



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



پراکنش مکانی فلزات سنگین در بخشی از اراضی پلایای جازموریان

ایمان امیری شاد^۱، فریده عباسزاده افشار^{۲*}، صالح سنجرى^۱، جواد زمانی بابگهری^۲، شمس‌اله ایوبی^۲

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت

۲- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه جیرفت: * پست الکترونیکی نویسنده مسئول مقاله:

f.abbszadeh@ujiroft.ac.ir

۳- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

آلودگی آب و خاک توسط فلزات سنگین به دلیل سمیت بالا، گستردگی منابع آلوده‌کننده، مقاومت در برابر تجزیه و قابلیت تجمع در محیط‌زیست، یکی از چالش‌های مهم جهانی محسوب می‌شود. بررسی سطح آلودگی فلزات سنگین در خاک‌ها برای تصمیم‌گیری‌های مؤثر در کاهش آلودگی، محدود کردن مواجهه انسان با این مواد سمی و حفظ سلامت جامعه در برابر مخاطرات ناشی از آنها امری ضروری است. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین در برخی از خاک‌های منطقه جازموریان طراحی گردید. منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی پلایا جازموریان واقع شده است. نمونه‌برداری خاک از خاک سطحی (۰-۲۰ cm) صورت گرفت. نمونه‌های خاک بعد از هوا خشک شدن و عبور از الک، آنالیزهای درصد ماده آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، EC، pH و همچنین عناصر قابل جذب Fe، Cu، Zn، Mn، Cd و Pb اندازه‌گیری شدند. به منظور شناسایی هر چه بهتر مناطق آلوده و یا در معرض آلودگی به فلزات سنگین، به تهیه نقشه‌های پراکنش آلودگی با روش میان‌یابی کریجینگ در محیط نرم افزار ArcGIS پرداخته شد. مطالعه میزان آلودگی فلزات سنگین با کمک فاکتور آلودگی می‌تواند تأثیر عوامل مختلف در توزیع نسبی غلظت هر یک از فلزات سنگین در خاک را به‌خوبی نشان دهد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که فاکتور آلودگی هر یک از فلزات سنگین در خاک را به‌خوبی نشان دهد. مکانی فلزات سنگین مورد بررسی در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد که آلودگی فلزاتی مانند سرب، روی، کادمیم و مس بیشتر تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی در منطقه هستند. بالاترین میزان فاکتور آلودگی این فلزات در جنوب و مرکز منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود.

واژگان کلیدی: آلودگی خاک، فلزات سنگین، جازموریان

مقدمه

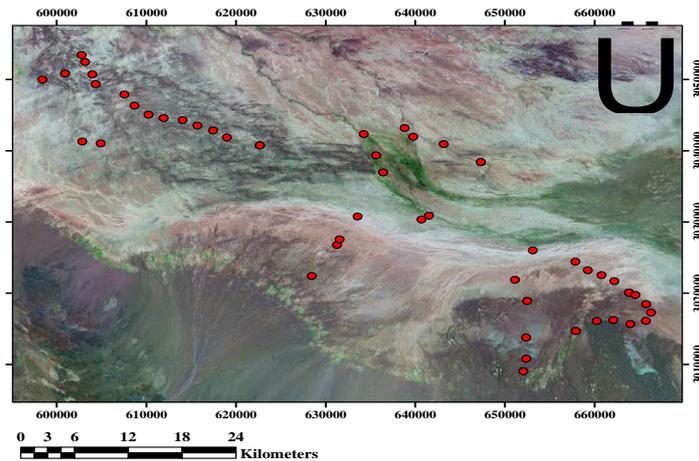
فلزات سنگین به عنوان پایدارترین و پیچیده‌ترین آلاینده‌های طبیعی شناخته می‌شوند. این فلزات نه تنها بر کیفیت هوا، آب و مواد غذایی تأثیر منفی می‌گذارند، بلکه تهدیدی جدی برای سلامتی انسان‌ها و جانوران محسوب می‌شوند. از آنجا که فلزات سنگین برخلاف بسیاری از ترکیبات آلی، در بدن موجودات زنده متابولیزه و تجزیه نمی‌شوند، در بافت‌های آن‌ها انباشته شده و باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی و بهداشتی می‌گردند (Arife et al., 2022). منابع فلزات سنگین آلاینده می‌توانند طبیعی شامل فرسایش سنگ بستر، انتقال جوی، آتشفشان و رهاسازی توسط گیاهان و منابع اصلی انسان‌پدید شامل سایت‌های صنعتی، باطله‌های معادن، دفع زباله‌های حاوی مقادیر زیادی فلزات، بنزین و رنگ‌های حاوی سرب، استفاده از کودهای شیمیایی، کود حیوانی، آفت‌کش‌ها، لجن فاضلاب، آبیاری با پساب فاضلاب، ضایعات حاصل از احتراق زغال سنگ، نشت و دفن فرآورده‌های پتروشیمی می‌باشند (Biljana et al., 2022). آلودگی ناشی از فلزات سنگین تأثیرات مخربی بر خاک دارد که شامل تخریب ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، کاهش تنوع زیستی و اختلال در جذب مواد مغذی توسط موجودات زنده می‌شود. علاوه بر این، این آلودگی با ورود به چرخه‌ی غذایی و نشت به سفره‌های آب زیرزمینی، خطری جدی برای سلامت بشر و تعادل اکوسیستم‌ها محسوب می‌شود. با در نظر گرفتن پیامدهای گسترده‌ای همچون تهدید سلامتی انسان‌ها، مسمومیت گیاهان و کاهش پایدار حاصلخیزی خاک، این پدیده به یک چالش زیست‌محیطی با ابعاد جهانی تبدیل شده است (Aradhi et al., 2023).

