌های خاک تقدیر و تشکر می‌نمایند.

داده‌ها و اطلاعات

اطلاعات مندرج در این مقاله، مبتی بر نتایج پژوهش‌های مقطع تحصیلی دکتری نویسنده اول و هم‌چنین رساله ایشان است که در دانشگاه سمنان، دانشکده کویرشناسی انجام یافته است. همه داده‌ها توسط نویسندگان و با همکاری آزمایشگاه خاکشناسی مؤسسه خاک و آب کشور تهیه شده است.

تعارض منافع

در این مقاله هیچ تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تایید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

در مقاله حاضر، مشارکت نویسندگان بدین گونه بوده است: نویسنده اول در نمونه‌برداری، آنالیز داده‌ها، تحلیل و تفسیر اطلاعات. نویسنده دوم در روش‌شناسی، طرح تحقیق، اصلاح و نهایی‌سازی مقاله. نویسنده سوم در نظارت بر تحقیق، تحلیل و تفسیر نتایج پژوهش.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

حمایت مالی

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه سمنان در قالب پژوهانه دانشجویی نویسنده اول و هم‌چنین پژوهانه نویسندگان دوم و سوم انجام یافته است.

منابع

1. Abbaspour, A., Kalbasi, M., Hajrasuliha, Sh., and Golchin, A. 2007. Effects of plant residue and salinity on fractions of cadmium and lead in three soils. Soil and Sediment Contamination. 16: 539-555.
2. Akhgar, A., Ahmadinia, E., Hamidpour, M., and Shirani, H. 2021. Effect of phosphate solubilizing fluorescent pseudomonads on cadmium uptake by corn in contaminated soil. Journal of Soil Biology. 8: 1. 1-15 (In Persian)
3. Alboghobeish, H., Tahmourespour, A., and Doudi, M. 2014. The study of nickel resistant bacteria (NiRB) isolated from wastewaters polluted with different industrial sources. Journal of Environmental Health Science and Engineering. 12: 1-7.
4. An, M., Wei, C., Wang, K., Fan, H., Wang, X., and Chang, D. 2020. Effects of polymer modifiers on the bacterial communities in cadmium contaminated alkaline soil. Applied. Soil Ecology. 157: 1-13.
5. Aneja, R.K., Chaudhary, G., Ahluwalia, S.S., and Goyal, D. 2010. Biosorption of

Pb^{2+} and Zn^{2+} by Non-Living Biomass of Spirulina sp. International Journal of Microbiology. 50: 4. 438–442.

6. Attanayake, C.P., Hettiarachchi, G.M., Harms, A., Presley, D., Martin, S., and Pierzynski, G.M. 2014. Field evaluations on soil plant transfer of lead from an urban garden soil. Journal of Environment Quality. 43: 2. 475-87.
7. Basta, N.T., Gradwohl, R., Senethen, K.L., and Schroder, J.L. 2001. Immobilization of lead, zinc and cadmium in semelter contaminated soils using biosolids and rock phosphate. Journal of Environment Quality. 30: 1222-1230.
8. Belnap, J., and Lange, O.L. 2003. Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. Springer - Verlag, Berlin, 201p.
9. Biria, M., Moezzi, A.A., and Amerikhah, H. 2017. Effect of suarance bagasse made biochar on maize plant growth, grown in lead and cadmium contaminated soil. Journal of Water and Soil Research. 31: 2. 609-626. (In Persian).
10. Biswas, T., Parveen, O., Pendary, V.P., Mathur, A., and Dwivedi, U.N. 2020. Heavy metal accumulation efficiency, growth and centelloside production in the medicinal herb *Cetella asiatica* (L.) urban under different soil concentrations of cadmium and lead. Industrial Crops and Products. 157: 1-14.
11. Carne, G., Leconte, S., Sirot, V., Breysse, N., Badot, P.M., Bispo, A., Deportes, I.Z., Dumat, C., Riviere, G., and Crepet, A. 2020. Mass balance approach to assess the impact of cadmium decrease in mineral phosphate fertilizers on health risk: The case study of French agricultural soils. Science of the Total Environment. 143374: 1-14.
12. Chalooie, M., Chorom, M., Moetamedi, H., and Farokhian Firoozi, A. 2011. Effect of wastewater sludge application on chemical fraction on of heavy metals cadmium and zinc in soil. The first International Conference and the Sixth National on Waste Management, 2-3 May, Mashhad,Iran. (In Persian)
13. Defoe, P.P., Hettiarachchi, G.M., Benedict, C., and Martin, S. 2014. Safety of gardening on lead-and arsenic contaminated brownfields. Journal of Environment Quality. 43: 6. 2064-2078.
14. Dixit, R.D., Malaviya, D., Pandiyan, K., Singh, U.B., Sahu, A., and Shukla, R. 2015. Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes. Sustainability; 7: 2. 2189-12.
15. Fayaz, F., and Zahedi, M. 2019. Effects of inoculation with mycorrhizal fungi and azotobacter on growth and oxidative responses of wheat to salinity and cadmium stresses. Journal of Plant Process and Function. 9: 39. 257-270.
16. Folk, R.L., and Ward, W.C. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. Journal of Sediment and Petrology. 27: 3-27.
17. Garty, J. 1985. The amounts of heavy metals in some lichens in the Negev Desert. Environment Pollution. 10: 287-300.
18. Ghafoor, A., Zia-UR-Rehman, M., Ghafoor, A., Murtaza, G., and Sabir, M. 2008. Fractionation and availability of cadmium to wheet as affected by inorganic amendments. International Journal of Agriculture Biology. 10: 5. 469-474.
19. Gholamhoseinian, A., Sepehr, A., and Sohrabi, M. 2019. The effect of biological soil crust (Moss and Lichen) on soil physicochemical properties in plain of the Takht-e-Sultan protected area of Khorasan-e-Razavi province. Research in Earth Science. 10: 38. 34-46. (In Persian)
20. Golchin, A., and Shafiee, S. 2003. Industrial activities and heavy metal contamination of agricultural soils in Zanjan province. Soil Science, environment and sustainable development Congress of Iran. TehRAN University. pp. 776-779. (In Persian)
21. Guo, H., Luo, S., Chen, L., Xiao, X., Xi, Q., and Wei, W. 2010. Bioremediation of heavy metals by growing hyperaccumulaor endophytic bacterium

