19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management
دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

بررسی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل، روی، مس و کروم در خاک‌های شمال استان خوزستان (مطالعه موردی: شهرهای شوشتر و دزفول)

خوشناز پاینده[1*]، محمد ولایت زاده[2]

۱- گروه خاک شناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: Khpayandeh@iau.ac.ir

۲- گروه ایمنی صنعتی، موسسه آموزش عالی کاسپین، قزوین، ایران.

چکیده

فلزات سنگین یکی از آلاینده‌های خطرناک خاک هستند که غلظت بالای این ترکیبات می‌توانند باعث ورود به زنجیره غذایی شده و سبب مسمومیت موجودات زنده و انسان شوند. این تحقیق با هدف بررسی فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی در خاک‌های سطحی شمال استان خوزستان در شهرهای شوشتر و دزفول انجام شد. در تابستان سال ۱۳۹۹، ۱۴۴ نمونه خاک از ۱۲ ایستگاه از عمق ۱۰ سانتی‌متر از کاربری‌های مختلف شهری، صنعتی، کشاورزی، جاده و باغ در شهرهای شوشتر و دزفول جمع‌آوری شد. میانگین غلظت کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی در خاک‌های سطحی به ترتیب ۱/۰۷، ۲۵/۹۰، ۰/۳۸، ۷۰/۸۷، ۰/۲۳ و ۰/۰۵ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. تجزیه واریانس نشان داد که نوع بافت خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه تأثیر معنی‌داری بر غلظت مس دارد (P<۰/۰۵)، اما تفاوت در بافت خاک تفاوت معنی‌داری بر میزان کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و روی نداشت (P<۰,۰۵). همبستگی پیرسون نشان داد که کادمیوم ـ روی (R= 827; P=0.0) همبستگی مثبت و معنی‌داری دارند (P<۰/۰۱). نتایج تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نشان داد که روی (PCA=610) و کادمیوم (PCA=715) منشأ یکسانی دارند. تجزیه مؤلفه اصلی (PCA) نشان داد که در مؤلفه اصلی اول که شامل فلزات سنگین سرب، مس و نیکل بود، همبستگی مثبت وجود دارد. در مؤلفه اصلی دوم، رابطه مستقیم و معنی‌داری بین کادمیوم، روی و کروم در خاک مشاهده شد. همبستگی بالا بین عناصر و پارامترها نشان می‌دهد که منشأ آلودگی فلزات سنگین فعالیت‌های انسانی است. همچنین، دلیل همبستگی مثبت و معنی‌دار بین کادمیوم و روی این است که فلز کادمیوم یکی از عناصر بسیار متحرک در خاک است. دلیل همبستگی پایین فلزات سنگین در خاک را می‌توان به منشأهای متنوع ژئوشیمیایی و صنعتی نسبت داد.

واژگان کلیدی: آلودگی مزارع کشاورزی، فلزات سنگین، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، همبستگی پیرسون

مقدمه

خاک یکی از منابع مهم و ارزشمند طبیعت است. خاک ها به عنوان پالاینده های طبیعت محسوب می شوند و علاوه بر اینکه تامین کننده مواد غذایی هستند، خاصیت تصفیه کنندگی نیز دارد. این خاصیت خاک در اثر خواص فیزیکی آن‌ها (عمل نفوذ آب از منافذ)، خواص شیمیایی آن‌ها (جذب سطحی و تبخیر) و خواص زیستی آن‌ها (تجزیه و فساد مواد آلی) حاصل می گردد (Pan et al., 2017, Hu et al., 2018). خاک از دو بخش زنده و مرده تشکیل شده است. بخش مرده خاک شامل سنگ های هوازده و مواد معدنی حاصل از پوسیدگی گیاهان و جانوران می باشد و هوا و آب نیز در این بخش قرار می گیرند، اما بخش زنده خاک دارای جانوران کوچک همچون حشرات و کرم‌ها، گیاهان، قارچ‌ها، باکتری‌ها و سایر میکروب‌ها است. نمونه بارز خاک ۵۰٪ مواد معدنی و آلی و ۵۰٪ هوا و آب دارد که فضاهای خالی موجود در خاک را پر می کند و ارگانیسم های زنده خاک را نگه می دارد (Huang et al., 2018). بر اثر فعالیت های مختلف انسانی نظیر کشاورزی، معادن، صنایع، عبور و مرور وسایل نقلیه و زیست بوم شهری خاک دچار آلودگی می‌شود (Salman et al., 2019). برخی از این آلودگی‌ها بر اثر اکتشاف و استخراج مواد نفتی از زمین حاصل می‌گردد. تصادفات وسایل نقلیه ای که مواد آلوده کننده جا به جا می کنند، نمونه ای دیگر از آلوده شدن خاک توسط فعالیت های انسانی است. آلوده کننده های دیگری که سبب آلودگی خاک می شوند شامل اتومبیل ها، کامیون ها و هواپیماهایی هستند که موادی از قبیل سوخت حمل می کنند و بر اثر ریخته شدن و خارج شدن آن‌ها از وسیله نقلیه آلودگی خاک رخ می دهد. ریختن مواد سمی مانند انواع حلال ها، مواد رنگی و شوینده ها آلودگی زمین و خاک را گسترش می دهند (Maqbool et al., 2019).

یکی از مهمترین مخاطره‌هایی که محیط زیست با آن دست به گریبان است ورود آلاینده‌های شیمیایی ناشی از فعالیت‌های کشاورزی به محیط طبیعی است (نوراله نوری‌وندی، ۱۳۹۶). کاربرد بی‌رویه و غیراصولی از آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی افزون بر کاهش میزان کارایی اقتصادی و بهره‌وری تولید، می‌تواند چالش‌های فراوانی مانند کاهش باروری زمین‌های زراعی، از بین بردن ریزموجودها و آلودگی منابع آبی را به دنبال داشته باشد (Lee et al., 2007). استفاده حجم بالای سموم و کودهای شیمیایی توسط کشاورزان شهرستان شوشتر گزارش شده است (نوراله نوری‌وندی، ۱۳۹۶). همچنین بررسی نتایج حاصل از مصرف کودهای فسفاته و انباشت کادمیوم در مزارع تحت کشت گندم دراستان خوزستان نشان داده است، بین مقدار مصرف کود و انباشت کادمیوم در خاک رابطه مستقیمی وجود دارد. در این پژوهش گزارش شده است کودهای فسفاتی، مهمترین دلیل افزایش غلظت کادمیوم در خاک های منطقه بودند (جعفرنژادی و همکاران، ۱۳۸۹).

