مستخرج از پایان نامه

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و سوم، شماره شش، شهریورماه ۱۴۰۰(۱۴-۱)

قابلیت گیاه یونجه در پالایش خاک آلوده به نیکل و سرب

صمد ظاهرمند[۱]

محمود وفائیان[۲*]

mahmood@cc.iut.ac.ir

محمدحسین بازیار[۳]

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۰ **تاریخ پذیرش: ۹۸/۵/۱۶**

چکیده

زمینه و هدف: در دهه اخیر مسئله آلودگی خاک به فلزات سنگین ازجمله نیکل و سرب، یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی به شمار می‌رود. بر اساس داده‌های آژانس حفاظت محیط‌زیست، نیکل در مقدار زیاد مضر و آلاینده‌ای خطرناک و سرب مهم‌ترین فلز آلاینده محیط می‌باشد. این مطالعه به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی خاک پالایشگاه گچساران با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی ضریب آلودگی، شاخص درجه آلودگی و شاخص اصلاح شده درجه آلودگی و بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی یونجه که بومی منطقه گچساران است.

روش بررسی: از خاک پالایشگاه گچساران در سال ۱۳۹۶ بعنوان مرکز آلودگی، چهار محدوده ۵۰۰-۰ متر، ۱۰۰۰-۵۰۰ متر، ۱۵۰۰-۱۰۰۰ متر و ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر انتخاب گردید. در هر محدوده ۵ نمونه خاک از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتر سطح خاک برداشت گردید. برای اندازه‌گیری فلزات سنگین از دستگاه ICP-OES استفاده شد. از نرم‌افزار SPSS برای تجزیه آماری استفاده شد.

یافته‌ها: آنالیز شاخص‌های زیست‌محیطی منطقه موردمطالعه را نسبت به عنصر نیکل با درجه آلودگی قابل‌توجه و نسبت به عنصر سرب با آلودگی بسیار بالا نشان می‌دهد. مقایسه میانگین غلظت نیکل و سرب در نمونه‌های خاک کشت‌شده با گیاه یونجه اختلاف معنی‌داری با میانگین غلظت نیکل و سرب در محدوده موردبررسی دارد.

بحث و نتیجه‌گیری: به‌طورکلی گیاه یونجه به‌عنوان گیاه بومی منطقه می‌تواند در شرایط نامناسب آلودگی باعث جذب و استخراج نیکل و سرب از خاک شود. نتایج نهایی این پژوهش نشان می‌دهد که توانایی گیاه یونجه در گیاه‌پالایی عنصر نیکل در خاک آلوده به مواد نفتی بیشتر از عنصر سرب در محدوده پالایشگاه گچساران می‌باشد.

واژه های کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، شاخص‌های زیست‌محیطی، گیاه‌پالایی.

---

۱ - دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران.

۲ - استاد، گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۳ - دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 23, No. 6, September, 2021

Ability of Alfalfa Plant to Refine Soil Contaminated with Nickel and Lead

Samad Zahermand [1]
Mahmod Vafaeian [2*]
mahmood@cc.iut.ac.ir
Mohammad Hosein Bazyar [3]

Admission Date: August 7, 2019 Date Received: December 1, 2017

Abstract

Background and Objective: In the recent decade, the issue of soil contamination with heavy metals such as nickel and lead is one of the most important environmental problems. According to data from the environmental protection agency, nickel is hazardous at large amounts and a dangerous pollutant and lead is the most important pollutant in the environment. This study was conducted to investigate the soil pollution status of Gachsaran refinery using environmental indicators of pollution coefficient, pollution degree index and modified pollution degree index and to investigate the potential of alfalfa refining plant which is native to Gachsaran region.

Material and Methodology: From the soil of Gachsaran refinery in 2017 as the center of pollution, were selected four ranges of 0-500 meters, 1000-500 meters, 1500-1000 meters and 2000-1500 meters. In each range, 5 soil samples were taken from a depth of 0 to 30 cm. The ICP-OES device was used to determine heavy metals. Statistical analysis was performed using SPSS software.

Findings: The analysis of the environmental indicators of the studied area showed a significant degree of contamination for nickel and a high contamination rate for lead. Comparison of mean concentrations of nickel and lead in cultivated soil samples with alfalfa cultivars showed significant difference with mean nickel and lead concentrations in the studied area.

Discussion and Conclusions: In general, Alfalfa as a native plant of the region in inappropriate pollution conditions can absorb and extraction nickel and lead from the soil. The final results of this study indicate that ability of alfalfa plant for phytoremediation of nickel in the soil contaminated with petroleum products is higher than that of lead in the Gachsaran refinery.

Keywords: Soil Pollution, Heavy Metals, Environmental Indicators, Phytoremediation.

1- Department of Civil Engineering, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2- Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran**(Corresponding Author)*
3- Department of Civil Engineering, Yasouj University, Yasouj, Iran

مقدمه

در سال‌های اخیر توجه به فلزات سنگین در خاک‌ها به دلیل آثار نامطلوب آن‌ها بر فعالیت‌های متابولیکی و فیزیولوژیکی موجودات زنده افزایش یافته است (۱). بسیاری از این عناصر نه‌تنها برای حیات بیولوژیکی ضروری نیستند بلکه بسیار هم خاصیت سمی دارند. این فلزات به دلیل سمیت زیاد و پایداری در محیط اثرات درازمدتی در اکوسیستم دارند. برخی فلزات به مقدار ناچیز برای عملکرد طبیعی بدن ضروری می‌باشند اما ورود بیش از اندازه آن‌ها به بدن مسمومیت ایجاد می کند. ایراد اصلی فلزات سنگین این است که در بدن متابولیزه نمی‌گردند. در واقع فلزات سنگین پس از ورود به بدن در بافت‌های بدن انباشته شده و موجب بروز بیماری‌ها و عوارض متعددی در بدن می‌شود. فلزات سنگین همچنین جایگزین دیگر املاح و مواد معدنی موردنیاز در بدن می‌گردند. از فلزات سنگینی که نقش گسترده‌ای در آلودگی محیط‌زیست دارند می‌توان از نیکل و سرب نام برد.

