

بررسی و شناسایی نوع و میزان فلزات سنگین در خاک مناطق صنعتی در ارتباط با پهنه بندی پوشش گیاهی آسیب دیده

هومن بهمن پور^{۱*}

hbahmanpour@iau.ac.ir

مجید محمد حسینی^۲

سعیده لطفی^۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: این تحقیق، به منظور بررسی و شناسایی میزان و نوع فلزات سنگین در خاک منطقه صنعتی شرکت پخش و پالایش فراورده های نفتی شاهرود انجام گرفته است و تلاش می گردد تا رابطه میان پراکنش و تجمع عناصر سنگین و پهنه بندی پوشش گیاهی آسیب دیده شناسایی شود.

روش بررسی: بدین منظور، اقدام به نمونه برداری از ۲ نوع خاک موجود گردید. یکی خاک مناطقی که فاقد پوشش گیاهی بیمار بوده اند و دیگری خاک مناطقی که دارای گیاهان آسیب دیده بودند. جهت نمونه برداری از روش شبکه بندی و انتخابی استفاده گردید. تعداد ۵ نمونه فرعی از هر شبکه تهیه گردید که در نهایت پس از مخلوط کردن تمامی نمونه های فرعی، نمونه های نهایی با وزن ۴۰۰ گرم برای ارسال به آزمایشگاه به دست آمد. نمونه ها هوا خشک و از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند و برای آنالیز آماده شدند. عصاره گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک با استفاده از HCl و HNO₃ صورت گرفت. غلظت کل عناصر سنگین کروم، کبالت و نیکل با استفاده از دستگاه ICP-MS و دیگر عناصر نیز از طریق دستگاه XRF اندازه گیری گردید.

یافته ها: نتایج بیانگر آن است که میزان چهار عنصر نیکل، سرب، روی و استرانسیوم در نمونه های خاک حاوی گیاهان بیمار بیش از حد استاندارد تعیین شده بوده و در مورد عناصر دیگر، مقادیر سنجش شده از استاندارد پایین تر است. در مورد نمونه خاک حاوی گیاهان سالم نیز میزان چهار عنصر استرانسیوم، سرب، کبالت و کادمیوم بیش از حد استاندارد است. از سوی دیگر، مشاهده می شود که میزان دو عنصر سرب و استرانسیوم در هر دو نمونه سالم و بیمار از حد استاندارد بالاتر است. همچنین بخش اعظم تخریب پوشش گیاهی در خاک مناطق بیمار ناشی از تجمع فلزات سنگین است. به ویژه عناصر نیکل، سرب، روی، استرانسیوم.

بحث و نتیجه گیری: در طی چند سال گذشته و با شدت گرفتن فعالیت های عملیاتی و اجرایی در سایت، میزان آلودگی و نشر آلاینده به خاک و هوای اطراف افزایش یافته و در مناطقی که در مجاورت واحدهای خدماتی آلاینده می باشند، میزان تخریب بالاتر است. به نظر می رسد با استقرار سیستم مدیریت محیط زیست (EMS) امکان بازگرداندن منطقه به شرایط استاندارد را میسر می سازد.

واژه های کلیدی: فلزات سنگین، آلاینده، شرکت پخش و پالایش، شاهرود.

^۱ گروه محیط زیست، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

مرکز تحقیقات مواد اولیه داروهای گیاهی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران* (مسئول مکاتبات)

^۲ گروه شیمی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

مرکز تحقیقات مواد اولیه داروهای گیاهی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

^۳ دانش آموخته مهندسی شیمی، دانشکده علوم پایه، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

Investigating and identifying the type and amount of heavy metals in the soil of industrial areas in relation to the zoning of damaged vegetation

Hooman Bahmanpour^{1*}

hbahmanpour@iaau.ac.ir

Majid Mohammad Hosseini²

Saeedeh Lotfi³

Accepted Date: September 30, 2024

Date Received: January 70, 2025

Abstract

Background and Objective: This study was designed to investigate and identify the amount and types of heavy metals in industrial region and tried to identify the relation between the presence of heavy metals and their damage on vegetation. Considering the proximity of ground water in Shahrood region, conducting this study helps with better recognition of the possible contamination centers of drinking water in this city.

Method: Gridding and selective method were used for sampling. 5 sub- samples were taken from each grid and finally after mixing all the sub- samples, the final samples were obtained with a weight of 400 grams to be sent to a laboratory. The samples were air dried and passed through a sieve of 2 mm and were prepared for analysis. To determine the total concentration of heavy metals in soil, extraction was done by using HCl and HNO₃. The total concentration of the heavy metals of chromium, cobalt and nickel were measured by using ICP-MS, and the rest of the elements using XRF device.

Results: The results indicated that the rate of nickel, lead, zinc and strontium in patient samples exceeded the standard, and the other elements were lower than the standard; and regarding the healthy subjects, the first four elements exceeded the standard, meaning that lead and strontium levels in both healthy and patient samples were higher than standard. Moreover, the majority of the vegetation loss across the affected areas was caused by heavy metal accumulation, particularly nickel, lead, zinc, and strontium.

Conclusion: Over the past few years, as operational and administrative activities have intensified at the site, the level of pollution and emission of pollutants into the surrounding soil and air has increased, and the level of destruction is higher in areas adjacent to polluting service units. It seems that the establishment of an environmental management system (EMS) will make it possible to return the area to standard conditions.

Keywords: Heavy metals, Shahrood, contamination, National Iranian Oil Refining & Distribution Company.

¹ Department of Environment, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

Herbal Drugs Raw Materials Research Center (HDRMRC), Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran
*(Corresponding Author)

² Department of Chemistry, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

Herbal Drugs Raw Materials Research Center (HDRMRC), Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

³ M.Sc . Chemistry, Sha. C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran

مقدمه

آلودگی محیط زیست از جمله آلودگی خاک یکی از عوامل مهم به هم خوردن تعادل و توازن طبیعت می‌باشد. خاک به همراه آب و هوا اجزای مهم محیط زیست تلقی می‌شوند. خاک علاوه بر آنکه پایگاه تجمع موجودات خشک‌زی به ویژه تجمع انسانی است، محیط بسیار منحصراً بفردی برای زندگی انواع موجودات، به خصوص گیاهان به شمار می‌آید (۱). فعالیت‌های روزافزون انسان بر روی کره زمین سبب شده است که کارکرد بخش خاک که خود جزیی از پوسته زمین است در مواردی دچار اختلال شود (۲). به طور کلی آلاینده‌های خاک را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول شامل سموم متفاوت است که بیشتر جهت مصارف کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد. دومین و مهمترین گروه آلاینده‌های صنعتی هستند که شامل فلزات سنگین همانند سرب، نیکل، روی و کادمیوم می‌باشند. در شرایط خاص، چند میلی‌گرم بر کیلوگرم از این عناصر، سلامت خاک و نهایتاً انسان و موجودات را به مخاطره می‌اندازد (۳). فلزات سنگین، به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا بوده و در غلظت‌های کم سمی باشند (۴). آلودگی فلزات سنگین نه تنها به صورت مستقیم بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، کاهش فعالیت‌های بیولوژیکی و کاهش دستیابی زیستی مواد غذایی در خاک تاثیر می‌گذارد، بلکه خطر جدی برای انسان با ورود به زنجیره غذایی و همچنین امنیت زیست محیطی از طریق نفوذ در آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شود (۵).