استان خوزستان که یکی از مهم ترین و با ارزش ترین مناطق ایران است، در جنوب غربی ایران واقع شده و از جاذبه های کم نظیر گردشگری در زمینه های طبیعی، تاریخی، معماری، اجتماعی و فرهنگی برخوردار است. از آن جا که جلگه خوزستان دنباله بین النهرین است، خاک و آب و هوای این جلگه برای کشاورزی بسیار مناسب است و انواع محصولات در این خطه به عمل می آید. کشاورزی در تمام منطقه خوزستان به ویژه در قسمت جلگه ای از اهمیت خاصی برخوردار است، به همین دلیل این استان را «زرخیز» نامیده اند. محصولات عمده کشاورزی این استان گندم، جو، برنج، نیشکر، خرما، مرکبات است. صنعت نیز مانند کشاورزی در خوزستان سابقه طولانی دارد. معادن سرشاری نظیر نفت، گاز، نمک، گوگرد در این منطقه وجود دارد. صنایع کارخانه ای را می توان برحسب مقدار مصرف مواد اولیه و کیفیت تولید به دو دسته عمده صنایع سنگین و صنایع سبک تقسیم کرد. از صنایع مادر و بزرگ استان می‌توان استخراج و تصفیه نفت مشتمل بر پالایشگاه آبادان، دستگاه تقطیر مسجد سلیمان، پالایشگاه گاز بید بلند و صنعت پتروشیمی مشتمل بر مجتمع شیمیایی رازی، مجتمع پتروشیمی آبادان، مجتمع شمیایی خارک، مجتمع پترو شیمی ایران ـ ژاپن، کارخانه های نورد و لوله اهواز و ذوب آهن گازی اهواز را نام برد. صنایع سبک خوزستان عبارتند از: قندسازی، کاغذسازی، بسته بندی خرما، صنعت ماهیگیری و صنعت تولید برق. در خوزستان معادن سرشاری وجود دارد که برخی از آن ها از روزگاران گذشته شناخته و بهره برداری شده اند. از این معادن می توان به نفت، گاز، نمک، گوگرد، لاشه آهکی، سیلیس، سنگ گچ و سنگ آهک اشاره کرد.

بنابراین با توجه به کاربری های مختلف اراضی استان خوزستان برای شهرنشینی، فعالیت های صنعتی، کشاورزی و معادن، پایش فلزات سنگین در خاک های سطحی مناطق مختلف استان خوزستان اهمیت بالایی دارد. همچنین درخصوص آلودگی فلزات سنگین در خاک های سطحی دو شهرستان شوشتر و دزفول تحقیق جامع و کامل انجام نشده است. البته باید توجه

داشت که یکی از دلایل انتخاب این دو شهر نیز این است که در مجاورت یکدیگر هستند و اراضی کشاورزی و صنایع آن ها نیز به هم وابسته بوده و در واقع مرز مشخص و معینی بین این دو شهر وجود ندارد.

روش کار

در این تحقیق در فصل تابستان سال ۱۳۹۹ تعداد ۱۴۴ نمونه مرکب به صورت تصادفی از خاک های سطحی به عمق ۰-۱۰ سانتیمتر از کاربری های مختلف شهری، صنعتی، کشاورزی، جاده ای و باغات شهرستان های شوشتر و دزفول تهیه شد. نمونه ها از خاک های سطحی مجاور شهرک صنعتی شوشتر و دزفول، پارک ها، جاده های دسترسی، مناطق مسکونی، مزارع کشاورزی و باغات درون شهرهای شوشتر و دزفول تهیه شد. برای نمونه برداری خاک در شهرستان شوشتر از ۶ ایستگاه مهم و اصلی (شهرک صنعتی شماره ۱، شهرک صنعتی شماره ۲، پارک معلم، باغ داریون، مزارع کشاورزی شعیبیه، کشت و صنعت کارون) و در شهرستان دزفول نیز ۶ ایستگاه مهم (شهرک صنعتی شماره ۱، شهرک صنعتی شماره ۲، باغ مرکبات شمس آباد، مزارع کشاورزی صفی آباد، پارک دولت و بوستان خانواده) انجام شد.

برای تعیین اسیدیته (pH) خاک مقدار ۲۰ گرم از نمونه خاک را در یک بشر ۱۰۰ میلی لیتری وزن کرده، سپس ۵۰ میلی لیتر آب مقطر به آن اضافه و این مخلوط را به مدت ۳۰ دقیقه به طور متناوب در هر دفعه ۱۰ دقیقه به آرامی بهم زده و در نهایت با استفاده از pH متر Metrohm مدل ۶۹۱، اسیدیته خاک اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی نیز مشابه مراحل تعیین اسیدیته انجام شد. در نهایت با استفاده از یک دستگاه کنداکتومتر مقدار هدایت الکتریکی سوسپانسیون تعیین گردید (Rhoades, 1986). تعیین نوع بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری انجام می‌شود (Gee and Bauder, 1986). اندازه گیری کربن آلی خاک به روش والکی بلاک انجام خواهد شد (Nelson and Sommers, 1986).

نمونه‌های خاک را در بشر پلی اتیلنی قرار داده و با اضافه نمودن چند قطره اسید کلریدریک و اسید فلوئوریدریک به میزان ۷ سی سی، نمونه ها روی حمام آبی و در ۱۰۰ درجه سانتیگراد تا مرحله نزدیک به خشک شدن حرارت داده شدند. پس از سرد شدن نمونه‌ها، به هر یک ۷ سی سی اسید نیتریک و اسید کلریدریک اضافه می گردد و بر روی حمام آبی تا نزدیک خشک شدن حرارت داده شد. پس از هضم شیمیایی کلیه نمونه ها با افزودن مقداری آب مقطر به هر یک از آن ها و حرارت ملایم، محلولی کاملا شفاف به دست می آید. نمونه‌ها توسط اسید کلریدریک یک نرمال در بالن ژوژه به حجم ۵۰ سی سی رسیده و به دستگاه ICP مدل Varian 710-ES که از قبل کالیبره شده بود تزریق گردید و میزان عناصر مورد نظر در هر یک از نمونه‌ها مشخص شد (USEPA, 1996).

نتایج و داده‌های حاصل از این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS24 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. آزمون کولموگراف ـ اسمیرنوف برای نرمال بودن داده به کاربرده شد. از آزمون آنالیز واریانس یکطرفه (ANOVA-oneway) برای تعیین اختلاف معنی دار بین ایستگاه‌ها و برای بررسی میانگین مربعات از آزمون توکی (Tukey) استفاده شد. همچنین برای رسم جداول و محاسبات شاخص‌های آلودگی از نرم‌افزار Excel 2007 استفاده گردید. برای منشایابی فلزات سنگین برای بررسی ارتباط داده های فلزات سنگین از همبستگی Pearson و برای منشایابی عناصر از تجزیه و تحلیل خوشه ای استفاده شد.

نتایج

پارامترهای آماری داده‌های فلزات سنگین و اسیدیته (pH)، هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی خاک (SOC) شامل کمینه، بیشینه، میانگین، انحراف معیار، خطای استاندارد، واریانس، چولگی و کشیدگی در خاک‌های سطحی شهرهای دزفول و شوشتر در جدول ۱ ارائه شده است. مقادیر کشیدگی و چولگی نشان داد که داده های مربوط به فلزات سنگین در نمونه های خاک نرمال است، زیرا مقادیر به دست آمده از نرم افزار SPSS بین ۲- و ۲ به دست آمد. تجزیه و تحلیل آزمون های کولموگراف ـ اسمیرنوف و شاپیرو ـ ویلک داده‌های فلزات سنگین در خاک‌های سطحی شهرهای دزفول و شوشتر نشان داد که مقادیر به دست آمده نرمال بودند و مقادیر آماری در بازه ۲- و ۲ به دست آمدند (جدول ۲). تجزیه و تحلیل واریانس داده ها نشان داد که بین عناصر سرب، نیکل، روی، مس و کروم در خاک ایستگاه های مورد مطالعه شهرهای دزفول و شوشتر اختلاف معنی داری وجود نداشت ($P>0.05$)، اما درمورد هدایت الکتریکی (EC)، کربن آلی خاک (SOC) و فلز کادمیوم اختلاف معنی داری مشاهده شد ($P<0.05$). همچنین درمود پارامتر اسیدیته (pH) خاک نیز در ایستگاه های مورد مطالعه شهرهای دزفول و

شوشتر اختلاف معنی داری وجود نداشت (P>0.05) (جدول ۳). در جدول ۴ نیز نتایج تجزیه و تحلیل واریانس بیانگر این است که نوع بافت خاک ایستگاه‌های مورد مطالعه بر اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک و فلز مس تاثیر معنی داری داشت (P<0.05)، اما بر روی تفاوت بافت خاک بر مقادیر فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و روی اختلاف معنی داری نداشت (P>0.05).