با شناخت میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک، می‌توان گام‌های مؤثری در جهت کاهش این آلودگی، کاهش در معرض قرار گرفتن انسان با آلودگی‌های ناشی از فلزات سنگین و همچنین حفاظت از انسان در برابر خطرات ناشی از این عناصر برداشت (حمزه‌نژاد و خداوردیلو، ۱۳۹۹). هدف اصلی در مدیریت پایدار اراضی، شناسایی و به‌کارگیری راهکارهایی است که بتوانند همزمان دو هدف مهم را محقق سازند: (۱) ارتقای کمی و کیفی منابع در بلندمدت (۲) حفظ کیفیت خاک و جلوگیری از تخریب اراضی. چنین رویکردی نیازمند نگاهی جامع و آینده‌نگر به مدیریت منابع طبیعی است. لذا آگاهی از چگونگی کیفیت خاک در عرصه‌های کشاورزی و منابع طبیعی به‌خصوص مناطق خشک کشور برای مدیریت بهینه سرزمین، رسیدن به حداکثر بهره‌وری اقتصادی پایدار و عدم آلودگی خاک و آب ضروری به‌نظر می‌رسد. از این‌رو پژوهش حاضر با بررسی پراکنش مکانی عناصر سنگین (سرب، کادمیوم، منگنز، مس، آهن و روی) در بخشی از پلاهای جازموریان، جهت تعیین نوع فعالیت‌های مدیریتی برای کاربری پایدار انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، بخشی از اراضی پلایا جازموریان در عرض جغرافیایی $27^{\circ}29'27''$ شمالی و طول جغرافیایی $58^{\circ}32'46''$ شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع این منطقه حدود ۴۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه حدود ۱۰۰ میلی‌متر و متوسط دمای هوا سالیانه ۲۴ درجه سانتی‌گراد است. بر اساس سیستم آمریکایی (۲۰۲۰) رژیم رطوبتی خاک اریدیک و رژیم حرارتی منطقه هایپرترمیک می‌باشد.

نمونه‌برداری مهم‌ترین گام در بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک می‌باشد. در این بررسی، نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه، از خاک سطحی عمق ۰-۲۰ cm انجام شد. همچنین موقعیت نقاط نمونه‌برداری از نظر طول و عرض جغرافیایی با استفاده از دستگاه GPS یادداشت شد. پراکنش مکانی نقاط نمونه‌برداری شده در شکل ۱ ارائه شده است. نمونه‌های خاک برداشت شده برای انجام تجزیه‌های مختلف شیمیایی به آزمایشگاه منتقل شدند. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی‌متری عبور داده شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها، برخی ویژگی‌های خاک مانند، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش جایگزینی با استات آمونیم (Bower et al., 1952)، کربن آلی به روش والکلی و بلک (Nelson and Sommers, 1982)، قابلیت هدایت الکتریکی و پهاش در عصاره اشباع (Page., 1982) اندازه‌گیری شدند. اندازه‌گیری عناصر آهن، روی، مس، منگنز، سرب و کادمیوم قابل جذب در خاک با استفاده از روش DTPA توسط لیندسی ونورول انجام شد. در این روش عناصر آهن، منگنز، روی و مس با DTPA کلات با ثباتی تشکیل و هم‌زمان DTPA با سرب و کادمیوم نیز کلات تشکیل می‌دهد از این‌رو امکان ارزیابی عناصر سنگین در عصاره فراهم می‌گردد. در نهایت با استفاده از عصاره‌های گرفته شده غلظت عناصر مورد نظر با دستگاه جذب اتمیک قرائت گردید.