خاک غیر آلوده به خاکی گفته می‌شود که غلظت عناصر مختلف، به ویژه عناصر سنگین، در آن کمتر و یا حداکثر برابر با غلظت این عناصر در استانداردهای جهانی معرفی شده برای خاک باشد، که به این غلظت‌ها معمولاً غلظت زمینه^۱ گفته می‌شود (۶). محققان خاک‌های مختلف را برحسب آلودگی به فلزات سنگین در سه گروه تقسیم‌بندی می‌کنند (۶). گروه اول خاک‌های با آلودگی کم را در بر می‌گیرد که معمولاً خاک‌های غیر آلوده کشاورزی و مناطق دور از شهرها را شامل می‌شود. گروه دوم خاک‌های دارای آلودگی کم تا متوسط هستند که نباید از این نوع خاک‌ها برای کشاورزی استفاده شود. با توجه به میزان آلودگی کم تا متوسط، مناسب‌ترین روش پاکسازی این نوع خاک‌ها، استفاده از گیاهان است. گروه سوم، خاک‌هایی هستند که در اطراف مناطق صنعتی، محل‌های تخلیه و دفع لجن فاضلاب‌های صنعتی و جاده‌های پر ترافیک وجود دارند. سرنوشت فلزات سنگین و کمپلکس‌های فلزی تخلیه شده به

خاک‌ها و آب‌ها با توجه به شرایط محیطی بسیار متفاوت می‌باشند. عوامل تاثیرگذاری زیادی بر جذب فلزات موثر می‌باشند به طوری که به جزء نوع و مقدار کلونیدهای خاک، عوامل کنترل کننده‌ای نظیر: pH، غلظت یونی محلول، غلظت کاتیونی فلز، حضور کاتیون‌های فلزی رقابت کننده و وجود لیگاندهای آلی و معدنی در آن نقش دارند (۸). فلزات سنگین می‌توانند غدد بدخیم سرطانی را ایجاد نمایند؛ برخی از این عناصر دارای آستانه آلودگی نبوده و در هر غلظتی، هر چند بسیار کم، زیان‌آور می‌باشند که در درازمدت اثرات نامطلوبی را به دنبال خواهند داشت. سرب (Pb)، کادمیوم (Cd) و جیوه (Hg)، از جمله فلزات سنگینی هستند که دارای آستانه آلودگی نیستند (۹). مکانیزم اثر سمی فلزات سنگین از نظر زیست شیمیایی ناشی از تمایل شدید کاتیون‌های این فلزات به واکنش با گوگرد است. کاتیون‌های فلزات سنگین با مولکول‌هایی که این فلزات را در بر دارند از طریق بلع وارد بدن می‌شوند و به آسانی به گروه‌های سولفیدریل (-SH) که در بدن انسان به وفور یافت می‌شوند، متصل می‌گردند. پیوند فلز گوگرد حاصل، معمولاً در آنزیم‌هایی که سرعت واکنش‌های سوخت و سازی مهم در بدن انسان را کنترل می‌کنند اثر می‌گذارد، لذا این آنزیم‌ها نمی‌توانند وظیفه عادی خود را انجام دهند و سلامتی انسان به خطر افتاده و گاهی منتهی به مرگ می‌شود (۱۰).

کادمیوم، توزیع نسبی روی را در بدن دچار اختلال می‌کند (۱۱). در مسمومیت حاد با این فلز، علائمی چون حالت تهوع، اسهال، سر درد شدید، دردهای عضلانی و شکمی، افزایش ترشحات بزاق، شوک، آسیب‌های کبدی و از کار افتادن کلیه دیده می‌شود (۱۱). از نظر FAO، مقدار مجاز ورودی کادمیوم به بدن به طور هفتگی ۰/۴-۰/۶ میلی‌گرم برای هر فرد است (۱۳).

سرب نیز از جمله فلزات سنگین خطرناکی است که توسط انسان و از طرق مختلف به محیط وارد می‌شود. نیمه عمر سرب در خون، بافت‌های نرم و استخوان به ترتیب ۴-۲ هفته، ۴ هفته و ۲۷/۵ سال می‌باشد (۱۴). این ماده از دیرباز، به عنوان یک سم متابولیک شناخته شده است. برخی از علائم مسمومیت با سرب خستگی شدید، رخوت، ناراحتی‌های خفیف شکمی و کم خونی می‌باشد. کمیته متخصصین WHO و FAO جذب موقتی هفتگی سرب را برای هر فرد، ۴ میلی‌گرم بیان کرده است (۱۵). علائم مسمومیت با نیکل در انسان زمانی بروز می‌کند که ۲۵۰ میلی‌گرم نیکل محلول، در روز وارد بدن شود (۱۵). نیکل در گروه مواد سرطان‌زا قرار داشته و حداکثر غلظت مجاز نیکل در آب ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. حداکثر جذب مجاز روزانه این ماده، از طریق مواد غذایی نیز، ۵

^۱ - Background concentration

۵۵۰۰۰ مترمربع واقع گردیده است. انبار نفت شاهرود دارای تعداد ۱۵ دستگاه مخزن ذخیره سوخت به ظرفیت کل ۵۷۷۰۰۰۰۰ لیتر شامل: ۶ دستگاه مخزن بنزین به ظرفیت ۲۱ میلیون لیتر، ۶ دستگاه مخزن نفت گاز به ظرفیت ۲۵ میلیون لیتر، ۳ دستگاه مخزن نفت سفید به ظرفیت ۶/۲ میلیون لیتر و یک دستگاه مخزن نفت کوره با ظرفیت ۵/۵ میلیون لیتر می باشد. در پانزدهمین همایش ملی واحدهای صنعتی و خدماتی سبز کشور، این شرکت به عنوان یکی از ۴ واحد خدماتی سبز در سطح کشور شناخته شد. شکل (۱) موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می دهد.