جدول ۱. پارامترهای توصیفی فلزات سنگین در خاک‌های شوشتر و دزفول در شمال استان خوزستان

عناصر	کمینه	بیشینه	میانگین	خطای استاندارد	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
کادمیوم (ppm)	۰/۲۲	۲/۵۶	۱/۰۷	۰/۱۲	۰/۷۳	۰/۷۷۱	-۰/۸۴۲
سرب (ppm)	۲/۱۱	۹۷/۵۰	۲۵/۹۰	۴/۱۰	۲۴/۶۳	۱/۵۱۱	۲/۰۸۷
نیکل (ppm)	۰/۰۱	۱/۸۵	۰/۳۸	۰/۰۸	۰/۵۲	۱/۵۸۶	۱/۷۲۰
مس (ppm)	۱۲/۵۰	۱۳۱/۱۲	۷۰/۸۷	۵/۸۷	۳۵/۲۶	۰/۱۶۶	-۱/۱۹۶
روی (ppm)	۰/۱۰	۰/۵۹	۰/۲۳	۰/۰۲	۰/۱۵	۱/۱۹۱	۰/۰۷۶
کروم (ppm)	۰/۰۱	۰/۴۵	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۷	۱/۹۲۳	۱/۰۸۷
pH	۷/۰۲	۷/۵۶	۷/۲۶	۰/۴۵	۰/۱۳	-۰/۵۷۸	۱/۱۳۹
هدایت الکتریکی (µM/cm)	۰/۳۸	۴/۷۱	۲/۳۵	۰/۹۷	۰/۲۶	۰/۶۸۸	۱/۲۵۶
کربن آلی (٪)	۰/۱۲	۰/۷۱	۰/۴۷	۰/۳۹	۰/۰۲	۱/۵۹۸	۰/۸۱۱

جدول ۲. تجزیه و تحلیل نرمال بودن مقادیر فلزات سنگین در خاک‌های شوشتر و دزفول در شمال استان خوزستان

منطقه	فلزات سنگین	آزمون Kolmogorov-Smirnov			آزمون Shapiro-Wilk		
		آماره	درجه آزادی	سطح معنی‌داری	آماره	درجه آزادی	سطح معنی‌داری
دزفول	کادمیوم	۰/۱۶۱	۱۸	۰/۲۰۰	۰/۸۸۹	۱۸	۰/۰۳۸
	سرب	۰/۱۹۱	۱۸	۰/۰۸۱	۰/۸۵۸	۱۸	۰/۰۱۱
	نیکل	۰/۳۳۶	۱۸	۰	۰/۷۴۹	۱۸	۰
	مس	۰/۱۷۵	۱۸	۰/۱۵	۰/۸۷۵	۱۸	۰/۰۲۲
	روی	۰/۳۶۰	۱۸	۰	۰/۷۵۳	۱۸	۰
	کروم	۰/۲۲۷	۱۸	۰/۰۱۵	۰/۸۱۴	۱۸	۰/۰۰۲
شوشتر	کادمیوم	۰/۲۲۵	۱۸	۰/۰۱۶	۰/۷۷۹	۱۸	۰/۰۰۱
	سرب	۰/۱۸۷	۱۸	۰/۰۹۸	۰/۹۰۹	۱۸	۰/۰۸۱
	نیکل	۰/۲۸۱	۱۸	۰/۰۰۱	۰/۷۵۳	۱۸	۰
	مس	۰/۱۵۱	۱۸	۲	۰/۹۳۲	۱۸	۰/۲۰۹
	روی	۰/۲۳۲	۱۸	۰/۰۱۲	۰/۸۲۱	۱۸	۰/۰۰۳
	کروم	۰/۴۴۰	۱۸	۰	۰/۳۶۲	۱۸	۰

جدول ۳. تحلیل واریانس مقایسه غلظت فلزات سنگین در خاک‌های شوشتر و دزفول در شمال استان خوزستان

پارامتر	نوع مقایسه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	Fدرجه	سطح معنی‌داری
pH	میان گروهی	۰/۰۰۶	۱	۰/۰۰۶	۰/۱۹۴	۰/۶۶۲
	درون گروهی	۱/۱۱۹	۳۴	۰/۰۳۳		
	مجموع	۱/۱۲۶	۳۵			
هدایت الکتریکی	میان گروهی	۳۰/۳۶۰	۱	۳۰/۳۶۰	۲۵/۷۷۸	۰
	درون گروهی	۴۰/۰۴۴	۳۴	۱/۱۷۸		
	مجموع	۷۰/۴۰	۳۵			
کربن آلی خاک	میان گروهی	۰/۶۶۲	۱	۰/۶۶۲	۴۷/۵۲۶	۰
	درون گروهی	۰/۴۷۳	۳۴	۰/۰۱۴		
	مجموع	۱/۱۳۵	۳۵			

	میان گروهی	۴/۶۳۰	۱	۴/۶۳۰	۱۰/۹۸۱	۰/۰۰۲
کادمیوم	درون گروهی	۱۴/۳۳۵	۳۴	۰/۴۲۲		
	مجموع	۱۸/۹۶۵	۳۵			
	میان گروهی	۱۷۶۳/۰۲۰	۱	۱۷۶۳/۰۲۰	۳/۰۷۷	۰/۰۸۸
سرب	درون گروهی	۱۹۴۸۲/۶۳۵	۳۴	۵۷۳/۰۱۹		
	مجموع	۲۱۲۴۵/۶۷۳	۳۵			
	میان گروهی	۰/۵۸۱	۱	۰/۵۸۱	۱/۱۳۹	۰/۱۵۳
نیکل	درون گروهی	۹/۲۴۲	۳۴	۰/۲۷۲		
	مجموع	۹/۸۲۳	۳۵			
	میان گروهی	۴۳۱/۸۰۸	۱	۴۳۱/۸۰۸	۰/۳۴۱	۰/۵۶۳
مس	درون گروهی	۴۳۰۹۹/۵۴۳	۳۴	۱۲۶۷/۶۳۴		
	مجموع	۴۳۵۳۱/۳۵۲	۳۵			
	میان گروهی	۰/۰۵۶	۱	۰/۰۵۶	۲/۵۴۷	۰/۱۲۰
روی	درون گروهی	۰/۷۵۳	۳۴	۰/۰۲۲		
	مجموع	۰/۸۰۹	۳۵			
	میان گروهی	۰/۰۰۱	۱	۰/۰۰۱	۰/۱۰۷	۰/۷۴۵
کروم	درون گروهی	۰/۱۸۲	۳۴	۰/۰۰۵		
	مجموع	۰/۱۸۳	۳۵			