Bacillus sp. L14. Bioresources Technology. 101: 228599-605.
22. Ekmekyapar, F., Aslan, A., Bayhan, Y. K., and Cakici, A. 2012. Biosorption of Pb (II) by Nonliving Lichen Biomass of *Cladonia rangiformis* Hoffm. International Journal of Environment Resources. 6(2): 417-424.
23. Han, F.X., Banin, A., and Triplett, G.B. 2001. Redistribution of heavy metals in arid-zone soils under a wetting-drying soil moisture regime. Soil Science. 166: 18-28.
24. Iran Department of Environment. 2014. Soil resource quality standards and guidelines, 161p.
25. Islam, E., Yang, X., Li, T., Liu, D., Jin, X., and Meng, F. 2007. Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. Journal of Hazard Mater. 147(3): 806-816.
26. Jarosławiecka, A. Z. 2014. Piotrowska-Seget Z. Lead resistance in micro-organisms. Microbiology. 160(Pt1):12-25.
27. Jarup, L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin. 68(1):167-82.
28. Kakeh, J., Gorji, M., Tavili, A., Sohrabi, M., and Pourbabaie, M. 2013. Investigation of the effect of biological soil crusts on soil hydrological properties in Qara Qir rangelands of Golestan province. Iranian Journal of Soil and Water Research. 44(4): 397-403. (In Persian)
29. Kelly, D.J., Budd, K., and Lefebvre, D. D. 2006. The biotransformation of mercury in pH-stat cultures of microfungi. Botany. 84: 2. 254-60.
30. Khodaghli, M. 2008. The final report of drought zoning in Isfahan Province. The Center of agricultural research and natural resources of Isfahan Province. (In Persian)
31. Kibria, M.G., Ahmad, M.J., Islam, M., and Osman, K.T. 2013. Dynamics of cadmium and lead in some soils ofChittagong, Bangladesh. IOSR Journal of Environmental Science Toxicology and Food Technology. 2: 6. 64-71.
32. Kim, D.W., Che, D.K., Wang, J., and Huang, C.P. 2002. Heavy metal removal by activated sludge: influence of Nocardia amarae. Chemosphere. 46: 137-142.
33. Kiran, I., Akar, T., and Tunali, S. 2005. Biosorption of Pb(II) and Cu(II) from aqueous solutions by pretreated biomass of *Neurospora crassa*. Process Biochemistry. 40: 11. 3550-3558.
34. Kopittke, P.M., Asher, C.J., Kopittke, R.A., and Menzies, N.W. 2007. Toxic effects of Pb^{2+} on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). Environment Pollution. 150: 2. 280-287.
35. Liu, D., Li, T.Q., Yang, X.E., Islam, E., Jin, X.F., and Mahmood, Q. 2008. Effect of Pb on leaf antioxidant enzyme activities and ultrastructure of the two ecotypes of *Sedum alfredii* Hance. Russian Journal of Plant Physiology. 55: 1. 68-76.
36. Lumini, E., Pan, J., Magurno, F., Huang, C., Bianciotto, V., Xue, X., Balestrini, R., and Tedeschi, A. 2020. Native Arbuscular Mycorrhizal fungi characterization from saline lands in arid oases, northwest China. Journal of Fungi. 6: 80. 1-9.
37. Miles, L.J., and Parker, G.R. 1979. DTPA soil extractable and plant heavy metal concentrations with soil added Cd treatments. Plant and Soil. 51: 59-68.
38. Molaverdi, M., Golchin, A., and Varasteh Khanlai, Z. 2020. The effect of different amounts of natural biocher and poultry manure on zinc and cadmium in a contaminated soil. *J. of Wat and Soil Cons*, 27: 4. 89-108. (In Persian)
39. Oconnor, G.A., Oconnor, C., and Cline, G.R. 1984. Sorption of cadmium by calcareous soils: influence of solution composition. *Americaan* Journal of Soil Science Society. 48: 1244-1247.
40. Parhizkar, M., and Dadgahi, S. 2009. Investigation of using green algae in coastal area in Bushehr to biofilttering of Ni, Pb, Cd and Cu. Journal of Environment. 49: 20-30. (In Persian)
41. Paoli, L., Vannini, A., Fackovcova, Z., Guarnieri, M., and Backor, M. 2018. One year of transplant: Is it