روش شناسی تحقیق

این تحقیق به لحاظ خروجی ها از نوع کاربردی و به لحاظ روش گردآوری اطلاعات از نوع کتابخانه ای و میدانی و آزمایشگاهی بوده و روش تجزیه و تحلیل داده ها از نوع قیاسی و تطبیقی با استاندارد بوده است (جدول ۱ و ۲). به منظور بررسی دقیق تر آلاینده ها، دو نوع نمونه تهیه گردید. نمونه اول از مناطقی جمع آوری گردید که فاقد گونه های گیاهی بیمار بوده اند و نمونه دوم؛ شامل مناطقی بوده است که پوشش گیاهی بیمار و آسیب دیده مشاهده شده بود. آزمایش خاک شامل سه مرحله اصلی می باشد:

- جمع آوری نمونه
- تجزیه نمونه
- تفسیر نتایج

وسایل مورد استفاده برای نمونه برداری در این تحقیق، عبارت بودند از: سطل، بیل یا اوگر، کیسه پلاستیکی، متر، قلم، پارچه یا گونی برای مخلوط نمودن خاک. در این مطالعه، جهت نمونه برداری از روش شبکه بندی و انتخابی استفاده گردید. تعداد و نحوه نمونه برداری در هر دو مورد (خاک هایی که دارای گیاهان بیمار و سالم بوده اند) مشابه بوده است. تعداد ۵ نمونه فرعی از هر شبکه تهیه گردید (شکل ۲). در نهایت پس از مخلوط کردن تمامی نمونه های فرعی، نمونه های نهایی با وزن ۴۰۰ گرم (نمونه های خاک مناطق با گیاهان بیمار و سالم هر یک جداگانه) برای ارسال به آزمایشگاه به دست آمد. نمونه ها از عمق ۳۰ - ۲۵ سانتیمتری خاک تهیه شد. در ابتدا قشر ۵ سانتیمتری از خاک سطحی کنار زده شد. در مورد نمونه برداری از خاک پای درختان نیز، مطابق با اصول استاندارد نمونه برداری از زیر تاج درختان صورت گرفت. نمونه های خاک به آزمایشگاه معتمد (آزمایشگاه مصالح ساختمانی و مواد معدنی جهاد دانشگاهی استان سمنان) جهت انجام ادامه مطالعات، منتقل گردیدند. نمونه های خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی متر عبور

میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز بیان شده است (۱۶).

در نتیجه واکنش های شیمیایی، ترکیباتی از استرانسیوم که در آب نامحلول هستند، محلول می شوند. ترکیبات محلول در آب، نسبت به ترکیبات نامحلول برای سلامتی انسان مضرتر هستند. بنابراین ترکیبات محلول استرانسیوم، آب آشامیدنی را آلوده می کنند. خوشبختانه غلظت استرانسیوم در آب آشامیدنی بسیار کم است. تنفس هوا یا گرد و غبار، خوردن غذا، آب آشامیدنی یا تماس با خاک آلوده به استرانسیوم، باعث می شود که مقدار کمی استرانسیوم وارد بدن انسان شود. احتمال ورود استرانسیوم به بدن از راه خوردن و آشامیدن بیشتر است. استرانسیوم موجود در غذا به استرانسیوم موجود در بدن افزوده می شود. دانه ها، سبزی های برگدار و لبنیات، استرانسیوم بالایی دارند. میزان استرانسیوم موجود در بدن اکثر افراد متوسط است. از بین ترکیبات استرانسیوم، تنها کرومات استرانسیوم است که حتی مقادیر بسیار اندک آن هم برای سلامتی بدن مضر است. در بچه ها جذب استرانسیوم زیادی، باعث اختلالات رشد می شود. نمک های استرانسیوم باعث خارش پوست یا دیگر مشکلات پوستی نمی شوند. وقتی جذب استرانسیوم بسیار زیاد باشد، رشد استخوانها دچار مشکل می شود. اما این مشکل تنها زمانی پیش می آید که جذب استرانسیوم بیش از هزار ppm باشد (۲۰ و ۱۷).

این مطالعه، با هدف بررسی و شناسایی میزان و نوع فلزات سنگین در خاک منطقه صنعتی شرکت پخش و پالایش فراورده های نفتی شاهرود انجام گرفته است. برخی از گیاهان کاشته شده در سایت مطالعاتی دچار عارضه و مشکلاتی در برگ و ساختار هوایی شده اند که احتمالاً ناشی از حضور بیش از حد برخی عناصر سمی است. بنابراین، در این تحقیق، تلاش می گردد تا رابطه میان حضور عناصر سنگین و پهنه بندی پوشش گیاهی آسیب دیده شناسایی شود. از سوی دیگر، نظر به قدرت زهکشی خاک منطقه و با توجه به مجاورت به سفره آب زیرزمینی منطقه شاهرود، انجام این مطالعه به شناخت دقیق تر کانون های احتمالی آلودگی منابع آب شرب این شهر کمک شایانی می نماید.

مواد و روش ها

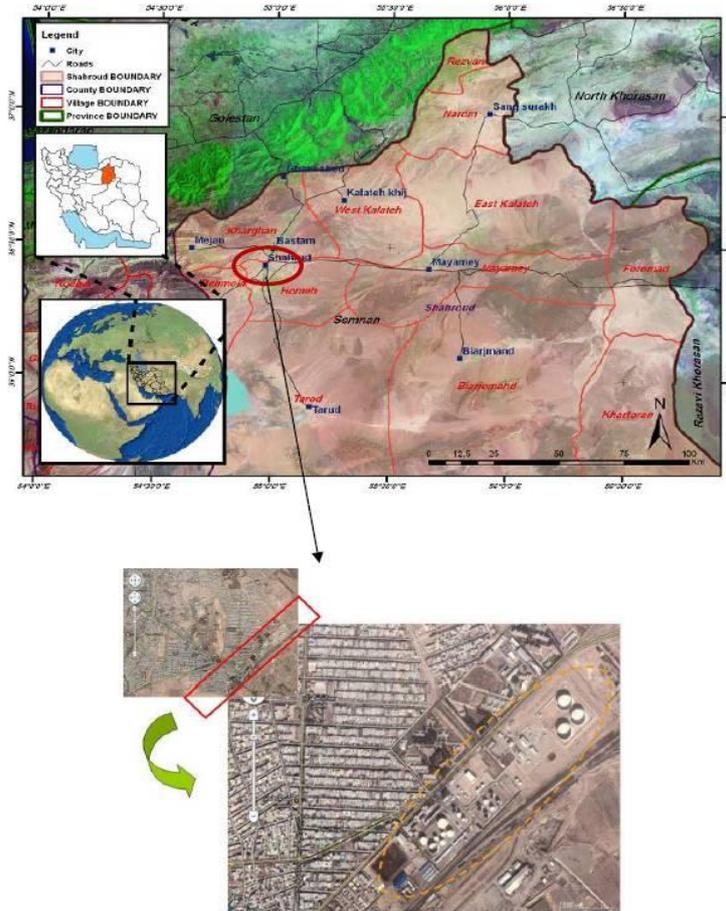
منطقه مورد مطالعه

سایت مورد مطالعه، شرکت ملی پخش فراورده های نفتی منطقه شاهرود می باشد. تأسیسات ذخیره سازی و توزیع فراورده های نفتی (انبار نفت) شاهرود که یکی از قدیمی ترین انبارهای نفت ایران بوده در زمینی به وسعت