جدول ۴. تاثیر نوع بافت خاک و پارامترهای شیمیایی فلزات سنگین در خاک‌های شوشتر و دزفول در شمال استان خوزستان

پارامتر	نوع مقایسه	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	درجه F	سطح معنی‌داری
	میان گروهی	۰/۴۷۰	۲	۰/۲۳۵	۱۱/۸۲۰	۰
pH	درون گروهی	۰/۶۵۶	۳۳	۰/۰۲۰		
	مجموع	۱/۱۲۶	۳۵			
	میان گروهی	۱۹/۳۴۶	۲	۹/۶۷۳	۶/۲۵۲	۰/۰۰۵
هدایت الکتریکی	درون گروهی	۵۱/۰۵۹	۳۳	۱/۵۴۷		
	مجموع	۷۰/۴۰۴	۳۵			
	میان گروهی	۰/۴۴۷	۲	۰/۲۲۴	۱۰/۷۴۰	۰
کربن آلی خاک	درون گروهی	۰/۶۸۷	۳۳	۰/۰۲۱		
	مجموع	۱/۱۳۵	۳۵			
	میان گروهی	۰/۷۰۱	۲	۰/۳۵۰	۰/۶۳۳	۰/۵۳۷
کادمیوم	درون گروهی	۱۸/۲۶۴	۳۳	۰/۵۵۳		
	مجموع	۱۸/۹۶۵	۳۵			
	میان گروهی	۳۳۵۳/۶۳۳	۲	۱۶۷۶/۸۱۶	۳/۰۹۳	۰/۰۵۹
سرب	درون گروهی	۱۷۸۹۲/۰۴۱	۳۳	۵۴۲/۱۸۳		
	مجموع	۲۱۲۴۵/۶۷۳	۳۵			
	میان گروهی	۱/۲۵۲	۲	۰/۶۲۶		
نیکل	درون گروهی	۸/۵۷۱	۳۳	۰/۲۶۰	۲/۴۱۱	۰/۱۰۵
	مجموع	۹/۸۲۳	۳۵			
	میان گروهی	۲۶۲۷۹/۸۵۴	۲	۱۳۱۳۹/۹۲۷	۲۵/۱۳۵	۰
مس	درون گروهی	۱۷۲۵۱/۴۹۸	۳۳	۵۲۲/۷۷۳		
	مجموع	۴۳۵۳۱/۳۵۲	۳۵			
	میان گروهی	۰/۱۱۷	۲	۰/۰۵۹	۲/۷۹۲	۰/۰۷۶
روی	درون گروهی	۰/۶۹۲	۳۳	۰/۰۲۱		
	مجموع	۰/۸۰۹	۳۵			
	میان گروهی	۰/۰۰۹	۲	۰/۰۰۴	۰/۸۰۸	۰/۴۵۴

کروم	درون گروهی	۰/۱۷۴	۳۳	۰/۰۰۵	
	مجموع	۰/۱۸۳	۳۵		

تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA) نشان داد که در مولفه اصلی اول همبستگی مثبتی وجود داشته که شامل فلزات سنگین کادمیوم و روی بودند. در مولفه اصلی دوم، رابطه مستقیم و معنی داری بین نیکل، کروم و سرب موجود در محصولات زراعی مشاهده شد (جدول ۵). طبق نتایج جدول ۶ همبستگی پیرسون بین متغیرها نشان داد که ارتباط بین پارامترهای شیمیایی خاک و فلزات سنگین منفی است و هیچ‌گونه همبستگی و ارتباطی بین آن‌ها وجود ندارد، فقط درمورد فلزات سنگین بین عناصر مس ـ سرب (R=0.809; P<0.01)، مس ـ نیکل (R=0.798; P<0.01) و روی ـ کادمیوم (R=0.927; P<0.01) همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند.

جدول ۵. آنالیز مولفه اصلی فلزات سنگین در خاک‌های شوشتر و دزفول در شمال استان خوزستان

فلزات سنگین	۱	۲
کادمیوم	-۰/۶۴۴	۰/۷۱۵
سرب	۰/۷۹۸	۰/۲۲۴
نیکل	۰/۷۷۶	۰/۱۵۲
مس	۰/۷۳۶	۰/۵۵۸
روی	-۰/۷۲۴	۰/۶۱۰
کروم	۰/۵۰۶	۰/۳۸۴
اسیدیته (pH)	۰/۱۵۴	۰/۲۵۱
هدایت الکتریکی	۰/۱۹۱	۰/۱۱۵
کربن آلی خاک	۰/۷۴۵	۰/۳۷۶

جدول ۶. همبستگی پیرسون عناصر و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی در خاک‌های شوشتر و دزفول در شمال استان خوزستان

پارامترها	اسیدیته (pH)	هدایت الکتریکی	کربن آلی خاک	کادمیوم	سرب	نیکل	مس	روی	کروم
اسیدیته (pH)	۱								
هدایت الکتریکی	۰/۱۲۵	۱							
کربن آلی خاک	۰/۲۱۱	-۰/۳۰۳*	۱						
کادمیوم	-۰/۳۴۵*	-۰/۱۲۷	-۰/۴۷۱**	۱					
سرب	۰/۱۸۵	-۰/۳۷۱*	۰/۱۱۲	-۰/۳۶۵*	۱				
نیکل	۰/۲۰۲	-۰/۱۶۷	-۰/۴۷۲*	-۰/۴۸۹*	-۰/۵۸۷*	۱			
مس	۰/۲۶۶	-۰/۳۲۱	-۰/۲۷۸	-۰/۱۴۵	۰/۸۰۹**	۰/۷۹۸**	۱		
روی	-۰/۷۱۲**	-۰/۱۱۲	۰/۲۱۴	۰/۹۲۷**	-۰/۶۷۵**	-۰/۷۸۴*	-۰/۱۲۹	۱	
کروم	۰/۱۴۲	-۰/۲۱۵	-۰/۱۸۹	-۰/۱۶۵	-۰/۷۶۷*	۰/۳۰۶	۰/۵۹۹*	-۰/۱۷۱	۱

*** همبستگی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار است (P<0.05).**

**** همبستگی در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است (P<0.01).**

بحث

در این پژوهش بیشینه مقادیر کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی در خاک های سطحی نشان دادند که در مقایسه با استاندارد JRC[1] (کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی به ترتیب ۱/۵، ۱۰۰، ۷۰، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) (حمزه نژاد تقلیدآباد و خداوردیلو، ۱۳۹۹) پایین تر بودند. همچنین غلظت فلزات سنگین در مقایسه با استاندارد ملی محیط زیست ایران در خاک های کشاورزی (کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی به ترتیب ۳/۹، ۳۰۰، ۵۰، ۰/۴، ۶۳ و ۲۰۰

1- Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Soil and waste Unit (JRC)

میلی‌گرم بر کیلوگرم) (افیونی، ۱۳۹۲) نشان دادند که مقادیر فلزات سنگین در مقایسه با حد آستانه این استاندارد پایین تر بود، اما غلظت فلز مس بالاتر از این استاندارد به دست آمدند. درخصوص مقایسه مقادیر فلزات سنگین با حد مجاز استانداردها می بایست بیان کرد که شدت آلودگی خاک را نشان نمی دهد و فقط آلوده بودن یا عدم آلودگی خاک به فلزات سنگین را نشان می دهد (حمزه نژاد تقلیدآباد و خداوردیلو، ۱۳۹۹). در واقع حدود آستانه هر فلز اختصاصی است و خطرات هر فلز به طور جداگانه در نظر گرفته می شود (انصاری و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین حد مجاز فلزات سنگین در مناطق مختلف، کشورها و کاربری های مختلف متفاوت است (صدر و موحدی راد، ۱۳۹۹).