نیکل از فلزات سنگین بوده و در غلظت‌های کم برای ادامه حیات گیاهان ضروری است، اما در غلظت‌های زیاد، مضر و آلاینده‌ای خطرناک به شمار می‌رود. این فلزات قابلیت تجمع در بافت‌های حیوانی و گیاهی را نیز دارد. نیکل در غلظت‌های کم باعث سردرد، سرگیجه، حالت تهوع و در غلظت‌های زیاد می‌تواند باعث بروز سرطان ریه، مجاری تنفس و استخوان گردد (۲).

عنصر سنگین سرب عملکرد حیاتی ندارد و حتی در غلظت‌های کم برای موجودات زنده بسیار سمی هست. سرب کم‌تحرک‌ترین فلز سنگین در خاک محسوب می‌شود. غلظت زمینه‌ای سرب در کشور چین، متوسط شیل جهانی و متوسط پوسته جهانی به ترتیب ۲۶، ۲۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. آثار سمیت سرب در گیاهان در غلظت‌های بالاتر از ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم که درنهایت باعث کاهش رشد گیاه می‌گردد. این عنصر برای کلیه‌ها، سیستم تولیدمثل، گردش خون و اعصاب مضر بوده و سبب کاهش هوشیاری موجودات زنده می‌گردد.

یکی از فعالیت‌های انسانی که باعث بالا رفتن تمرکز فلزات سنگین در محیط‌زیست می‌شود رهاسازی نفت در محیط‌زیست است. نفت به‌عنوان بخشی از محیط‌زیست دارای فلزات سنگین نیکل و سرب است که می‌تواند در گسترش آلودگی نقش قابل‌توجهی را دارا باشد. تنفس هوای آلوده، استفاده از مشتقات نفتی، استفاده از گیاهان آلوده به مشتقات هیدروکربنی و حیوانات تغذیه‌کننده از این گیاهان و نوشیدن آب آلوده ازجمله موارد مهم و قابل‌ذکر برای تحت تأثیر قرار گرفتن انسان ناشی از آلودگی نفتی است. از تحقیقاتی که در بخش آلاینده‌های نیکل و سرب در مناطق نفت‌خیز صورت گرفته است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

متکو استامکوویچ[1] و همکاران (۲۰۱۷) اظهار نمودند که غلظت نیکل، آهن، منیزیم و روی در خاک‌های سرپانتین از مناطق مختلف مرکزی بوسنی هرزگوین بالا بوده و عناصر سرب، کادمیوم و کبالت قابل ردیابی هستند (۳). در پژوهشی تحت عنوان آلودگی هیدروکربن‌های نفتی و فلزات سنگین در خاک پنج پالایشگاه کشور در سال ۱۳۹۴ مشخص شد نیکل و کادمیوم در خاک‌های مورد مطالعه نسبت به استاندارد دنیا و اروپا بیشتر و غلظت دو فلز سرب و کروم کمتر از استانداردها می‌باشد. در داخل کشور پالایشگاه تهران نسبت به پالایشگاه‌های دیگر ازنظر آلودگی به فلزات سنگین در وضعیت بهتری قرار دارد (۴).

کامل[2] (۲۰۰۸) گزارش‌های متعددی را ارائه داد که گیاهان می‌توانند فلزات سنگین نیکل و سرب را از محیط جذب کرده و در ریشه و اندام‌های هوایی تجمع دهند (۵). به عقیده کیلیک[3] و همکاران (۲۰۱۷) متابولیک‌های ثانویه که نقش مهمی در تنظیم رابطه گیاهان با محیط‌زیست دارند، تحت تأثیر آلودگی خاک قرار می‌گیرند. متابولیک‌های ثانویه اغلب نقش تدافعی، اکولوژیک و حفظ بقا برای گیاه را دارد و معمولاً در واکنش‌های دفاعی در برابر عوامل مختلفی مانند تنش‌های محیطی، آفات و

1- Matko Stamenkovic
2- Kamel
3- KILIC

بیماری‌ها تولید می‌شوند و تحت تأثیر استرس عناصر سنگین قرار می‌گیرند (۶). خان[1] و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از دستگاه plasma mass spectrometry (ICP-MS) به بررسی عناصر کمیاب در گونه‌های مختلف گیاهی Cyperaceae، Gleicheniaceae و Melastomataceae در مناطق مختلف مالزی پرداختند. نتایج نشان داد که این گونه‌های گیاهی رشد یافته در منطقه توانایی جذب عناصر از خاک را دارند (۷). مطالعات نشان داده که گونه .Medicago sativa l قادر به تحمل فلزات سنگین ازجمله روی، سرب، نیکل، کروم، کادمیوم، مس و نقره در غلظت‌های بالا دارد (۸).

با گسترش صنعت، آلودگی خاک ناشی از تولیدات نفتی به‌ویژه در مناطق نفت‌خیز جنوب کشور افزایش یافته و پیامدهای غیرقابل جبرانی را بر محیط‌زیست وارد می‌نماید. غلظت زیاد آلاینده‌های نفتی علاوه بر خطر انتقال به آب‌های زیرزمینی و جذب بیشتر توسط گیاهان، بیماری برای موجودات زنده را به دنبال دارد. این مطالعه به‌منظور بررسی وضعیت آلودگی خاک پالایشگاه گچساران با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی ضریب آلودگی، شاخص درجه آلودگی و شاخص اصلاح شده درجه آلودگی و بررسی پتانسیل گیاه‌پالایی یونجه که بومی منطقه گچساران است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

منطقه مورد مطالعه در شهر دوگنبدان یکی از شهرهای شهرستان گچساران در استان کهگیلویه و بویراحمد در منتهی الیه مناطق نفت‌خیز ایران قرار گرفته است. منطقه نفتی گچساران از نواحی قدیم و مشهور صنعت نفت ایران به شمار می‌آید. در متون تاریخی از این شهر به نام گنبد ملغان یا گنبد ملجان یا گنبد ملگان یاد شده است. متوسط ارتفاع منطقه ۷۲۰ متر از سطح دریا و دارای آب‌وهوای گرمسیری است. میانگین دمای سالانه و بارش سالانه منطقه به ترتیب ۲۲/۵ درجه سانتی‌گراد و ۴۴۱ میلی‌متر است و تعداد روزهای یخبندان آن دو روز می‌باشد. پس از میدان نفتی عربستان و کویت، سومین میدان نفتی دنیا محسوب می‌شود و در رده‌بندی بزرگ‌ترین سفره‌های نفتی و در جایگاه سوم جهان قرار دارد. ازلحاظ زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه دارای سازندهای آسماری و بنگستان است که به‌عنوان مخزن آسماری و مخزن بنگستان معروف است و بخش اعظم تولید نفت از سازند آسماری صورت می‌گیرد که عمدتاً از سنگ‌های کربناته تشکیل شده است.

نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

در این مطالعه کاربردی، نمونه‌برداری در فروردین ماه سال ۱۳۹۶، بیست نمونه از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی متر سطح خاک از چهار محدوده مطالعاتی ۰ تا ۵۰۰ متر، ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر، ۱۰۰۰ تا ۱۵۰۰ متر و ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر از محدوده آلوده و به سمت خارج از محدوده آلوده انجام گرفت. هر نمونه در دو کیسه پلی‌اتیلن قرار گرفته و در فیبر سربسته جهت آماده‌سازی نمونه‌ها برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آلوده به آزمایشگاه منتقل شد. نمونه خاک به مدت ۴۸ ساعت در شرایط هوای آزاد خشک گردید و پس از عبور از الک نمره ۱۰، نمونه‌ها با هم مخلوط شدند تا نمونه خاک مرکب به دست آید.

آماده‌سازی بذر و کشت گیاه در خاک آلوده

گونه معروف جنس یونجه، گونه medicago sativa دارای ارقام متعددی می‌باشد که در مطالعه حاضر از رقم نیک شهری استفاده شده است. خاک هوا خشک و عبور از الک نمره ۱۰ در گلدان‌های پلاستیکی ۴ کیلوگرمی توزین شد. یک روز در میان ۱۵۰ گرم آب مقطر جهت آبیاری گلدان‌ها داده می‌شد. دمای محیط گلدان‌ها در روز ۵ $\pm$ ۴۳ درجه و در شب ۵ $\pm$ ۳۲ درجه سانتی‌گراد بود. تعداد ۱۰ گلدان برای بررسی توانایی پالایش گیاه یونجه آماده کشت شد. گلدانهای آزمایشی به مدت ۵ ماه در یک مکان کنترل شده جهت بررسی میزان پالایش فلزات سنگین نیکل و سرب توسط گیاه یونجه نگهداری شدند. بافت خاک گلدان‌ها با استفاده از آزمایش هیدرومتری مشخص شد.

1- Khan

محل کشت آزمایشی گیاه یونجه

کشت گلدان‌ها در این پژوهش در آزمایشگاه ایمن خاک جنوب در شهر دهدشت مرکز کهگیلویه از فروردین تا شهریور ۱۳۹۶ انجام شد. دهدشت از نظر جغرافیایی در ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه‌ی درازای خاوری و ۳۰ درجه و ۴۷ دقیقه‌ی پهنای شمالی و در ارتفاع ۸۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. آب‌وهوای این شهرستان به‌طورکلی گرم و خشک است. سالانه دما ۲۱/۴ سانتی پایه و میانگین میزان بارش سالانه ۳۹۰ میلی‌متر است. میانگین سالانه تبخیر و تعرق از تشتک کلاس A، ۲۲۶۸/۸ میلی‌متر بوده است.

تعیین مقدار فلزات سنگین نیکل و سرب در خاک

برای تعیین غلظت فلزات سنگین نیکل و سرب پس از عبور نمونه‌های خاک از الک نمره ۱۰ و خشک شدن در اون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۵ سی‌سی اسیدنیتریک ۴ نرمال برای عصاره گیری استفاده گردید. در انتها نمونه‌ها از کاغذ استات سلولزی ۰/۲۳ عبور داده شد و غلظت فلزات نیکل و سرب با دستگاه ICP-OES مدل GBC AVANTA ساخت کشور استرالیا قرائت گردید. برای هر کدام از گلدانها، ۲ آزمایش و جمعا ۲۰ آزمایش برای تعیین میزان غلظت فلزات سنگین نیکل و سرب خاک گلدانها انجام شد.

تعیین مقدار فلزات سنگین نیکل و سرب در نمونه‌های گیاه یونجه

پس از یک دوره پنج‌ماهه، گیاه به‌آرامی از خاک گلدان جدا و پس از تمیز کردن اندام ریشه از خاک با آب شهر شستشو داده شد و جهت تعیین مقدار آلاینده نیکل و سرب در اندام هوایی و ریشه گیاه به مدت ۴۸ ساعت در اون قرار داده شد. پس از خشک شدن، نمونه‌های گیاه آسیاب شده و به کمک اسید نیتریک و آب‌اکسیژنه عصاره گیری شد و عناصر نیکل و سرب استخراج شد. برای اندازه‌گیری عناصر سنگین از دستگاه ICP-OES مدل GBC AVANTA ساخت کشور استرالیا استفاده شد. برای هر کدام از گلدانها ۴ آزمایش و جمعا ۴۰ آزمایش برای تعیین غلظت فلزات سنگین نیکل و سرب اندام هوایی و اندام زمینی گیاه یونجه انجام شد.

شاخص‌های زیست‌محیطی

بررسی درجه آلودگی یک منطقه به فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست‌محیطی نیازمند تعیین غلظت عناصر سنگین آن منطقه با استانداردهای موجود همان منطقه می‌باشد زیرا شرایط زمین‌شناختی و اقلیمی گوناگون در نقاط مختلف دنیا، غلظت‌های متفاوتی را ایجاد می‌کند. در منطقه مورد مطالعه به دلیل فقدان استانداردهای خاص برای درجه آلودگی خاک از غلظت زمینه‌ای متوسط شیل جهانی که توسط ترکیان و ودفول[1] ارائه شده استفاده گردیده است (۹). غلظت نیکل و سرب در میانگین شیل برای فلزات سنگین نیکل و سرب به ترتیب ۵۰ و ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد.

شاخص ضریب آلودگی[2]: ضریب آلودگی هاکنسون[3] (۱۹۸۰) عبارت است از غلظت فلز در محیط به مقدار زمینه همان فلز (جدول ۱). **شاخص درجه آلودگی**[4]: مجموع ضرایب آلودگی آلاینده مورد مطالعه، درجه کلی آلودگی را بیان می‌کند که به آن درجه آلودگی هاکنسون گفته می‌شود (جدول ۱) (۱۰). به خاطر وجود محدودیت‌هایی که در شاخص درجه آلودگی ارائه شده بود، **شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی**[5] (نسبت شاخص درجه آلودگی به تعداد آلاینده‌های مورد بررسی) مطرح گردید (جدول ۲).