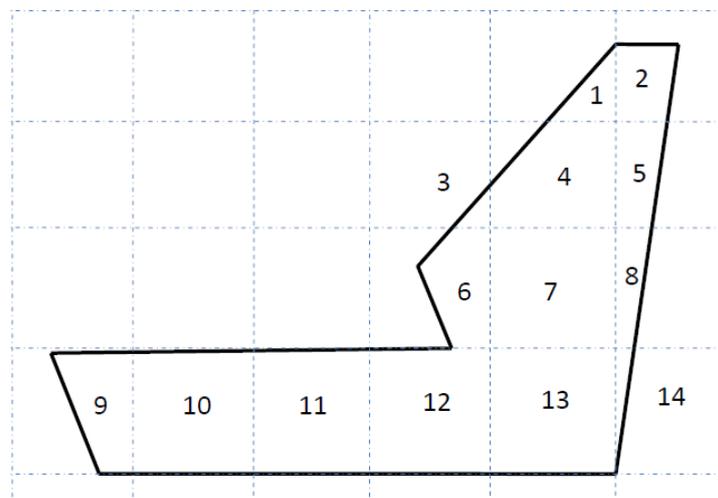
ارزیابی آماری سطح دانش، آگاهی و نگرش محیط زیست در بین دانشجویان

نیکل با استفاده از دستگاه ICP-MS و دیگر عناصر نیز از طریق دستگاه XRF اندازه گیری گردید.

داده شدند و برای آنالیز آماده شدند. عصاره گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین در خاک با استفاده از HCl و HNO_3 صورت گرفت (۱۹ و ۲۰). غلظت کل عناصر سنگین کروم، کبالت و



شکل ۱- موقعیت سایت مطالعاتی در ایران و منطقه شاهرود
Figure 1- Location of the study site in Iran and the Shahrood region



شکل ۲- شبکه بندی منطقه به منظور نمونه برداری
Figure 2 - Area gridding for sampling purposes

جدول ۱- غلظت عناصر سنگین خاک از دیدگاه استانداردهای مختلف و میانگین جهانی

Table 1- Concentration of heavy elements in soil from the perspective of different standards and the global average

USEPA (mg/kg)			استاندارد					عنصر
حدی که بهبود وضعیت خاک ضروری می‌نماید	حد مجاز برای سلامتی انسان و محیط	حد مناسب خاک	میانگین جهانی (ppm)	Holmgeren et al, 1993 (mg/kg)	Boemgen & Shackette, 1981 (mg/kg)	GLC (ppm)	USEPA (ppm)	
-	-	-	۸۵۰	-	-	۶۰۰	۶۰۰	Mn
۲۰	۵	۱	۰/۳	۰/۲۹۴	N/A	-	۰/۰۶	Cd
-	-	-	۳۲۰۰۰			NR	NR	Fe
۵۰۰	۱۰۰	۵۰	۳۳/۷	۲۷/۴	۱۶	۲۰	۴۰	Ni
۸۰۰	۲۵۰	۱۰۰	۸۰	-	-	۱۰	۱۰۰	Cr
۳۰۰	۵۰	۲۰	۱۹	-	-	NR	۸	Co
۶۰۰	۱۵۰	۵۰	۲۰	۸/۶	۱۶	۱۰	۱۰	Pb
۵۰۰	۱۰۰	۵۰	۴۵	-		NR	۳۰	Cu
۵۰	۳۰	۲۰	-	N/A	۶/۴	-	۵	As
-	-	-	-	-	-	-	۳۰۰	Zr
-	-	-	۱۰۸	-	-	-	۱۰۰	V
-	-	-	۲۰۸	-	-	-	۲۰۰	Sr
۳۰۰۰	۵۰۰	۲۰۰	۵۹/۸	-	-	-	۵۰	Zn
۲۰۰۰	۴۰۰	۲۰۰	۵۶۸	-	-	-	۴۳۰	Ba
-	-	-	۴۱/۲	-	-	-	۳۰	La
۲۰۰	۴۰	۱۰	۴۰۷۸۷	-	-	-	۲	Mo
۱۰	۲	۰/۵	-	N/A	۰/۱۱	-	-	Hg
۳۰۰	۵۰	۲۰	-	-	-	-	-	Sn

جدول ۲- ارزیابی مقادیر پارامترها در خاک

Table 2- Evaluation of parameter values in soil

سطوح مجاز سلامت (Mg/Kg) (۲۱)			سطوح مجاز اکولوژیکی (mg/Kg)	پارامتر
کاربری صنعتی و تجاری	پارک‌ها، مناطق باز، زمین‌های بازی	کاربری شهری و باغی		
Metals/Metalloids				
۸۲۰	□	۳۰	۲۰	Antimony, Sb
۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۲۰	Arsenic, As
۱۰۰۰۰۰	□	۵۳۷۰	۴۰۰	Barium, Ba
۱۰۰	۴۰	۲۰	-	Beryllium, Be
۱۰۰	۴۰	۲۰	۳	Cadmium, Cd
۶۰ %	۲۴ %	۱۲ %	-	Chromium (III)
۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	-	Chromium (VI)
-	-	۲۱۰	۵۰	Chromium (Total), Cr
۵۰۰	۲۰۰	۱۰۰	۵۰	Cobalt, Co
۵۰۰۰	۲۰۰۰	۱۰۰۰	۶۰	Copper, Cu

سطوح مجاز سلامت (Mg/Kg) (۲۱)			سطوح مجاز اکولوژیکی	پارامتر
۱۵۰۰	۶۰۰	۳۰۰	۳۰۰	Lead, Pb
۷۵۰۰	۳۰۰۰	۱۵۰۰	۵۰۰	Manganese, Mn
۵۰	۲۰	۱۰	-	Methyl mercury
۷۵	۳۰	۱۵	۱	Mercury, Hg
۱۰۲۲۰	-	۳۹۰	۴۰	Molybdenum, Mo
۳۰۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰	Nickel, Ni
۱۰۰۰۰۰	□	۴۶۹۰۰	۵۰	Tin, Sn
۳۵۰۰۰	۱۴۰۰۰	۷۰۰۰	۲۰۰	Zinc, Zn

Source: USEPA, 2005; WHO, 1998

خاک حاوی گیاهان بیمار و سالم نشان می‌دهند. همان‌طور که در نمودار مشخص شده است، عنصر استرانسیوم با میزان ۴۵۵ ppm و پس از آن عنصر کلر با ۴۰۵ ppm دارای بالاترین مقدار اندازه‌گیری بوده‌اند و عناصر U, Th, Mo, Nb, W با میزان ۱ ppm کمترین مقدار را نشان دادند.