شکل ۱- موقعیت نقاط نمونه برداری شده در منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، تحلیل داده‌ها با هدف بررسی نحوه توزیع متغیرها و استخراج خلاصه‌ای از اطلاعات آماری مربوط به خصوصیات خاک انجام شد. مطالعه الگوی توزیع فراوانی داده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که تأثیر مستقیمی بر دقت تخمین‌های حاصل از روش‌های میانبایی دارد. ویژگی‌های توزیع فراوانی شامل شاخص‌های مرکزی و پراکندگی نظیر میانگین، حداقل و حداکثر مقادیر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ انجام شد. همچنین برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی غلظت عناصر سنگین، از نرم‌افزار ArcGIS 10 استفاده گردید.

نتایج و بحث

برای تحلیل نحوه توزیع داده‌ها و استخراج خلاصه‌ای از ویژگی‌های آماری هر متغیر، شاخص‌هایی نظیر مقادیر حداقل و حداکثر، میانگین، ضریب تغییرات، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱). در بین ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه، pH دارای کمترین ضریب تغییرات برابر ۱۲/۸۳ درصد می‌باشد. در این رابطه، چوبکار و پارسا (۱۳۹۷) نیز در مورد pH کمترین ضریب تغییرات را در بین ویژگی‌های خاک بدست آورده‌اند. همچنین EC خاک و درصد کربن آلی خاک دارای بیشترین ضریب تغییرات و به ترتیب برابر با ۱۰۵/۴۰ درصد و ۷۲/۱۳ درصد می‌باشد. علت افزایش ضریب تغییرات این شاخص‌ها را می‌توان به نوسانات نامنظم و تنوع این پارامتر در کاربری‌های گوناگون منطقه مرتبط دانست که تحت تأثیر شیوه‌های مدیریتی اعمال‌شده بر هر یک از کاربری‌های اراضی، ویژگی‌های زمین‌شناسی و سطوح ژئومورفیک منطقه قرار دارد. همچنین، بالا بودن ضریب تغییرات هدایت الکتریکی ممکن است ناشی از عوامل متعددی از جمله افزایش سطح آب‌های زیرزمینی و میزان بالای تبخیر و تعرق از سطح خاک باشد که این شرایط منجر به تجمع املاح محلول در لایه‌های سطحی خاک می‌گردد. براساس دسته‌بندی ارائه شده توسط ویلدینگ در سال ۱۹۸۵، با توجه به مقادیر ضریب تغییرات، ویژگی‌های مورد مطالعه به سه دسته تقسیم می‌شوند: ویژگی‌هایی با تغییرپذیری کم (ضریب تغییرات کمتر از ۱۵)، ویژگی‌هایی با تغییرپذیری متوسط (ضریب تغییرات بین ۱۵ تا ۳۵)، و ویژگی‌هایی با تغییرپذیری زیاد (ضریب تغییرات بیشتر از ۳۵) در این میان، اکثر ویژگی‌های خاک در منطقه مورد بررسی در گروه تغییرپذیری متوسط قرار دارند.

مطابق با این جدول، بیشترین میانگین غلظت را فلز آهن و کمترین میانگین غلظت را فلز کادمیوم به ترتیب برابر با ۱۴/۷۲ و ۰/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم داشته‌اند. نتایج قرائت غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک بیان‌گر آن بود که روند نزولی میانگین غلظت فلزات سنگین در نمونه‌ها به شرح آهن < منگنز < سرب < روی < مس < کادمیوم است. ضریب تغییرات عناصر مورد بررسی به ترتیب به صورت روی > منگنز > کادمیوم > سرب > مس > آهن است. این نتایج نشان می‌دهد که عنصر آهن کمترین و عنصر روی بیشترین مقدار ضریب تغییرات را دارد. به عبارت دیگر، توزیع عنصر آهن نسبت به سایر

عناصر از همگنی بیشتری برخوردار است. براساس کلاس‌بندی ویلیدیگ، تمام عناصر سنگین مورد مطالعه به جزء عنصر آهن در گروه تغییرپذیری زیاد قرار دارند، که این موضوع نشان‌دهنده تنوع بیشتر این عناصر در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های و عناصر سنگین خاک