1- Turkian and Wedephol
2- contamination factor
3- Hakanson
4- degree of contamination
5- modified degree of contamination

جدول ۱- رده‌بندی هاکنسون بر مبنای ضریب آلودگی و درجه آلودگی

Table 1. Hucnson's classification based on pollution factor and degree of contamination

وضعیت آلودگی	ضریب آلودگی	کیفیت رسوب	درجه آلودگی
ضریب آلودگی پایین	cf<۱	درجه آلودگی پایین	cd<۶
ضریب آلودگی متوسط	۱≤cf<۳	درجه آلودگی متوسط	۶≤cd<۱۲
ضریب آلودگی قابل‌توجه	۳≤cf<۶	درجه آلودگی قابل‌توجه	۱۲≤cd<۲۴
ضریب آلودگی بسیار بالا	cf≥۶	درجه آلودگی بسیار بالا	cd≥۲۴

جدول ۲- درجه‌بندی سطح آلودگی بر مبنای mcd

Table 2. Grading the level of contamination based on mcd

وضعیت آلودگی رسوب	محدوده شاخص درجه	وضعیت آلودگی رسوب	محدوده شاخص درجه
درجه بسیار پایین از آلودگی	mcd <۱/۵	درجه بسیار بالا از آلودگی	۸≤mcd<۱۶
درجه پایین از آلودگی	۱/۵≤ mcd <۲	به‌شدت بسیار بالا آلوده	۱۶≤mcd<۳۲
درجه متوسط از آلودگی	۲≤ mcd <۴	آلوده با درجه مافوق زیاد	mcd≥۳۲
درجه بالا از آلودگی	۴≤ mcd <۸	-	-

ارزیابی پالایش گیاه یونجه

شاخص های مورد استفاده در این تحقیق جهت ارزیابی توانایی گیاه یونجه برای پالایش آلاینده‌های نیکل و سرب از خاک آلوده، شامل ضریب انتقال وفاکتور اندوزش زیستی و فاکتور تجمع بیولوژیکی است.

ضریب انتقال[1]: عبارت است از نسبت غلظت آلاینده مورد بررسی در اندام هوایی گیاه به غلظت آلاینده در اندام ریشه‌ای. **فاکتور اندوزش زیستی**[2]: عبارت است از نسبت آلاینده‌ی مورد بررسی در اندام هوایی گیاه به غلظت آلاینده در محیط کشت. **فاکتور تجمع بیولوژیکی**[3]: عبارت است از نسبت غلظت فلز در اندام ریشه‌ای گیاه به غلظت فلز در خاک (۱۱).

تجزیه و تحلیل داده‌ها

ابتدا با استفاده از روش کلموگروف-اسمیرنوف فرض نرمال بودن داده‌ها بررسی شد. از نرم‌افزار SPSS 17 برای تجزیه و تحلیل آماری استفاده شد. از آزمون t-test به‌منظور بررسی مقایسه میانگین داده‌های خاک با حد بحرانی و همچنین اختلاف بین میزان سرب و نیکل در اندام‌های هوایی و ریشه‌ای استفاده شد.

نتایج

غلظت نیکل و سرب برای چهار محدوده مطالعاتی در شکل ۱ آورده شده است. نتایج آزمایش هیدرومتری خاک گلدان‌ها برای ماسه، سیلت و رس، به ترتیب ۶۰، ۲۹ و ۱۱ درصد می‌باشد.

1-Transfer Coefficient
2- Bio Concentration Factor
3- Bio Concentration Factor

شکل۱- غلظت نیکل و سرب خاک در محدوده موردمطالعه

Figure1. Nickel and lead concentrations in the studied area

نتایج حاصل از بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی

نتایج مقادیر شاخص ضریب آلودگی، شاخص درجه آلودگی و شاخص اصلاح شده درجه آلودگی مربوط به عناصر نیکل و سرب مربوط به خاک محل مورد مطالعه در جدول ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج حاصل، از محدوده اول به سمت محدوده چهارم از آلودگی منطقه کاسته می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد محدوده مورد مطالعه آلودگی بالایی دارد.

جدول ۳- نتایج مقادیر شاخص ضریب آلودگی، شاخص درجه آلودگی و اصلاح شده آن مربوط به عناصر نیکل و سرب

Table3. Results of the indicator of the coefficient of pollution, degree of contamination index and corrected for nickel and lead elements

شاخص ضریب آلودگی			شاخص درجه آلودگی		شاخص اصلاح‌شده درجه آلودگی	
نمونه آزمایش	نیکل	سرب	نیکل	سرب	نیکل	سرب
۱	۴/۰۰	۱۴۵/۰۰	۱۴/۷۴	۵۴۵/۷۷	۳/۶۹	۱۳۶/۴۴
۲	۳/۶۷	۱۳۹/۲۵				
۳	۳/۵۷	۱۳۲/۰۲				
۴	۳/۵۰	۱۲۹/۵۰				

نتایج حاصله از بررسی غلظت نیکل و سرب خاک در محدوده مورد مطالعه

با توجه به نتایج حاصل از مقایسه میانگین بین غلظت نیکل در محدوده‌های مورد بررسی و سرب در محدوده‌های مورد بررسی اختلاف معناداری وجود دارد. این نتایج نشان می‌دهد از محدوده‌ی اول به سمت محدوده‌ی چهارم از غلظت سرب کاسته شد و بافاصله گرفتن از مرکز آلودگی غلظت سرب کاهش‌یافته است. همچنین از محدوده‌ی اول به سمت محدوده‌ی چهارم از غلظت نیکل کاسته شد و بافاصله گرفتن از مرکز آلودگی غلظت نیکل کاهش یافته است.

نتایج حاصل از مقایسه غلظت نیکل و سرب خاک با حداکثر مقدار مجاز آن

نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت نیکل و سرب کل با حداکثر مجاز آن در خاک منطقه اختلاف معناداری دارد و بیشتر از آن می‌باشد ($p<0/001$) (جدول ۴). به عبارتی خاک منطقه موردمطالعه بسیار آلوده به این دو فلز می‌باشد.