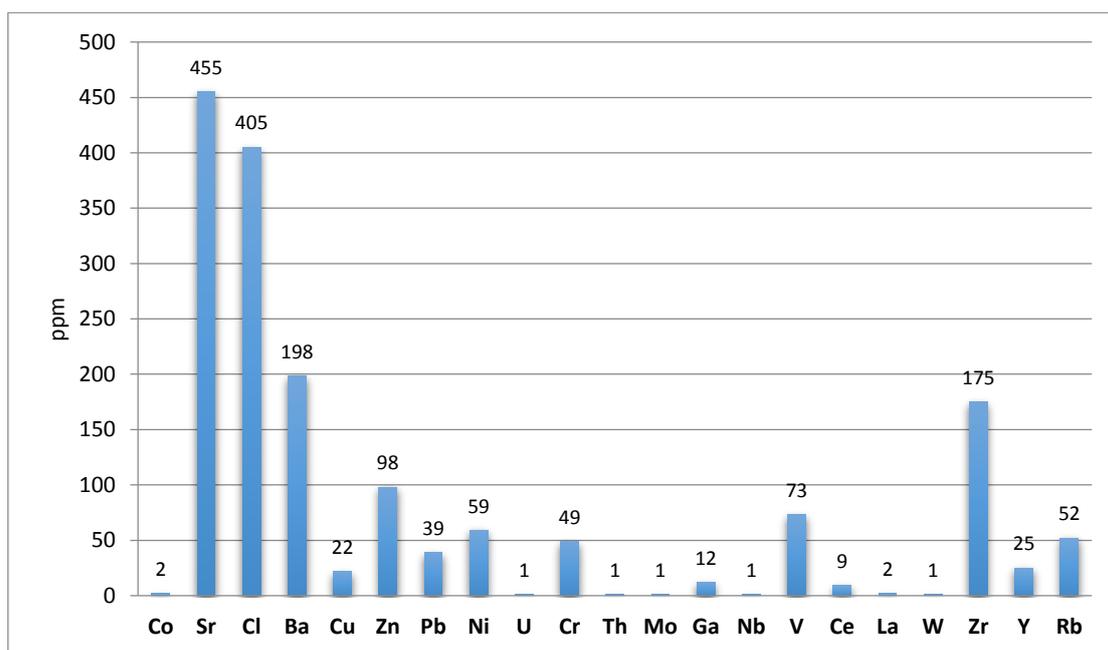
یافته‌ها

نتایج حاصل از سنجش فلزات سنگین در خاک مناطقی که دارای نمونه‌های گیاهی بیمار بودند (نمونه خاک بیمار)، و نیز مناطقی که فاقد پوشش گیاهی آسیب‌دیده بوده‌اند (نمونه خاک سالم) در جدول زیر ارائه شده است. شکل ۳ و ۴ نمودار عناصر سنگین سنجش شده را در نمونه‌های

جدول ۳- گزارش نتایج آنالیز خاک نمونه شماره ۱ (نمونه بیمار) و نمونه شماره ۲ (نمونه سالم)

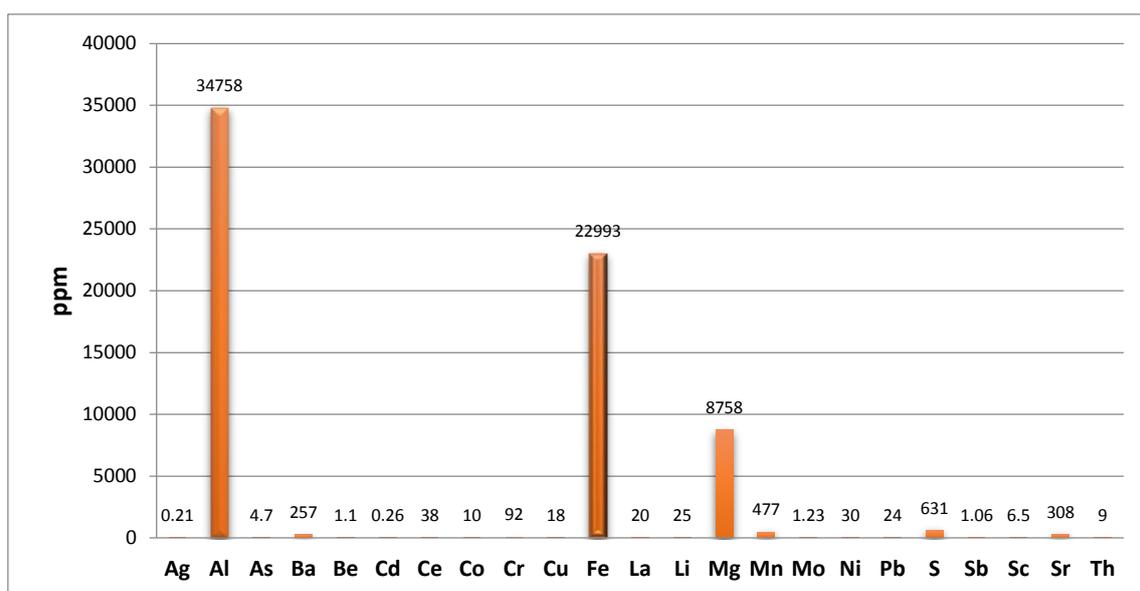
Table 3- Report of soil analysis results for sample number 1 (diseased sample) and sample number 2 (healthy sample)