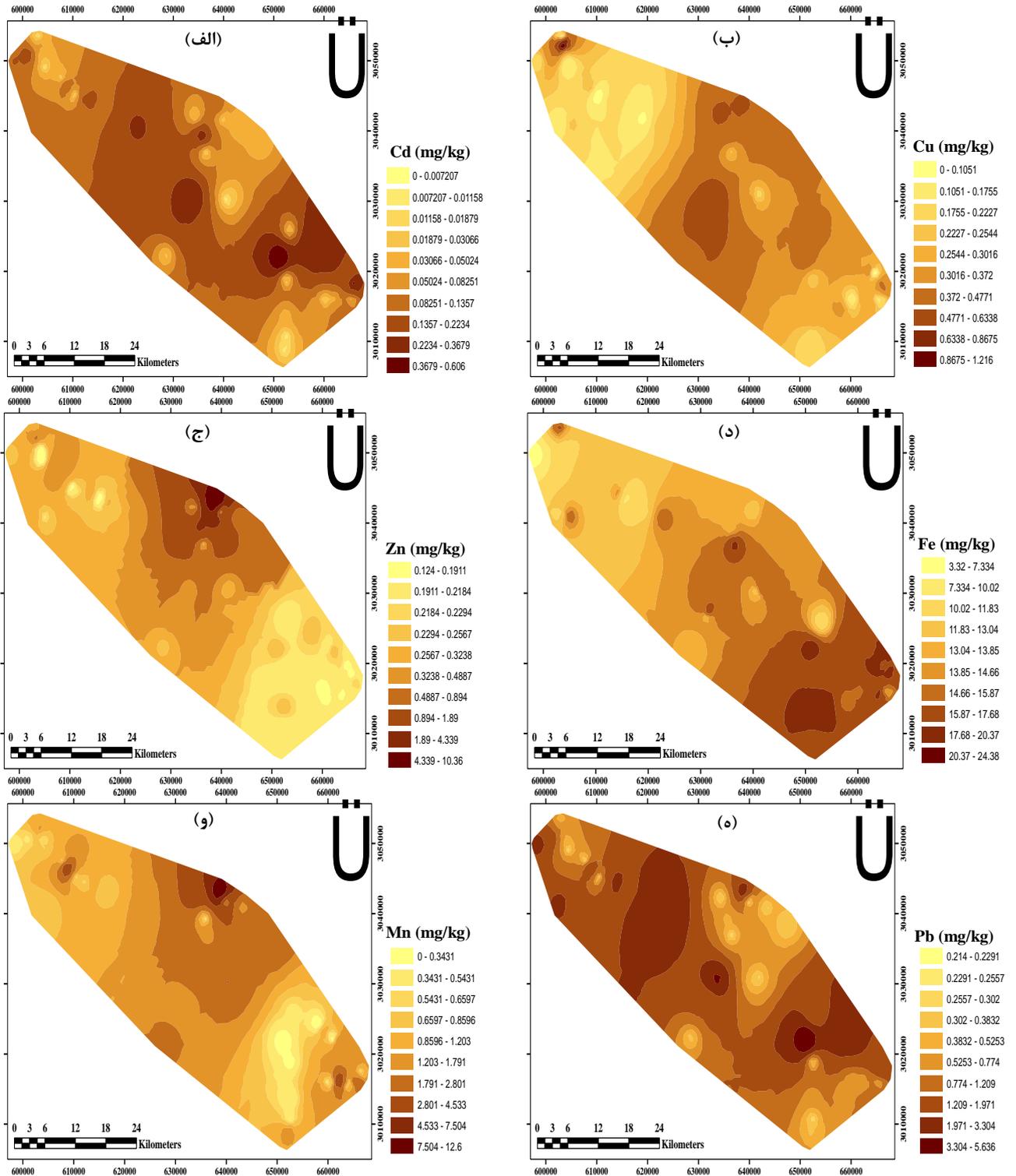
متغیر	واحد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
pH	-	7.79	9.63	7.24	1.00	12.83	-0.10
EC	dS/m	26.069	75.50	1.37	27.47	105.40	0.78
OC	%	0.50	1.44	0.08	0.36	72.13	0.84
CEC	cmol ⁺ /kg	23.83	37.39	15.65	6.41	26.92	0.83
Pb	mg/kg	1.38	5.64	0.21	1.34	97.56	1.06
Zn	mg/kg	0.48	10.36	0.12	1.41	290.63	6.89
Fe	mg/kg	14.72	24.38	3.32	3.71	25.23	0.04
Mn	mg/kg	1.49	12.60	0.00	1.92	128.9	4.04
Cd	mg/kg	0.13	0.61	0.00	0.14	111.83	1.23
Cu	mg/kg	0.31	1.22	0.00	0.20	65.04	1.52

پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های غلظت عناصر سنگین، از مراحل کلیدی و ابتدایی در فرآیند تصمیم‌گیری برای شناسایی مناطق آلوده یا تعیین نواحی مناسب برای اقدامات حفاظتی به شمار می‌رود. نتایج حاصل از پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، توزیع مکانی تمامی متغیرها به‌طور پیوسته و وابسته به موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری است. برای دو عنصر کادمیوم و سرب و همچنین روی و منگنز، یک الگوی تغییرپذیری مکانی مشترک و مشابه قابل مشاهده بود، که این امر تأییدی بر منشاء مشترک این عناصر به شمار می‌آید که در شکل ۱ روند مشابه این عناصر قابل مشاهده می‌باشد. این یافته با نتایج مطالعه کریمی و همکاران (۲۰۱۱) در خاک‌های سطحی مناطق شهری اصفهان و همچنین نان و همکاران (۲۰۰۲) در خاک‌های کشاورزی آلوده به فلزات سنگین همخوانی دارد. نتایج نشان داد که غلظت آهن در جنوب و جنوب شرق منطقه بیشتر از سایر نواحی منطقه مطالعاتی بوده است. همچنین غلظت عنصر مس در مرکز منطقه از غلظت بیشتری برخوردار است.

نتیجه‌گیری

ارتباط بین فلزات سنگین در خاک پیچیده و مبهم هست. فاکتورهای زیاد و برجسته‌ای از قبیل غلظت فلزات سنگین در سنگ‌ها و مواد مادری، فرآیندهای مختلف تشکیل خاک و فاکتورهای انسانی تعیین‌کننده فراوانی نسبی غلظت آن‌ها در خاک‌ها هستند. مطالعه میزان آلودگی فلزات سنگین با کمک فاکتور آلودگی می‌تواند تأثیر عوامل مختلف در توزیع نسبی غلظت هر یک از فلزات سنگین در خاک را به‌خوبی نشان دهد. در این مطالعه به بررسی ویژگی‌های خاک و عناصر سنگین در بخشی از پلاهای جازموریان پرداخته شد. نتایج به‌دست آمده از این تحقیق نشان داد که فاکتور آلودگی هر یک از فلزات متفاوت است. با توجه به این نتایج می‌توان بیان داشت بخش‌های مرکزی و جنوبی منطقه مطالعاتی آلوده‌ترین بخش‌های منطقه مورد مطالعه به‌شمار می‌روند که مؤید اثر فعالیت‌های کشاورزی و عوامل انسانی در افزایش غلظت عناصر است. بنابراین، کاربری‌های حساس نظیر اراضی کشاورزی، اراضی اطراف جاده‌ها و معادن به اجرای راهکارهای ویژه و کارآمد برای کنترل و پیشگیری از تشدید آلودگی خاک نیاز مبرم دارند.

به‌کارگیری همزمان روش‌های کمی و کیفی ارزیابی آلودگی خاک همراه با تکنیک‌های پهنه‌بندی، درک جامع‌تری از گستردگی آلودگی ایجاد می‌کند. تهیه نقشه‌های الگوی تغییرات مکانی نسبت به سایر مطالعات دارای مزایای مشخصی است؛ چرا که این نقشه‌ها به پژوهشگران و مدیران حوزه خاک امکان می‌دهند در مقیاس منطقه‌ای، تصویری دقیق از میزان تأثیرگذاری انسان بر محیط‌زیست به‌دست آورند. افزون بر این، نمایش شاخص‌های آلودگی در قالب نقشه‌های مکانی به‌همراه موقعیت‌یابی منابع آلاینده بالقوه، دو مزیت کلیدی دارد: نخست، امکان اظهار نظر قطعی‌تر درباره وضعیت آلودگی و کنترل منابع تولید آن را فراهم می‌سازد، و دوم، بستری برای طراحی راهکارهای مدیریتی هدفمند و کارآمد ایجاد می‌کند.