جدول۴- مقایسه غلظت نیکل و سرب خاک با حداکثر مقدار مجاز آن (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table4. Comparison of nickel and lead concentrations with maximum permitted values (mg/kg)

منابع تغییرات	غلظت فلز	درجه آزادی	نتیجه آزمون t
	انحراف استاندارد±میانگین		
میانگین غلظت نیکل	۱۸۴/۲۵±۱۱/۲۶	۳	۲۴/۲۶۷
میانگین غلظت سرب	۲۷۲۸/۸۶±۱۴۰/۸۷	۳	۳۸/۵۴۷

نتایج غلظت نیکل و سرب اندام هوایی، اندام ریشه‌ای و خاک محیط کشت گیاه

در پایان مطالعه گیاهان به‌آرامی از خاک گلدان‌ها جدا شدند. نتایج غلظت آلاینده‌های نیکل و سرب در اندام هوایی، ریشه و خاک ده نمونه گلدان به ترتیب در جدول ۵ ارائه‌شده است.

جدول۵- غلظت آلاینده نیکل و سرب در اندام هوایی و ریشه یونجه و خاک گلدان‌ها (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 5. Concentration of nickel pollutants in alfalfa roots and abovegroundorgans and soil pots (mg/kg)

شماره نمونه	نیکل خاک	نیکل اندام هوایی	نیکل ریشه	سرب خاک	سرب اندام هوایی	سرب ریشه
۱	۱۲۶/۰	۴۰/۰	۴۰/۰	۱۹۹۰/۰	۱۷۹/۲	۱۹۵/۳
۲	۱۳۴/۳	۳۷/۴	۳۹/۸	۱۹۵۴/۸	۱۷۳/۸	۱۹۵/۸
۳	۱۳۲/۰	۳۷/۸	۳۹/۵	۲۰۲۸/۵	۱۷۷/۴	۱۹۸/۷
۴	۱۳۵/۵	۳۷/۱	۳۹/۲	۲۰۱۱/۰	۱۸۱/۲	۲۰۰/۵
۵	۱۲۹/۰	۳۶/۲	۳۷/۴	۲۰۰۶/۱	۱۷۰/۱	۲۰۲/۰
۶	۱۴۷/۳	۴۷/۴	۴۶/۹	۲۱۰۲/۵	۲۲۱/۱	۲۳۱/۹
۷	۱۴۶/۰	۴۴/۳	۴۸/۲	۲۱۲۲/۴	۱۸۹/۶	۲۴۹/۵
۸	۱۴۵/۰	۴۷/۳	۴۷/۶	۲۱۰۱/۲۵	۱۹۴/۱	۲۴۱/۸
۹	۱۴۵/۰	۴۵/۲	۴۶/۸	۲۰۸۷/۰	۲۰۴/۴	۲۷۶/۰
۱۰	۱۴۲	۴۶/۶	۴۸/۴	۲۱۲۹/۶	۲۴۷/۰	۲۵۶/۷

نتایج شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی

مقادیر شاخص ضریب انتقال، فاکتور اندوزش زیستی و فاکتور تجمع بیولوژیکی برای عناصر نیکل و سرب در جدول ۶ آمده است.

جدول۶- مقادیر شاخص توانایی ارزیابی پالایش عنصر نیکل و سرب از خاک آلوده توسط گیاه یونجه

Table 6. Values of the ability to evaluate the refining of the nickel and lead element from soil contaminated by Alfalfa

شماره نمونه	نیکل			سرب		
	ضریب انتقال	فاکتور اندوزش زیستی	فاکتور تجمع بیولوژیکی	ضریب انتقال	فاکتور اندوزش زیستی	فاکتور تجمع بیولوژیکی
۱	۰/۹۹	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۹۲	۰/۰۹	۰/۱۰
۲	۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۱۰
۳	۰/۹۶	۰/۲۹	۰/۳۰	۰/۸۹	۰/۰۹	۰/۱۰
۴	۰/۹۵	۰/۲۷	۰/۲۹	/۹۰	۰/۰۹	۰/۱۰
۵	۰/۹۷	۰/۲۸	۰/۲۹	۰/۸۴	۰/۰۹	۰/۱۰
۶	۱/۰۰	۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۹۵	۰/۱۱	۰/۱۱
۷	۰/۹۲	۰/۳۰	۰/۳۳	۰/۷۶	۰/۰۹	۰/۱۲
۸	۰/۹۹	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۸۰	۰/۰۹	۰/۱۲
۹	۰/۹۷	۰/۳۱	۰/۳۲	۰/۷۴	۰/۱۰	۰/۱۳
۱۰	۰/۹۶	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۹۶	۰/۱۲	۰/۱۲

نتایج حاصل از مقایسه میانگین غلظت نیکل و سرب خاک محیط کشت گیاه با محدوده مورد بررسی

نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت نیکل خاک در گلدان‌ها با میانگین غلظت نیکل در چهار محدوده خاک تفاوت معناداری دارد (جدول ۷). به این معنا که میزان غلظت نیکل در خاک گلدان‌ها از میانگین غلظت نیکل در چهار محدوده خاک کمتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که میانگین غلظت سرب خاک در گلدان‌ها با میانگن غلظت سرب در چهار محدوده خاک تفاوت معناداری دارد. به این معنا که میزان غلظت سرب در گلدان‌ها از میانگین غلظت سرب در چهار محدوده خاک کمتر می‌باشد.

جدول۷- مقایسه میانگین غلظت نیکل و سرب خاک محیط کشت گیاه با محدوده مورد بررسی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 7.Comparison of the average concentration of nickel and lead in soil of the cultivar with the studied area (mg/kg)

منابع تغییرات	انحراف استاندارد±میانگین	درجه آزادی	نتیجه آزمون t
غلظت نیکل	۱۳۸/۲۱±۷/۷۸	۹	-۱۸/۷۱۰
غلظت سرب	۲۰۵۳/۶۱±۶۲/۱۷	۹	-۳۴/۳۵۸

نتایج حاصل از مقایسه میانگین نیکل و سرب اندام هوایی و اندام ریشه‌ای گیاه یونجه

نتایج نشان می‌دهد که بین میانگین غلظت نیکل اندام هوایی با میانگین نیکل ریشه در گلدان‌ها تفاوت معناداری دارد. به این معنا که میزان غلظت نیکل اندام هوایی از میانگین غلظت ریشه در گلدان‌ها کمتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که بین میانگین غلظت سرب اندام هوایی با میانگین سرب ریشه در گلدان‌ها تفاوت معناداری وجود ندارد (جدول ۸).