عناصر	غلظت در نمونه خاک بیمار (ppm)	غلظت در نمونه خاک سالم (ppm)	عناصر	غلظت در نمونه خاک بیمار (ppm)	غلظت در نمونه خاک سالم (ppm)
Co	۲	۱۰	Pb	۳۹	۲۴
As	۱	۴/۷	Ni	۵۹	۳۰
Cl	۴۰۵	۸۸	U	۱	-
Ba	۱۹۸	۲۵۷	Cr	۴۹	۹۲
Sr	۴۵۵	۳۰۸	Th	۱	۹
Cu	۲۲	۱۸	Mo	۱	۱/۲۳
Zn	۹۸	۶۷	Ga	۱۲	-
Nb	۱	-	V	۷۳	-
Ce	۹	۳۸	La	۲	۲۰
W	۱	-	Zr	۱۷۵	-
Y	۲۵	-	Rb	۵۲	-
Ag	-	۰/۲۱	Be	-	۱/۱
Ca	-	۱۱۴۱۱۴	Cd	-	۰/۲۶
Al	-	۰/۲۱	Fe	-	۲۲۹۹۳
K	-	۱۰۹۴۴	Li	-	۲۵
Mg	-	۸۷۵۸	Mn	-	۴۷۷
Mo	۱	۱/۲۳	Na	-	۱۲۹
P	-	۶۱۴	S	-	۶۳۱
Sb	-	۱/۰۶	Sc	-	۶/۵



شکل ۳- نمودار عناصر سنگین بدست آمده برای نمونه خاک حاوی گیاهان بیمار

Figure 3 - Diagram of heavy elements obtained for soil samples containing diseased plants



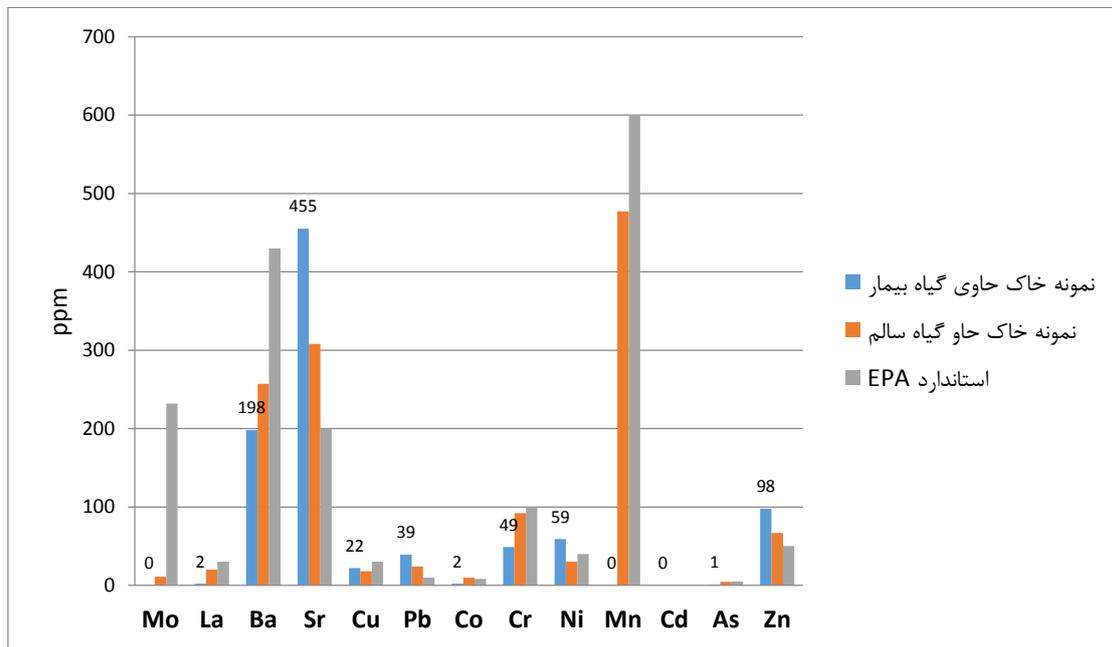
شکل ۴- نمودار عناصر سنگین بدست آمده برای نمونه خاک حاوی گیاهان سالم

Figure 4- Graph of heavy elements obtained for soil samples containing healthy plants

گیاهان بیمار بیش از حد استاندارد تعیین شده می‌باشد و در مورد دیگر عناصر، مقادیر سنجش شده از استاندارد پایین‌تر است. در مورد نمونه خاک حاوی گیاهان سالم نیز می‌توان چنین عنوان نمود که میزان چهار عنصر استرانسیوم (Sr)، سرب (Pb)، کبالت (Co) و کادمیوم (Cd) بیش از حد استاندارد است. از سوی دیگر، مشاهده می‌شود که میزان دو عنصر سرب (Pb) و استرانسیوم (Sr) در هر دو نمونه (خاک

از آنجا که در ایران، استاندارد در خصوص خاک و حد مجاز عناصر آلوده کننده در آن وجود ندارد، بنابراین، در این قسمت برخی از حدود مجاز استاندارد فلزات سنگین و سموم در خاک (برگرفته از منابع معتبر جهانی) ارائه و سپس اقدام به مقایسه با وضعیت موجود (سنجش شده) گردیده است. همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، میزان چهار عنصر نیکل (Ni)، سرب (Pb)، روی (Zn) و استرانسیوم (Sr) در نمونه‌های خاک حاوی

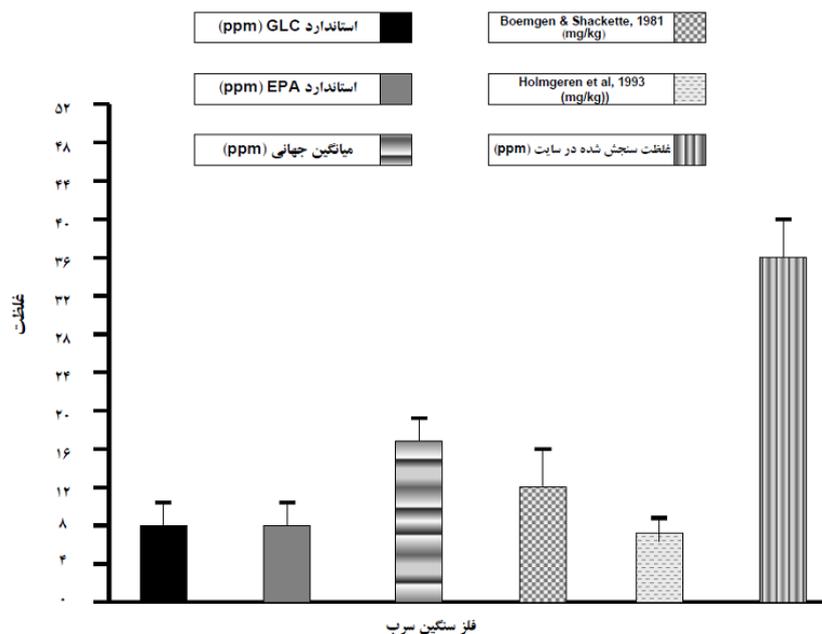
حاوی گیاهان بیمار و خاک حاوی گیاهان سالم) از حد استاندارد بالاتر است.