میانگین عناصر سرب، کادمیوم و مس در خاک های سطحی دزفول و شوشتر از میانگین مقادیر پوسته زمین (به ترتیب ۱۴، ۰/۲ و ۵۰ میلی گرم بر کیلوگرم) بالاتر بود، اما غلظت کروم، روی و نیکل کمتر از متوسط پوسته زمین (به ترتیب ۱۰۰، ۷۵ و ۸۰ میلی گرم بر کیلوگرم) به دست آمد که نشان می دهد عناصر سرب، کادمیوم و مس حاصل از فعالیت‌های انسانی وارد خاک مناطق مورد مطالعه شده است. فعالیت های صنعتی، شهری و کشاورزی به طور قابل توجهی بر غلظت کل کادمیوم تأثیر می گذارد. همچنین صرف نظر از فرونشست اتمسفری، مهمترین مسیر ورود کادمیوم به گرد و غبار شهری، کودهای فسفره در زمین های کشاورزی در شهرهای اطراف و اطراف آن است. کادمیوم همچنین از فرسودگی لاستیک اتومبیل وارد محیط می شود (Otvos et al., 2003). تأثیر فعالیت های شهری و مصارف صنعتی یکی از دلایل سطوح بالای سرب در خاک این منطقه است. سوخت های فسیلی، سوخت های زغال سنگ، تردد وسایل نقلیه و پوشش نوار قرمز نیز عواملی هستند که باعث افزایش سرب در خاک می شوند (Li et al., 2014). از فلز مس در صنایع تولید لوله های مسی، کابل ها، سیم ها و ظروف مسی استفاده می شود (ATSDR, 2004). مهمترین منابع مس برای آلودگی محیط زیست معدن، کشاورزی، زباله و لجن تصفیه فاضلاب است (Trumbo et al., 2001). مقدار روی در خاک‌های سطح شوشتر و دزفول بسیار کمتر از متوسط پوسته زمین (۷۵ میلی گرم در کیلوگرم) بود. مقدار روی در خاک طبیعی به ترکیب شیمیایی سنگ مادر و میزان فرآیندهای هوازدگی مربوط می شود (Chesworth, 1991). در خاک های کشاورزی، روی به طور یکنواخت توزیع نمی شود و دامنه محتوای آن بین ۱۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در کیلوگرم (Malle, 1992; Barber, 1995) است و محققان معتقدند که مقدار روی طبیعی در خاک های آلوده بسیار متفاوت است و می تواند از ۱۰ تا ۱۰۰ میلی گرم در کیلوگرم (Mertens et al., 2007) کمبود روی در خاک‌های مناطق وسیع جهان گزارش شده است. در مطالعه ای جامع، فائو اظهار داشت که بیش از ۳۰ درصد خاک‌های مورد مطالعه کمبود روی دارند. این گزارش می دهد که کمبود روی در برخی کشورها از جمله بلژیک، مالت، عراق، ترکیه، پاکستان و هند شدیدتر از مناطق دیگر از جمله سوریه، لبنان، مکزیک و تایلند است (Alloway, 1995).

شوشتر علاوه بر خاک آبرفتی دامنه زاگرس که بسیار حاصلخیز است دارای معادن گچ، آهک، سنگ ساختمانی، شن و ماسه است. شوشتر دارای دو شهرک صنعتی و صنایع مختلف نظیر کارخانه های صنایع غذایی آذین، شرکت گل پونه خوزستان، مجتمع صنایع غذایی سبزنام، شرکت پارس پترو شوشتر و کشت و صنعت کارون در شهر شوشتر نیز وجود دارد. شهرستان دزفول دارای چهار شهرک صنعتی و صنایعی مانند کارگاه ها و کارخانه های مواد شیمیایی، صنایع غذایی، صنایع فلزی و لاستیک نظیر شرکت اکسیر پلیمر پارس، صنایع غذایی کوشان و آلومینیوم دزفول می باشد. در این تحقیق مقادیر فلزات سنگین در نزدیکی ایستگاه های مسکونی و با تردد و ترافیک بالا بیشتر از مناطق دیگر بود و در مناطق صنعتی و کشاورزی نیز انباشت فلزات سنگین در خاک وجود داشت. در تحقیقات و مطالعات بسیاری انباشت فلزات سنگین در منبع مختلف آب و خاک گزارش شده است (ولایت زاده و پاینده، ۱۳۹۸؛ Mansouri Moghadam et al., 2024; Mansouri Moghadam et al., 2024). در تحقیقی انباشت غلظت فلزات سنگین در خاک شهری بجنورد به علت ترافیک و فعالیت های صنعتی گزارش شده است (سلگی و کرامتی، ۱۳۹۴). در مطالعه دیگر در تمام مناطق شهر زاهدان (بجز مناطق مسکونی) غلظت متوسط عناصر کادمیوم، کروم، مس، نیکل، سرب و روی از مقدار غلظت زمینه (حاشیه شهر) بیشتر بود. این مطالعه نشان داد که کاربری زمین تاثیر به سزایی در افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر زاهدان دارد. بیشترین غلظت عناصر در مناطق تجاری و مناطق پر ترافیک به دست آمد که تردد وسایل نقلیه بالاتری در مناطق فوق وجود داشت، بنابراین کاهش ترافیک و بهبود سیستم حمل و نقل عمومی در مناطق مذکور می تواند منجر به بهبود کیفیت خاک در این مناطق شود (کمانی و همکاران، ۱۳۹۶). تجمع و انباشت فلزات سنگین در خاک‌های سطحی شهر اهواز به صورت مس> سرب> کروم> روی>

آرسنیک> کادمیوم گزارش شده است و غلظت‌های بالا علاوه بر ضریب تغییر زیاد، نقش انسانی را برای فلزات سنگین نشان می دهد (Borojerdnia et al., 2020). Guan و همکاران (۲۰۱۴) میزان فلزات سنگین را در یک منطقه صنعتی و معدنی به نام تیانجین در چین بررسی کرد. آنها دریافتند که بیشترین میزان آلودگی در منطقه مورد مطالعه مربوط به فلز روی و آلودگی مس، کادمیوم و عناصر سرب بیشتر از حد متوسط است (Guan et al., 2014).