جدول۸ - مقایسه میانگین نیکل و سرب اندام هوایی و اندام ریشه‌ای گیاه یونجه (میلی‌گرم بر کیلوگرم)

Table 8. Comparison of Average Nickel and Lead abovegroundorgans and roots of alfalfa (mg/kg)

منابع تغییرات	انحراف استاندارد±میانگین	درجه آزادی	نتیجه آزمون t
نیکل اندام هوایی	۴۱/۹۲±۴/۶۴	۹	-۳/۶۲۱
نیکل ریشه	۴۳/۳۸±۴/۵۰		
سرب اندام هوایی	۱۹۳/۷۴±۲۴/۲۹	۹	-۱/۹۳۸
سرب ریشه	۲۲۴/۶۲±۳۰/۲۰		

نتایج میانگین شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه‌پالایی مقادیر فاکتور انتقال، ضریب تجمع بیولوژِیکی و فاکتور تجمع بیولوژیکی برای میانگین غلظت عناصر نیکل و سرب برای گیاه یونجه در جدول (۹) ارائه شده است.

جدول۹- میانگین مقادیر شاخص‌های ارزیابی توانایی گیاه یونجه در پالایش عناصر نیکل و سرب

Table 9. Average values of indices of evaluation of alfalfa plant's ability to refine nickel and lead elements

آلاینده	نیکل	سرب
	انحراف استاندارد ± میانگین	انحراف استاندارد ± میانگین
ضریب انتقال	۰/۹۷±۰/۰۲۴۶	۰/۸۶±۰/۰۷۶۹
فاکتور اندوزش زیستی	۰/۳۰±۰/۰۲۲۱	۰/۰۹۶±۰/۰۱۰۸
فاکتور تجمع بیولوژِیکی	۰/۳۱±۰/۰۱۷۸	۰/۱۱±۰/۰۱۱۵

بحث و نتیجه‌گیری

آلودگی خاک به هیدروکربن‌های نفتی به‌عنوان یک تهدید جدی برای محیط‌زیست تلقی می‌شود و به علت خصوصیت سمی بودن و سرطان‌زایی برای موجودات زنده، باعث نگرانی حامیان محیط‌زیست شده است. فلزات سنگین ناشی از ترکیبات هیدروکربنی سبب بالا بردن غلظت این عناصر در خاک می‌شود که ممکن است به چندین برابر افزایش یابد. نیکل و سرب ازجمله آلاینده‌های می‌باشند که مقدار مجاز آن‌ها در خاک در مقایسه با عناصر دیگر پایین بوده و عنصر سرب علاوه بر خاصیت سمی بودن سبب کاهش رشد گیاه، اختلال در توزیع مواد غذایی، تغییر در بافت خاک، بر هم زدن تعادل آب و مهار یا فعال‌سازی فعالیت‌های آنزیمی می‌گردد و افزایش نیکل در خاک باعث کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش عملکرد گیاه می‌شود. در مطالعه حاضر از طریق نمونه‌برداری‌های متعدد از خاک آلوده منطقه مورد مطالعه به بررسی شاخص‌های زیست‌محیطی و توانایی گیاه یونجه در پالایش عنصر نیکل و سرب از خاک آلوده پرداخته شد. با توجه به نتایج محاسبه شده، ضریب آلودگی برای عناصر نیکل و سرب بر اساس رده‌بندی هاکنسون، عنصر نیکل ضریب آلودگی قابل‌توجه و عنصر سرب ضریب آلودگی بسیار بالا در منطقه موردمطالعه دارد. با توجه به محاسبات صورت گرفته برای شاخص درجه آلودگی، نیکل درجه آلودگی قابل توجه و سرب درجه آلودگی بسیار بالا دارد. برای شاخص اصلاح شده، نیکل درجه متوسط آلودگی و سرب آلودگی با درجه مافوق زیاد دارد.

نتایج حاصل از جدول ۵ نشان می‌دهد بالاترین غلظت نیکل در اندام هوایی گیاه یونجه ۴۷/۳۵ و پایین‌ترین آن ۳۶/۲ و بالاترین غلظت سرب در اندام هوایی ۲۴۷ و پایین‌ترین آن در اندام هوایی گیاه یونجه ۱۷۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بالاترین غلظت نیکل و سرب در اندام ریشه گیاه یونجه به ترتیب ۴۸/۴ و ۲۷۶ و پایین‌ترین غلظت نیکل و سرب در ریشه به ترتیب ۳۷/۴ و ۱۹۵/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. بالاترین غلظت نیکل و سرب در خاک گلدان‌ها پس از طی دوره پنجماهه به ترتیب ۱۴۷/۳ و ۲۱۲۹/۶ و پایین‌ترین غلظت نیکل

و سرب در خاک گلدان‌ها به ترتیب ۱۲۶ و ۱۹۵۴/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی مقادیر فاکتور انتقال در گیاه یونجه نشان داد بالاترین نسبت نیکل در اندام هوایی به ریشه ۱ و پایین‌ترین نسبت نیکل در اندام هوایی به ریشه ۰/۹۲، بالاترین نسبت سرب در اندام هوایی به ریشه ۰/۹۶ و پایین‌ترین نسبت سرب در اندام هوایی به ریشه ۰/۷۴ است.