شکل ۵- نمودار مقایسه‌ای عناصر اندازه‌گیری شده در نمونه خاک حاوی گیاهان بیمار و نمونه خاک حاوی گیاهان سالم با استاندارد
Figure 5- Comparative diagram of elements measured in soil samples containing diseased plants and soil samples containing healthy plants with standard

می‌دهد و بیانگر میزان بالای عنصر سرب در خاک منطقه مطالعاتی است.

شکل شماره ۶، میزان سرب سنجش شده در خاک منطقه مطالعاتی را با استانداردهای جهانی و برخی از مطالعات معتبر صورت گرفته در گذشته، به شکل مقایسه‌ای - تطبیقی نشان



شکل ۶- نمودار مقایسه‌ای میزان سرب سنجش شده در سایت مطالعاتی با مطالعات سایر محققان و استانداردهای بین‌المللی
Figure 6- Comparative chart of the amount of lead measured at the study site with studies by other researchers and international standards

مشخص شده‌اند، دارای پوشش گیاهی با آسیب‌پذیری شدید هستند و مناطقی که با رنگ روشن مشخص شده‌اند، آسیب‌پذیری متوسط را نشان می‌دهند. مشخص است که بخش شرق سایت مطالعاتی از آسیب‌پذیری کمتری برخوردار بوده است.



شکل ۱۰- خشکیدگی سوزنی‌برگ در سایت مطالعاتی
Figure 10- Coniferous leaf dieback at the study site

در شکل‌های ۹ تا ۱۲ نمونه‌هایی از اثرات خشکیدگی و بیماری ناشی از آلودگی خاک سایت مطالعاتی با فلزات سنگین نشان داده شده است.

شکل شماره ۱۳ نقشه پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب‌دیده در سایت مطالعاتی را نشان می‌دهد. مناطقی که با رنگ تیره



شکل ۹- علائم مسمومیت برگ درخت با نیکل
Figure 9- Symptoms of nickel poisoning in tree leaves



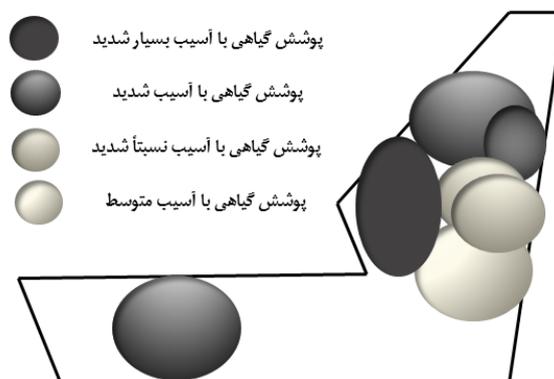
شکل ۱۲- بیماری زنگ ناشی از کمبود عناصر مغذی و ضعف گیاه

Figure 12- Rust disease caused by nutrient deficiency and plant weakness



شکل ۱۱- خشکیدگی چمن در منطقه با آلودگی به فلزات سنگین

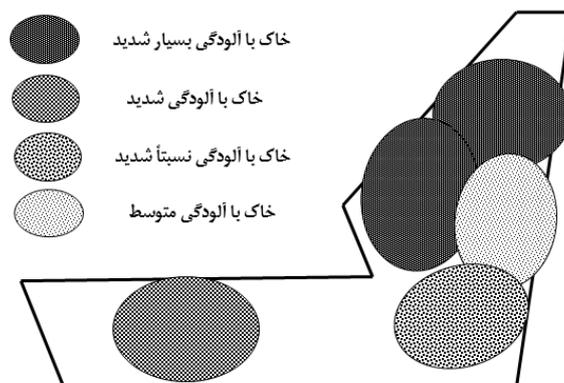
Figure 11- Drying of grass in an area with heavy metal pollution



شکل ۱۳- پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب‌دیده در سایت مطالعاتی
Figure 13- Zoning of damaged vegetation at the study site

مطالعاتی از آلودگی بیشتری برخوردار بوده است.

از سوی دیگر، در شکل شماره ۱۴ پراکنش فلزات سنگین در خاک سایت مطالعاتی ارایه شده است. بخش شمالی سایت



شکل ۱۴- پراکنش فلزات سنگین در سایت مطالعاتی
Figure 14- Distribution of heavy metals in the study site

فعالیت‌های عملیاتی و اجرایی در سایت، میزان آلودگی و نشر آلاینده به خاک و هوای اطراف افزایش یافته و در مناطقی که در مجاورت واحدهای خدماتی آلاینده می‌باشند، میزان تخریب بالاتر است.

نکته حایز اهمیت آن است که با مشاهده نتایج به دشت آمده، می‌توان این فرضیه را مطرح نمود که حضور بیش از حد برخی عناصر از قبیل: Na, Ba, Sr, Zn, Pb, Zr سبب خروج برخی عناصر مفید و مورد نیاز برای گیاهان از قشر سطحی و حاصلخیز خاک (۳۰ سانتیمتری سطح خاک) و نفوذ به لایه‌های عمقی خاک می‌شوند. از جمله این عناصر می‌توان به مواردی همچون Fe, Al, K, Mg, Mn, Mo, P, S, Na اشاره داشت که برای رشد گیاهان ضروری هستند. به نظر می‌رسد با بکارگیری سیستم مدیریت محیط زیست و انجام پایش محیط زیستی برای خاک و آب زیرزمینی سایت مطالعاتی، امکان بازگرداندن منطقه به شرایط استاندارد فراهم می‌آید.

منابع:

- [1] Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdorran, F., Xie, Y. 2015. Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *Sci World J*, 2015:756120
- [2] Guan, Q., Wang, F., Xu, C., Pan, N., Lin, J., Zhao, R., Luo, H. 2018. Source apportionment of heavy metals in agricultural soil based on PMF: a case study in Hexi Corridor, northwest China. *Chemosphere*, 193:189-197
- [3] Sharma, P., Tripathi, S., Chandra, R. 2020. Phytoremediation potential of heavy metal

با بررسی نقشه پهنه‌بندی پوشش گیاهی آسیب دیده در سایت مطالعاتی (شکل ۱۳) و نیز بررسی پراکنش فلزات سنگین در خاک سایت (شکل ۱۴) و همپوشانی این پهنه‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که آسیب وارده بر پوشش گیاهی سایت (درختان و درختچه‌ها) در ارتباط مستقیم با نوع و میزان فلزات سنگین در خاک منطقه است. بدین ترتیب که بخشی از سایت که دارای بالاترین میزان فلزات سنگین بوده است، اتفاقاً از پوشش گیاهی بسیار آسیب‌دیده نیز برخوردار است و برعکس؛ مناطقی از سایت که کمترین میزان فلزات سنگین را دارا هستند، از پوشش گیاهی سالم‌تری نیز برخوردار می‌باشند.