شکل ۱- پهنه‌بندی توزیع غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده (الف) کادمیوم (ب) مس (ج) روی (د) آهن، (و) منگنز (ه) سرب در منطقه مورد مطالعه

فهرست منابع

چوبکار، ن.، پارسا، ف. (۱۳۹۷). ارزیابی سطح آلودگی فلزات سنگین در خاک کشاورزی منطقه سر پل ذهاب کرمانشاه (مطالعه موردی: آرسنیک، سرب و کادمیوم). نشریه: علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰ (۴): ۶۸-۷۹.

حمزه نژاد تقلیدآباد، ر.، خداوردیلو، ح. (۱۳۹۹). ارزیابی کمی آلودگی فلزات سنگین در خاک. مجله تحقیقات کاربردی خاک،

۸ (۲): ۳۹-۵۷.

Aradhi, K.K., Dasari, B.M., Banothu, D., Manavala, S. (2023). Spatial distribution, sources and health risk assessment of heavy metals in topsoil around oil and natural gas drilling sites, Andhra Pradesh, India. *Scientific Reports*, 13, 10614.

Arife, S., Simşek, H., Ozkoc, B., Gulfem, H.B. (2022). Environmental, ecological and human health risk assessment of heavy metals in sediments at Samsun-Tekkeköy, North of Turkey. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 2009–2023.

Biljana, D.S., Buljovic, M., Antic, I. (2022). Comprehensive assessment of heavy elements and evaluation of potential human health risk in the urban environment: a case study from Novi Sad, Serbia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 38551–38566.

Bower, C. A., Reitemeier, R. F., Fireman, M. (1952). Exchangeable Cation Analysis of Saline and Alkali Soils. *Soil Science*, 73, 251-261.

Karimi, R.; Ayoubi, S.; Jalalian, A., Sheikh-Hosseini, A. R.; Afyuni, M. (2011). Relationships between magnetic susceptibility and heavy metals in urban topsoils in the arid region of Isfahan, central Iran. *Journal of Applied Geophysics*, 74(1), 1-7.

Nan, Z., Li, J., Zhang, J., Cheng, G. (2002). Cadmium and zinc interactions and their transfer in soil-crop system under actual field conditions. *Science of the Total Environment*, 285, 187-195.

Nelson, D.W., Sommers, L. E. (1996). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Bartels, J.M., Bigham, J.M. (Eds.), *Methods of Soil Analysis Part 3: Chemical Methods*. American Society of Agronomy, Madison WI, USA, pp. 961-1010.

Page, A. L. (1982). *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties*. Soil Science Society of America.

Wilding, L.P., (1985) Spatial variability: its documentation accommodation and implication to soil -surveys. In: Nielsen D. R. and Bouma J. *Soil Spatial Variability*. Wageningen, Netherlands, 166-194

Spatial Distribution of Heavy Metals in a Section of the Jazmourian Playa Area

Iman Amiri Shad¹, Farideh Abbszadeh^{2*}, Saleh Sanjari², Jvad Zamani², Shamollah youbi³

¹ M.Sc. Graduate in Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Jiroft

² Assistant Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, University of Jiroft

* f.abbszadeh@ujiroft.ac.ir

³ Professor, Soil Science Department, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology

Abstract

Heavy metal contamination of water and soil is considered a major global challenge due to their high toxicity, widespread sources of pollution, resistance to degradation, and potential for bioaccumulation in the environment. Assessing the level of heavy metal pollution in soils is crucial for effective decision-making regarding pollution reduction, limiting human exposure to these toxic substances, and protecting public health from associated risks. Thus, this research was designed to investigate the spatial distribution of heavy metals in certain soils of the Jazmourian region. The study area is situated within a section of the Jazmourian Playa lands. Soil sampling was conducted on the surface soil layer (0–20 cm). Following air-drying and sieving, the soil samples were analyzed for percent Organic Matter, Cation Exchange Capacity (CEC), Electrical Conductivity (EC), pH, and the available concentrations of Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, and Pb. To better identify areas polluted or potentially exposed to heavy metal contamination, pollution distribution maps were generated using the Kriging interpolation method within the ArcGIS software environment. Assessing the heavy metal contamination level with the help of the Pollution Factor can effectively illustrate the influence of various factors on the relative concentration distribution of each heavy metal in the soil. The results obtained from this research indicated that the Pollution Factor varied among the different metals. The spatial distribution of the studied heavy metals revealed that the contamination by elements such as Pb, Zn, Cd, and Cu is predominantly influenced by anthropogenic activities in the area. The highest values of the Pollution Factor for these metals were observed in the southern and central parts of the study area.

Keywords: Soil Pollution, Heavy Metals, Jazmourian