مقادیر فاکتور اندوزش زیستی و فاکتور تجمع بیولوژیکی برای گیاه یونجه در تمامی نمونه‌ها کمتر از یک هست. حداکثر و حداقل مقدار فاکتور اندوزش زیستی گیاه یونجه برای نیکل ۰/۳۳ و ۰/۲۷ و برای سرب ۰/۱۲ و ۰/۰۹ می‌باشد. حداکثر و حداقل فاکتور تجمع بیولوژیکی گیاه یونجه برای نیکل ۰/۳۴ و ۰/۲۹ و برای سرب ۰/۱۳ و ۰/۱ می‌باشد. محققین اظهار داشته اند گیاهانی که مقدار شاخص‌های ضریب انتقال و فاکتور اندوزش زیستی در آن‌ها بزرگ‌تر از یک باشد، برای فرایند گیاه استخراجی مناسب هستند. گیاهانی که در آن‌ها مقدار ضریب انتقال کمتر از یک و مقدار فاکتور تجمع بیولوژیکی بیشتر از یک باشد برای فرایند گیاه تثبیتی مناسب هستند (۱۲). با توجه به میانگین ضریب انتقال به‌دست‌آمده عنصر نیکل و سرب به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۸۶، میانگین فاکتور اندوزش زیستی برای عنصر نیکل و سرب به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۰۹۶ و میانگین فاکتور تجمع بیولوژیکی عنصر نیکل و سرب به ترتیب ۰/۳۱ و ۰/۱۱ در مورد گیاه یونجه، گیاه مورد مطالعه برای گیاه استخراجی و گیاه تثبیتی مناسب نمی‌باشد. با توجه به مقدار ضریب انتقال بالاتر نیکل در مقایسه با سرب، گیاه یونجه در استخراج نیکل نسبت به سرب توسط اندام هوایی بهتر می‌باشد. الن[1] و همکاران (۲۰۰۰) اظهار کردند که ضریب انتقال در گیاهان انباشتگر بزرگ‌تر از ۱ و گیاهان دافع کمتر از ۱ است (۱۳). با توجه به نسبت به‌دست‌آمده فاکتور انتقال نیکل و سرب توسط گیاه یونجه که کمتر از ۱ است گیاه یونجه برای پالایش آلاینده سرب و نیکل از خاک آلوده نفتی پالایشگاه به‌عنوان گیاه دافع عمل می‌کند و تجمع این دو فلز در ریشه نسبت به اندام هوایی بیشتر است. پالایش گیاه یونجه با دو فلز سنگین نیکل و سرب منجر به جذب این عناصر در اندام ریشه‌ای و اندام هوایی گردید که این جذب در اندام ریشه‌ای نسبت به اندام هوایی بیشتر بوده است به‌طوری‌که میانگین نیکل جذب شده در اندام ریشه‌ای ۳/۵۰ درصد بیشتر از میانگین نیکل جذب شده در اندام هوایی و میانگین سرب جذب شده در اندام ریشه‌ای ۱۵/۹ درصد بیشتر از میانگین سرب جذب شده در اندام هوایی گیاه یونجه می‌باشد.

طبق مطالعات صورت گرفته توسط مرین [2] و همکاران (۲۰۰۴) میزان نیکل در گیاهان مرتعی را در محدوده ۰/۳ تا ۳/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حد بحرانی آن را در گیاهان ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمودند (۱۴). نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه نشان داد که حداقل و حداکثر مقدار نیکل در اندام هوایی گیاه یونجه ۳۶/۲ و ۴۷/۳۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد. این میزان جذب نیکل در اندام هوایی گیاه یونجه نشان دهنده توانایی پالایش یونجه برای آلاینده نیکل از خاک‌های آلوده نفتی پالایشگاه می‌باشد. کاباتا و پندایس[3] (۲۰۱۰) اظهار نمودند فلز سرب تأثیری در متابولیسم گیاهان ندارد و این فلز ممکن است به‌طور طبیعی در همه گیاهان وجود داشته باشد. همچنین ایشان بیان نمودند گیاهانی که بتوانند در حضور بالای این فلز در خاک رشد کنند مقاوم به این فلز هستند (۱۵). با توجه به مقدار حداکثر سرب جذب شده در اندام هوایی و ریشه گیاه یونجه در تحقیق حاضر به ترتیب ۲۴۷ و ۲۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشخص می‌شود این گیاه قادر به تحمل میزان سرب تا ۲۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم را دارا است. الاوی[4] و همکاران (۱۹۹۰) مقدار مجاز سرب برای گونه‌های گیاهی ۰/۲ تا ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش دادند (۱۶). در تحقیق حاضر گیاه یونجه توانسته مقدار ۲۷۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم را در ریشه و ۲۴۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم را در اندام هوایی خود جذب نماید. بررسی میانگین غلظت آلاینده‌های نیکل و سرب نشان می‌دهد که فاکتور اندوزش زیستی و فاکتور تجمع بیولوژیکی برای گیاه یونجه کمتر از ۱ است، اما فاکتور اندوزش زیستی و فاکتور

1 - Alan

2 - Merian
3 - Kabata and Pendias
4 - Alloway

تجمع بیولوژیکی مربوط به عنصر نیکل به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۳۱، حدود سه برابر بیش‌تر از فاکتور اندوزش زیستی و فاکتور تجمع بیولوژیکی عنصر سرب به ترتیب ۰/۰۹ و ۰/۱۱ می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توانایی گیاه یونجه در پالایش آلاینده نیکل هم در ریشه و هم در اندام هوایی بیش‌تر از آلاینده سرب می‌باشد که علت آن می‌تواند تحرک و حلالیت کم سرب حتی در غلظت‌های بالا باشد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر مطالعات در جدول ۱۰ ارائه شده است.

جدول۱۰- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر مطالعات

Table 10. Comparison of the results of this study with other studies

ردیف	توصیف
۱	گیاه یونجه برای جذب فلزات سنگین مناسب نیست (۱۷).
۲	گیاه یونجه پالایش خاک‌های آلوده به فلزات با غلظت بیش از ۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم را به‌خوبی انجام می‌دهد (۱۸).
۳	مخلوط دو گیاه یونجه-فسکیو در کاهش آلودگی‌های نفتی در غلظت‌های بالاتر از ۵ درصددر خاک، مناسب نیست (۱۹).
۴	گیاه یونجه و چمن برای کاهش آلودگی نفت کوره مناسب است و تا حدودی عملکرد چمن بهتر است (۲۰).
۵	گیاه‌پالایی برای خاک‌های آلوده به مواد نفتی با غلظت بیش از ۵/۵ درصد در خاک، روش مناسبی نیست (۲۱).
۶	در مطالعه حاضر اندام هوایی و ریشه‌ای گیاه یونجه در جذب نیکل و سرب خاک آلوده نفتی برابر بوده اما توانایی یونجه در جذب نیکل در ریشه و اندام هوایی بیش‌تر از فلز سرب می‌باشد.