بحث و جمع‌بندی

نتایج بیانگر آن است که میان تجمع فلزات سنگین و آسیب‌پذیری پوشش گیاهی در سایت مطالعاتی ارتباط وجود دارد. به طوریکه، بخش اعظم تخریب پوشش گیاهی در خاک مناطقی که دارای گیاهان بیمار بوده‌اند، ناشی از تجمع فلزات سنگین در آن مناطق است. به ویژه عناصر نیکل، سرب، روی، استرانسیوم. به علاوه، وجود بیش از حد کادمیوم در خاک مناطقی که نمونه گیاهی بیمار در آنها مشاهده نشده است، الزاماً به معنی آن نیست که در این مناطق مشکلات خاص محیط زیستی و بهداشتی رخ نخواهد داد. مطابق با آنالیزهای صورت گرفته در گذشته (۱۵ سال قبل)، تمامی خاک‌های منطقه مطالعاتی از کیفیت مناسبی برخوردار بوده‌اند و آلودگی خاک به فلزات سنگین نیز گزارش نشده بود. در مورد پوشش گیاهی نیز، هیچ نوع نشانه و علائمی از آسیب گزارش نشده بوده است. ولیکن در طی چند سال گذشته و با شدت گرفتن

- sustainability, evelopment & environment*, 5(3), 33-50 (persian).
- [15] Amini, M., M. Afyuni, H. Khademi, K.C. Abbaspour, & R. Schulin. 2005. "Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran". *Science of the Total Environment*. Vol. 347: 64–77.
- [16] Kacholi, D.S., Sahu, M. 2018. Levels and Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soil, Water, and Vegetables of Dar es Salaam, Tanzania. *J. Chem*, 2018, 1402674.
- [17] Occupational Exposure Limits (OEL). 2017. Islamic Republic of IRAN Ministry of Health and Medical Education Environmental and Occupational Health Center (EOHC).
- [18] Mourato, M.P., Moreira, I.N., Leitão, I., Pinto, F.R., Sales, J.R., Martins, L.L. 2015. Effect of heavy metals in plants of the genus Brassica. *Int J Mol Sci*, 16(8):17975–17998
- [19] Xiang, M., Li, Y., Yang, J., Lei, K., Li, Y., Li, F., Zheng, D., Fang, X., Cao, Y. 2021. Heavy metal contamination risk assessment and correlation analysis of heavy metal contents in soil and crops. *Environ. Pollut*, 278, 116911
- [20] W. W, A. Standard Method for water and Wastewater examination. 1995. 9- Dreisbach, Robert H. Handbook of polsoning, lange Medical publication Los Altos Californla. 1983. 10- Harrison, Roym. Pollution, Causes, effects & Central the Royal Society of chmistry. 1993.
- [21] Ravankhah N. Mirzaei R. Masoum S. 2016. Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Soil. 2015. *J Mazandaran Univ Med Sci*, 26(136): 109-120 (Persian).
- [22] Davies, B. E. 1995. Lead In, Heavy Metals in Soils, Second Edition (B.J. Alloway, ed.). Blackie, New York. 206-223.
- [23] Boerngen, J. and J. Shackette. 1981. Chemical analyses of soils and other surficial materials of the conterminous United States. *United States Geological Survey Report*, 81-197.
- [24] Holmgren, G., M. Meyer, R. Chaney, and R. Daniels. 1993. Cadmium, lead, zinc, copper, and nickel in agricultural soils of the United States of America. *J. Environ. Qual*. 22: 335-0348.
- [25] United States Environmental Protection Agency. 2005. Office of Water Regulations and Standards. EPA 440/5-86-001.
- accumulator plants for waste management in the pulp and paper industry. *Heliyon*, 6, e04559
- [4] Ghori, NH., Ghori, T., Hayat, M.Q. 2019. Heavy metal stress and responses in plants. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* **16**, 1807–1828
- [5] Facchinelli, A., E. Sacchi, and I. mallen. 2001. Multivariate statistical and gis-based approach to identify heavy metal sources in soils. *Environ Pollut*. 114 (3):313-324.
- [6] Caridad Cancelar, R. Paz-Gozalez, A. Abreu, C. A. 2002. Heavy metal reference values for natural soils from Galicia, Spain.
- [7] Marrugo-Negrete, J., Pinedo-Hernández, J., Díez, S. 2017. Assessment of heavy metal pollution, spatial distribution and origin in agricultural soils along the Sinú River Basin, Colombia. *Environ. Res*, 154, 380–388.
- [8] Alloway, B. J. 2001. Heavy metal in soil. New York: John Wiley and sons. Inc; 2001. p. 20-28.
- [9] Mico, C., Recatala, L., Peris, M. & Sa´nchez, J. 2006, "Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis", *Chemosphere*, Vol. 65 (5):863-72.
- [10] Zhang, W., Pan, X., Zhao, Q., Zhao, T. 2021. Plant growth, antioxidative enzyme, and cadmium tolerance responses to cadmium stress in *Canna orchioides*. *Hortic. Plant J*, 7, 256–26
- [11] Goyal, D. 2020. Effect of Heavy Metals on Plant Growth: An Overview. In: Naeem, M., Ansari, A., Gill, S. (eds) Contaminants in Agriculture. Springer,
- [12] Cham Fotovvat, K., Khazini, L., Abedini, Y. and Yousefi, M. 2022. Investigation of the concentration and health effects of heavy metals released from the industrial units of Najj Industrial Town. *Advanced Environmental Sciences*, 20(3), 87-104.
- [13] Shahid, M., Dumat, C., Khalid, S., Schreck, E., Xiong, T., Niazi, N.K. 2017. Foliar heavy metal uptake, toxicity and detoxification in plants: a comparison of foliar and root metal uptake. *J Hazard Mater*, 325:36–58
- [14] Gholipoor Peyvandi, A., Bahmanpour, H., Zaeimdar, M., Malmasi, S. 2024. Measurement of heavy elements and environmental pollutants in artificial grass, *Journal of*