enough for lichens to reflect the new atmospheric conditions? Ecology Indices. 88: 495-502.
42. Parsadoost, F., Bahreininejad, B., Safarisanjaniand, A., and Kaboli, M. 2007. Phytoremediation of lead with native rangeland plants in Irankooh pollutedsoils. Pajuhesh and Sazandegi. 75: 54-63. (In Persian)
43. Rajaie, M. 2005. The effect of time and sources of cadmium and nickel on chemical forms, growth and uptake of these two elements by spinach. Ph.D. Thesis, Department of Soil Studies, Agriculture Faculty, Shiraz University. (In Persian)
44. Rasouli Sadaghiani, M.H., Karimi, H., Ashrafi Saeilou, S., and Khodaverdiloo, H. 2019. The effect of Humic Acid on the phytoremediation efficiency of Pb in the contaminated soils by wormwood plant (*Artemicia absantium*). Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources). 22: 4. 261-278. (In Persian)
45. Rastegar, A., Joneidi Jafari, A., Farzadkia, M., and Rezaee Gozalabad, Z. 2014. Survey of the effect of soil type on the leaching and absorption of heavy metal (Chromium, lead and cadmium) after compost application on the soil. Iranian Journal of Health and Environment. 6: 4. 522-534.
46. Rhoades, J. 1982. Soluble salts. Methods of soil analysis. Part 2.Chemical and microbial properties. American Soil Society of Agro-Soil Science, Madison. pp. 167-179.
47. Sarmad, J., Zamani, M., and Fallah, S.F. 2018. The effect of cadmium on growth characteristics and antioxidant enzymes in microalgea Anabena sp. Journal of Plant Research (Iran Journal of Biology). 31: 3. 611-624. (In Persian)
48. Singh, V.P., Srivastava, P.K., and Prasad S.M. 2012. Differential effect of UV-B radiation on growth, oxidative stress and ascorbate-glutathione cycle in two cyanobacteria under copper toxicity. Plant Physiology Biochemistry Journal. 61: 61-70.
49. Singer, A. 1989. Palygorskite and Sepiolite group minerals. P 829-872. In: Dixon, J.B., and Weed, S.B., (Eds,) Minerals in soil environment, Soil Science Society of America, Madison.
50. Skowronska, B., and Purvis, O.W. 2008. Lichen and metals. British Mycological Society, Elsevier, pp. 174-200.
51. Walkely, A., and Block, A. 1934. An Examination of the degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Science. 37: 1. 29-38.
52. Zamani Kebrabadi, B., Rejali, F., Hodjati, M., Emaeili Sharif, M., and Rahmani, H.R. 2021. Effect of Arbuscular Mycorrhizal fungi on lead bioremediation by *Cerasusmahaleb* L. Mill. Journal of Soil Biology. 8: 1. 89-105. (In Persian).
53. Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X., and Matis, K.A. 2004. Bio sorption of toxic metals from aqueous solution by bacterial strains isolated from metal-polluted soils. Process Biochemistry. 39: 909-916.