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس بیانگر این است که نوع بافت خاک ایستگاه های مورد مطالعه بر فلز مس تاثیر معنی داری داشت ($P<0.05$)، اما بر روی تفاوت بافت خاک بر مقادیر فلزات سنگین کادمیوم، سرب، نیکل، کروم و روی اختلاف معنی داری نداشت ($P>0.05$). در یک مطالعه در مناطق مختلف صنعتی در نیجریه در نمونه های ۲۲ منطقه نمونه برداری شده عناصر روی، مس، سرب، آهن و کادمیوم سنجش کردند که بیشترین آلودگی مربوط به روی با مقدار ۱۴۱/۰۶ میلی گرم در کیلوگرم و مس با غلظت ۱۳۱/۷ میلی گرم در کیلوگرم خاک بود و نوع خاک بر مقادیر فلزات سنگین تاثیرگذار بود (Adesuyi et al., 2015). در این پژوهش بافت خاک های سطحی شهرهای دزفول و شوشتر از نوع رسی ـ سیلتی، لومی ـ رسی و شنی ـ رسی بودند. تجمع زیستی فلزات سنگین در خاک ها، تحت تاثیر نوع کانی های آن‌ها بوده و به خصوص به نوع کانی های رسی موجود در خاک بستگی دارد (Forstner and Wittman, 1983). فعالیت های استخراج باعث فرسایش خاک در نتیجه تماس محیطی با طیف وسیعی از فلزات سنگین می شود (Zeng et al., 2015; Yadav et al., 2016). فلزات سنگین در خاک بسته به لایه و کلاس‌بندی خاک متفاوت است. همچنین، نوع و مقدار کودهای شیمیایی که به خاک اضافه می شوند، بر تجمع فلزات سنگین در خاک و تغییر بافت خاک تأثیر می گذارد (Karimpour et al., 2009).

در این مطالعه همبستگی پیرسون بین متغیرها نشان داد که ارتباط بین پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک و فلزات سنگین منفی است و هیچ‌گونه همبستگی و ارتباطی بین آن‌ها وجود ندارد، فقط درمورد فلزات سنگین بین عناصر مس ـ سرب، مس ـ نیکل و روی ـ کادمیوم همبستگی مثبت و معنی‌داری داشتند. دامنه کم اسیدیته خاک های مورد آزمایش، باعث شد که ارتباط ضعیفی بین میزان فلزات سنگین خاک و اسیدیته به‌دست آید. همبستگی مثبت بین برخی عناصر و میزان رس و مواد آلی نمونه های خاک دلالت بر این می کنند که مواد آلی و رس خاک ها با تثبیت عناصر، خطر رها شدن آن ها را به محیط زیست کاهش می دهند (بهبهانی نیا و سلماسی، ۱۳۹۵). تجزیه و تحلیل مولفه اصلی (PCA) نشان داد که در مولفه اصلی اول همبستگی مثبتی وجود داشته که شامل فلزات سنگین سرب، مس، کروم و نیکل بودند. در مولفه اصلی دوم، رابطه مستقیم و معنی داری بین کادمیوم و روی و کروم خاک مشاهده شد، اما در مولفه اصلی اسیدیته با سایر پارامترهای خاک ارتباط منفی داشت. کربن آلی خاک در مولفه اصلی اول با فلزات سنگین ارتباط معنی داری داشت و هدایت الکتریکی در هر دو مولفه اصلی همبستگی منفی داشت. به عبارت دیگر همبستگی پیرسون، تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی و تجزیه و تحلیل خوشه‌ای فلزات سنگین اسیدیته، هدایت الکتریکی، کربن آلی خاک نشان داد که بین متغیرها همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود نداشت. همبستگی زیاد بین عناصر و پارامترها نشان می دهد که منبع آلودگی فلزات سنگین فعالیت های انسانی است، اما عدم همبستگی بین داده ها و پارامترها نشان می دهد که منشا آن‌ها طبیعی است و به‌دلیل فرایندهای زمین شناسی در منطقه مورد مطالعه است. منبع فلزات سنگین یکی از دو روش اصلی فعالیت‌های ساخت بشر و فرآیندهای طبیعی است (Jia et al., 2018). فلزات سنگین نتیجه فرآیندهایی از جمله فرسایش، واکنش‌های شیمیایی و فیزیکی زمین شناسی و هوازدگی سنگ‌ها هستند (Nazarpour et al., 2019)، اما منابع انسانی شامل فعالیت‌های زندگی کشاورزی، صنعتی و شهری انسان‌ها است (Adedeji et al., 2019). میانگین غلظت فلزات سنگین مس، سرب، روی، کروم، آرسنیک و کادمیوم خاک شهر اهواز به ترتیب ۱۷۹/۷، ۱۷۹/۶، ۱۵۰/۱، ۱۰۱، ۱۴/۲ و ۵/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. ضرایب همبستگی بدست آمده بین عناصر نشان داد که عناصر سرب، روی، مس و کروم دارای همبستگی معنی داری بوده که ناشی از منشا یکسان از جمله انسان‌زاد می‌باشد. از طرفی عناصری مانند کادمیوم و آرسنیک دارای همبستگی پایینی با دیگر عناصر بوده که نشان از زمین‌زاد بودن این عناصر به ویژه آرسنیک و منابع آلودگی دیگر برای کادمیوم می‌باشد (قنواتی و نظرپور، ۱۳۹۷). علت پایین بودن همبستگی فلزات سنگین در خاک را می‌توان به متنوع بودن منشأ ژئوشیمیایی و صنعتی عناصر مورد مطالعه که از راه‌های گوناگون وارد خاک می‌شوند، مرتبط دانست (Nabula et al., 2010). همچنین علت همبستگی معنی دار و مثبت بین فلزات سنگین کادمیوم و روی این است که فلز کادمیوم یکی از پرتحرک‌ترین عناصر در خاک است (Jamali et al., 2009). در

تحقیقی همبستگی فلز کادمیوم با روی مثبت گزارش شد که این میزان نشان دهنده ارتباط مستقیم و متوسط در سطح یک درصد می‌باشد (لرستانی و هزاوه‌یی، ۱۳۹۳) که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد.

نتیجه گیری

در این پژوهش بیشینه مقادیر کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی در خاک های سطحی شوشتر و دزفول نشان دادند که در مقایسه با استاندارد JRC پایین تر بودند، فقط غلظت مس در خاک های شهرهای شوشتر و دزفول و کادمیوم در خاک شهر دزفول بالاتر از این استاندارد به دست آمدند. همچنین بیشینه غلظت عناصر در خاک های سطحی شوشتر و دزفول در مقایسه با استاندارد ملی محیط زیست ایران نشان دادند که مقادیر فلزات سنگین در مقایسه با حد آستانه این استاندارد پایین تر بود، اما غلظت مس در خاک های شهرهای شوشتر و دزفول و کروم در خاک شهر شوشتر بالاتر از این استاندارد به دست آمدند. بر اساس تجزیه و تحلیل های متفاوت همبستگی داده های فلزات سنگین در خاک می توان بیان کرد که گروه های مختلف و متفاوت عناصر حاصل از مولفه اصلی و همچنین عدم ارتباط مثبت و همبستگی پیرسون بین عناصر و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی خاک، نشان دهنده این است که منشا کادمیوم، سرب، نیکل، کروم، مس و روی در خاک شهرهای شوشتر و دزفول طبیعی و حاصل از فعالیت های زمین شناسی مناطق مورد مطالعه می باشد. پیشنهاد می شود میزان فلزات سنگین و کمیاب به طور مستمر و متناوب در خاک های سطحی شهرهای صنعتی و بزرگ استان خوزستان پایش شوند. همچنین سایر فلزات سمی و خطرناک نظیر جیوه، آرسنیک، وانادیوم نیز در خاک شهرهای دزفول و شوشتر مطالعه گردد. به کشاورزان، باغداران و ساکنان محلی در خصوص مضرات و مشکلات استفاده از فاضلاب جهت آبیاری اراضی تحت کشت کشاورزی اطلاع رسانی گردد. اداره آب و فاضلاب و مراکز بهداشت شهری و روستایی و سازمان جهاد کشاورزی بر روند استفاده از فاضلاب در زمین های کشاورزی نظارت نمایند. در مناطقی که آب رودخانه و آب مصرفی مناسب جهت کشاورزی وجود ندارد، مجوز کشت محصولات کشاورزی داده نشود. در مواقع خشکسالی منطقه به کشاورزان در عوض عدم استفاده از فاضلاب در کشاورزی مشوق های اقتصادی لازم داده شود.