به‌طورکلی با افزایش سطح آلودگی ناشی از فلزات سنگین نیکل و سرب، رشد گیاهان کاهش پیدا می‌کند. دلیل این موضوع میتواند این باشد که در حضور نیکل و سرب، جذب روی و آهن به ریشه و انتقال آنها به اندام هوایی کاهش می یابد و رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می دهد. اندام هوایی و ریشه‌ای گیاه یونجه در جذب نیکل و سرب خاک آلوده نفتی برابر بوده اما توانایی گیاه یونجه در جذب نیکل در ریشه و انتقال آن به اندام هوایی بیش‌تر از فلز سرب می‌باشد. هرچند محدودیت استفاده از گیاه‌پالایی یونجه در حذف نیکل و سرب شامل مدت زمان طولانی جهت کاهش غلظت آلاینده‌ها سنگین، تخریب و انهدام یونجه آلوده و حجم عظیم بیومس تولید شده و تغذیه دام‌ها از اندام هوایی گیاه یونجه در محیط آلوده به این فلزات که منجر به تهدید سلامتی انسان می‌شوند، اما با توجه به ارزان بودن و کارایی بالای آن می‌توان روش مؤثر در پالایش خاک آلوده به نیکل و سرب باشد. با در نظر گرفتن اثرات مضر فلزات سنگین بر سلامتی انسان پیشنهاد می‌گردد که غلظت فلزات دیگر در منطقه مورد مطالعه بررسی شود. همچنین با توجه به تنوع گونه‌های گیاهی در منطقه مورد مطالعه، استفاده از گونه‌های گیاهی موجود برای زدودن خاک‌های آلوده به مواد نفتی و فلزات سنگین به پژوهشگران پیشنهاد می‌شود. نتایج این مطالعه می‌تواند برای تدوین برنامه‌های زیست‌محیطی برای رفع آلودگی و ارزیابی گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به نفت مورد استفاده قرار گیرد.

Reference

1. Miretzky, P., Saralegui, A., Fernandez Cirelli., A., 2004. Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). Chemosphere, Vol. 57, pp. 997-1005.
2. Parneyan A, Chorom M, Jafarzadeh Haghighi-Fard N, M. Dinarvand M., 2011. Phytoremediation of nickel from hydroponic system by hydrophyte coontail ceratophyllum demersum L.). ejgcst. Vol. 6, pp. 75-84 (in persian).
3. Matko Stamenkovic, U., Andrejic, G., Mihailovic, N., Sinzar-Sekulic, J., 2017. PERACCUMULATION OF NI BY ALYSSUM MURALE WALDST. & KIT. FROM ULTRAMAFICS IN

BOSNIA AND HERZEGOVINA. APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, Vol. 15, pp. 359-372.

4. Alipour asadabadi, Z., Malekian, M., Soleimani, M. 2016. Contamination by Petroleum hydrocarbons and Heavy metals in Soils of Five Oil Refineries. Journal of Water and Soil Conservation Studies, Vol 23, pp. 273-284. (In persian)
5. Kamel, H. A., 2008. Lead Accumulation and its Effect on Photosynthesis and Free Amino Acids in Vicia faba Grown Hydroponically. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 2, pp. 438-446.
6. KILIC, S., KILIC, M., 2017. Effects of Cadmium-Induced Stress on Essential Oil Production, Morphology and PHysiology of Lemon Balm (MELISSA OFFICINALIS L., LAMIACEAE). APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, Vol. 15, pp. 1653-1669.
7. Khan, A. M., Yusoff, I., Abu Bakar, N. K., Abu Bakar, A. F., Alias, Y., 2016. Accumulation, Uptake and Bioavallability of RARE Earth Elements (REES) in Soil Grown Plants from Ex-Mining AREA in Perak, Malaysia. APPLIED ECOLOGY AND ENVIRONMENTAL RESEARCH, Vol.15, pp. 117-133.
8. Peralta-Videa, J.R., Gardea-Torresdey, J.L., Gomez, E., Tiemann, K.J., Parsons, J.G., Carrillo, G., 2002. Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfa growth and heavy metal uptake. Environmental Pollution, Vol. 119, pp. 291–301.
9. Turkian, K.K., Wedephol, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth crust. Geological Society of America Bulletin, Vol. 72, pp. 175-192.
10. Hakanson, L., 1980. Ecological risk index for aquatic pollution control, a sedimentological approach. Water Research, Vol. 14, pp. 975-1001.
11. Doumett, S., Lamperi, L., Checchini, L., Azzarello, E., Mugnai, S., Mancuso, S., Petruzzelli. G., Del Bubba, M., 2008. Heavy metal distribution between contaminated soil and Paulownia tomentosa, in a pilot-scale assisted phytoremediation study: Influence of different complexing agents. Chemosphere, Vol. 72, pp. 1481-1490.
12. Yoon, J., Cao, X., Zhou, Q., Ma, L.Q., 2006. Accumulation of Pb, Cu, and Zn in native plants growing on a contaminated Florida site. Science of the Total Environment, Vol. 368, pp. 456-464.
13. Alan J. M., M. Baker, S.P. McGrath, R.D. Reeves., Smith. J.A.C., 2000. Metal Hyperaccumulator Plants: a Review of the Metal-Polluted Soils, in Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Terry N. & Banuelos G. Ed., CRC Press LLC, pp. 85-107.
14. Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoeppler, M., 2004. Elements and their Compounds in the Environment. vol. 2, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaa, weinheim.
15. Kabata, A., Pendias, H., 2010., Trace Metals in Soils and Plants, CRC Press, Boca Raton, Fl, USA, 2nd edition, 548p.
16. Alloway, B. J., 1995. Heavy metals in soils. - Blackia Publisher, 368p.

17. Baker, A. J., Mcgrath, S. P., Reeves, R. D., Smith, A. J. C., 2000. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: Terry, N., Ban˜ uelos, G. (Eds.), Phytoremediation of Contaminated Soil and Water. Lewis Publishers, CRC Press LLC, Boca Raton Florida, pp. 85–108.
18. Peralta, J. R., Gomez, E., Gardea Torresdey, J. L., Tiemann, K. J., Armenda´ riz, V., Herrera, I., Walton, J., Carrillo, G., Parsons, J. G., 2001b. Effect of metal concentration and soil pH upon heavy metal uptake and plant growth in alfalfa. Hazardous Substance Research Center 2001 Conference, Manhattan, Kansas.
19. Mehrabi, Gohar, E., Mosaynejad, M., 2011. Using of plants to eliminate soil contamination. The first National Conference 0n Botanical, February, Kerman, Iran. (In persian)
20. Khosravi Nodeh, M., Abbaspour, A., Ebrahimi, S. S., Asghari, H, r., 2013. Phytoremediation of a fuel oil-contaminated soil using alfalfa and grass with pseudomonas putida bacterium . Journal of Water and Soil Conservation Studies, Vol 20, Num 4, pp. 219- 234. (In persian)
21. Xu, J. G., Johnson, R.L., 1995. Root growth, microbial activity and phosphatase activity in oil contaminated, remediated and uncontaminated soils planted to barley and field pea. Plant and Soil, Vol. 173, pp. 3-10.