منابع

۱. افیونی، م. ۱۳۹۲. راهنمای استاندارد کیفیت خاک. دفتر معاونت محیط زیست انسانی، گروه آب و خاک، ۱۶۱ صفحه.

۲. انصاری، ا.م.، راهنورد، ا. و سوادکوهی، ف. ۱۴۰۰. برآورد غلظت فلزات سنگین سرب و کادمیوم در خاک منطقه لنجان با استفاده از اندازه گیری زمینی و تصاویر ماهواره‌ای. نشریه مطالعات علوم محیط‌زیست، ۶ (۱): ۳۴۶۵-۳۴۵۹.

۳. بهبهانی نیا، ا. و سلماسی، ر. ۱۳۹۵. بررسی تراکم فلزات سنگین و تعیین همبستگی بین آن ها با ویژگی های خاک در توابع شهرستان هشترود، استان آذربایجان شرقی. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۸ (۲): ۶۹-۵۹.

۴. جعفرنژادی، ع.ر.، همایی، م.، صیاد، غ.ع. و موسوی فضل، س.م.ه. ۱۳۸۹. بررسی رابطه مصرف کودهای فسفاتی و انباشت کادمیوم در مزارع تحت کشت گندم در استان خوزستان. اولین کنگره چالش‌های کود در ایران، تهران، موسسه تحقیقات، ۱۱ صفحه.

۵. حمزه‌نژاد تقلید آباد، ر. و خداوردیلو، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی کمی آلودگی فلزات سنگین. نشریه تحقیقات کاربردی، ۸ (۲): ۵۲-۳۷.

۶. سلگی، ع. و کرامتی، م. ۱۳۹۴. ارزیابی خطرات بهداشتی ناشی از فلزات سنگین در خاک شهری (شهر بجنورد). مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، ۷ (۴): ۸۲۷-۸۱۳.

۷. صدر، س. و موحدی راد، ز. ۱۳۹۹. بررسی الگوی مکانی غلظت سلنیوم کل درخاک سطحی بخش‌هایی از ایران مرکزی (مطالعه موردی: استان اصفهان). فصلنامه علوم محیطی، ۱۸ (۳): ۱۲۱-۱۰۶.

۸. قنواتی، ن. و نظرپور، ا. ۱۳۹۷. بررسی آلودگی زیست محیطی فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله محیط شناسی، ۴۴ (۳): ۴۱۰-۳۹۳.

۹. کمانی، ح.، حسینی، م.، صفری، غ.ح.، جعفری، ج.، اشرفی، س.د. و محوی، ا.ح. ۱۳۹۶. بررسی غلظت فلزات سنگین در خاک سطحی شهر زاهدان. مجله سلامت و بهداشت، ۸ (۲): ۱۹۰-۱۸۳.

۱۰. لرستانی، ب. و هزاوه‌یی، ز. ۱۳۹۳. بررسی آلودگی فلزات سنگین در محصولات گندم (آبی و دیم) در برخی مزارع کشاورزی شهرستان همدان. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ویژه‌نامه فصل زمستان، ۱۶ (۱): ۲۱۸-۲۰۵.
۱۱. نوراله نوری‌وندی، ا. ۱۳۹۶. نقش برنامه‌های آموزشی و ترویجی در کاهش کاربرد آلاینده‌های زیست‌محیطی در کشت سبزی و صیفی شهرستان شوشتر. فصلنامه پژوهش مدیریت آموزش کشاورزی، ۴۳: ۷۲-۵۸.
۱۲. ولایت‌زاده، م.، پاینده، خ. (۱۳۹۸). بررسی تأثیر دستگاه‌های تصفیه آب خانگی بر غلظت فلزات آب آشامیدنی شهر اهواز. مجله طب جنوب، ۲۲ (۶): ۴۰۲-۴۱۴.
13. Adedeji, O.H., Olayinka, O.O. and Tope-Ajayi, O.O., (2019). Spatial Distribution and Health Risk Assessment of Soil Pollution by Heavy Metals in Ijebu-Ode, Nigeria. Journal of Health & Pollution, 9 (22), 190601.
14. Adesuyi, A.A., Njoku, K.L. and Akinola, M.O., (2015). Assessment of Heavy Metals Pollution in Soils and Vegetation around Selected Industries in Lagos State, Nigeria. Journal of Geoscience and Environment Protection, 3, 11-19.
15. Alloway, B.J., (1995). Heavy metal in soil. New York: John Wiley and sons. Inc; 2001. P. 20-28.
16. ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry). (2004). Toxicological profile for copper. Atlanta: U.S. Department of Health and Humans Services, Public Health Service, Centers for Diseases Control. Division of Toxicology/Toxicology Information Branch 1600 Clifton Road NE, Mailstop F-32 Atlanta, Georgia 30333. 272 P.
17. Barber, S.A., (1995). Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. John Wiley & Sons.
18. Borojerdnia, A., Mohamadi Rozbahani, M., Nazarpour, A., Ghanavati, N. and Payandeh, K., (2020). Heavy Metal Pollution in Surface Soils of Ahvaz, Iran, Using Pollution Indicators and Health Risk Assessment. Archive Hygiene Science, 9 (4), 299-310.
19. Chesworth, W., (1991). Geochemistry of micronutrients. Micronutrients in agriculture, 4,1-30.
20. Forstner, U. and Wittman, G.T. 1983. Metal Pollution in the Aquatic Environment. Springer, Berlin, Heidelberg, Germany.
21. Gee, G. W., and Bauder, J.W., (1986). Particle-size analysis. Methods of soil analysis: Part 1 Physical and mineralogical methods, 5, 383-411.
22. Guan, Y., Shao C. and Ju, M., (2014). Heavy Metal Contamination Assessment and Partition for Industrial and Mining Gathering Areas. International Journal of Environmental Research and Public Health, 11, 7286-7303.
23. Hu, W., Wang, H., Dong, L., Huang, B., Borggaard, O.K., Bruun Hansen, H.C., He, Y. and Holm, P.E., (2018). Source identification of heavy metals in peri-urban agricultural soils of southeast China: an integrated approach. Environment Pollution, 237, 650.
24. Huang, J., Guo, S., Zeng, G., Li, F., Gu, Y., Shi, Y., Shi, L., Liu, W. and Peng, S., (2018). A new exploration of health risk assessment quantification from sources of soil heavy metals under different land use. Environmenta Pollution, 243, 49–58.
25. Jamali, M. K., Kazi, T.G. Arain, M.B., Afridi, H. I. Jalbani, N. Kandhro, G.A, A.Q. and Baiga, J.A., (2009). Heavy metal acceumulation in different of wheat grown in soil amended. Journal Hazardous Material, 164, 1386-1391.
26. Jia, Z., Li, S. and Wang, L., (2018). Assessment of soil heavy metals for eco-environment and human health in a rapidly urbanization area of the upper Yangtze Basin. Scientific Reports, 8, 3256.
27. Karimpour, M., Afyuni, M., Esmaili Sari, A., Ghasempouri, S.M., (2009). Effect of sewage sludge on mercury accumulation in soil and corn. Journal of Residuals Science and Technology, 6, 247-254.
28. Lee, W.J., Sandler, D.P., Blair, A., Samanic, C., Cross, A.J. and Alavanja, M.C., (2007). Pesticide use and colorectal cancer risk in the Agricultural Health Study. International Journal of Cancer, 121 (2), 339-346.
29. Li, Z.Y., Ma, Z.W., Vander Kuijp, T.J., Yuan, Z.W., and Huang, L., (2014). A review of soil heavy metal pollution from mines in China: pollution and health risk assessment. Sci. Total Environ. 468: 843-853.
30. Malle, K.G., (1992). Zink in der Umwelt. Acta hydrochimica et hydrobiologica, 20(4), 196-204.
31. Mansouri Moghadam, S., Payandeh, K., Koushafar, A., Goosheh, M., & Mohammadi Rouzbahani, M. (2024). Level of heavy metals and environmental pollution index in Ahvaz, Southwest Iran. Scientific Reports, 14(1), 14754.
32. Mansouri Moghadam, S. M., Payandeh, K., Koushafar, A., Goosheh, M., & Rouzbahani, M. M. (2024). Human health risk assessment and carcinogenicity due to exposure to potentially heavy metals on soil pollution in Southwest Iran. Clinical Epidemiology and Global Health, 25, 101492.
33. Maqbool, A., Xiao, X., Wang, H., Bian, Z. and Akram, M.W., (2019). Bioassessment of Heavy Metals in Wheat Crop from Soil and Dust in a Coal Mining Area. Pollution, 5(2): 323-337.

34. Mertens, J., Degryse, F., Springael, D. and Smolders, E., (2007). Zinc toxicity to nitrification in soil and soilless culture can be predicted with the same biotic ligand model. Environmental science & technology, 41(8), 2992-2997.
35. Nabula, G., Young, S.D. and Black, C.R., (2010). Assessing risk to human health from tropical leafy vegetables grown on soil amended with urban sewage sludge. Environment Pollution, 159: 368-376.
36. Nazarpour, A., Watts, M.J., Madhani, A. and Elah, S., (2019). Source, Spatial Distribution and Pollution Assessment of Pb, Zn, Cu, and Pb, Isotopes in urban soils of Ahvaz City, a semi-arid metropolis in southwest Iran. Sceintific Reports, 9, 5349.
37. Nelson, B.W. and Sommers, L.E., 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. Pp. 539 - 577. In: Page AL, Miller RH and Keeney DR (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 2 , Soil Sci Soc of Am. Madison, WI.
38. Otvos, E., Pazmandi, T. and Tuba, Z., (2003). First national survey of atmospheric heavy metal deposition in Hungary by the analysis of mosses. Science of Total Environment, 309, 151-160.
39. Pan, S., Wang, K., Wang, L., Wang, Z. and Han, Y., (2017). Risk assessment system based on WebGIS for heavy metal pollution in farmland soils in China. Sustainability, 9 (10), 1846–1868.
40. Rhoades, J.D., (1986). Soluble salts. Pp.167-179. In: Compbell GS, Nielsen DA, Jackson RD, Klute A and Mortland MM (Eds). Methods of Soil Analysis. Part1. Soil Sci Soc of Am. Madison, WI.
41. Salman, S.A., Zeid, S.A.M., El-Montser M. Seleem, E.M. and Abdel-Hafiz, M.E., (2019). Soil characterization and heavy metal pollution assessment in Orabi farms, El Obour, Egypt. Bulletin of the National Research Centre, 43, 42.
42. Trumbo P., Yates A.A., Schlicker S., Poos M. (2001). Dietary reference intakes: vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. Journal of the American Dietetic Association. 101, 294-301.
43. United States Environmental Protection Agency (USEPA), (1996). Method 3050B: Acid digestion of sediments, sludges and soils (revision 2).
44. Yadav, P., Singh, B., Garg, V.K., Mor, S. and Pulhani, V., (2016). Bioaccumulation and health risks of heavy metals associated with consumption of rice grains from croplands in Northern India, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 23 (1), 14-27.
45. Zeng, F., Wei, W., Li, M., Huang, R., Yang, F. and Duan, Y., (2015). Heavy Metal Contamination in Rice-Producing Soils of Hunan Province, China and Potential Health Risks. Internatinonal Journal Environmental Research Public Health, 12, 15584-15593.

.

Investigation of heavy metals Cd, Pb, Ni, Zn, Cu and Cr in soils of northern Khuzestan province (Case study: Shushtar and Dezful cities)

Khoshnaz Payandeh[1*], Mohammad Velayatzadeh[2]

[1] Department of Soil Sciences, Ahv.C., Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
[2] Department of Industrial Safety, Caspian Institute of Higher Education, Ghazvin, Iran.
Corresponding Author: Khoshnaz Payandeh
Khpayandeh@iau.ac.ir

Abstract
Heavy metals are one of the dangerous soil pollutants that can cause poisoning of living organisms and humans. This research aimed to investigate the elements cadmium (Cd), lead (Pb), nickel (Ni), chromium (Cr), copper (Cu) and zinc (Zn) in surface soils of northern Khuzestan province in the cities of Shushtar and Dezful. In the summer, 144 samples were collected from 12 stations of surface soils at a depth of 10 cm from various urban, industrial, agricultural, road and garden uses in the cities of Shushtar and Dezful. The average concentrations of Cd, Pb, Nil, Cr, Cu, and Zn in surface soils were 1.07, 25.90, 0.38, 70.87, 0.23 and 0.05 mg kg^{-1} respectively. Analysis of variance indicated that the soil texture type of the studied stations had a significant effect on Cu concentration ($P<0.05$), but the difference in soil texture had no significant difference on the amounts of Cd, Pb, Nil, Cr and Zn ($P>0.05$). Pearson correlation showed that Cd-Zn (R= 827; P=0.0) had a positive and significant correlation ($P<0.01$). Also, the results of principal component analysis showed that Zn (PCA=610) and Cd (PCA=715) have the same origin. Principal component analysis (PCA) showed that there was a positive correlation in the first principal component, which included the heavy metals Pb, Cu and Ni. In the second principal component, a direct and significant relationship was observed between Cd, Zn and Cr in the soil. The high correlation between metals and parameters indicates that the source of heavy metal pollution is human activities. Also, the reason for the significant and positive correlation between the Cd and Zn is that Cd is one of the most mobile elements in the soil. The reason for the low correlation of heavy metals in soil can be attributed to the diverse geochemical and industrial origins.
Keywords: Agricultural field pollution, heavy metals, Principal component analysis, Pearson correlation