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

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه 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

پهنه بندی و منشاء یابی عناصر سنگین آرسنیک و کروم با استفاده از تکنیک زمین آمار (مطالعه موردی: استان همدان)

هاجر مریخ پور [۲،۱*]، مهرداد چراغی [۳]

[۱] دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
[۲] گروه کشاورزی، دانشگاه سید جمال الدین اسدآبادی، اسدآباد، ایران
[۳] دانشکده علوم پایه، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران
[*] نویسنده مسئول: h_merikhpour@sbu.ac.ir

چکیده

آلودگی خاک به فلزات سنگین به دلیل پایداری و سمیت بالا، تهدیدی جدی برای سلامت انسان و پایداری محیط‌زیست محسوب می‌شود. در این پژوهش با هدف بررسی وضعیت آلودگی خاک‌های استان همدان به عناصر آرسنیک و کروم و پهنه‌بندی آن‌ها، تعداد ۴۰ نمونه خاک در دو عمق ۰–۳۰ و ۳۰–۱۲۰ سانتی‌متر برداشت و غلظت عناصر با استفاده از روش ICP اندازه‌گیری شد. داده‌های حاصل با بهره‌گیری از تکنیک‌های زمین‌آمار شامل کریجینگ و میانگین وزنی عکس فاصله (IDW) تحلیل و نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه گردید. نتایج نشان داد میانگین غلظت آرسنیک و کروم در عمق زیرین بیشتر از لایه سطحی است که بیانگر منشأ زمین‌زاد (ژئوژنیک) این عناصر می‌باشد. همچنین همبستگی معنی‌دار بین غلظت عناصر در دو عمق مختلف، تأثیر مواد مادری بر آلودگی خاک‌های سطحی را تأیید کرد. بر اساس نقشه‌های تهیه‌شده، بیشترین غلظت آرسنیک در شمال‌غرب و غرب استان و بیشترین غلظت کروم در شمال‌غرب و جنوب استان مشاهده شد که بر روی بسترهای شیل، آذرین و ماسه‌سنگ قرار دارند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که منشاء اصلی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های استان همدان عوامل زمین‌شناختی بوده و فعالیت‌های انسانی نقش کمتری در افزایش غلظت این عناصر ایفا کرده‌اند.

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، آلودگی خاک، پهنه بندی مکانی

مقدمه

برخورداری از زمین پاک حق همه انسان هایی است که روی این کره خاکی زندگی می کنند. برای حفظ زمین نیز، حفظ و صیانت از خاک الزامی است. آلودگی دگرگونی نامطلوبی در خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی هوا، آب و خاک است که می‌تواند آثار زیان‌بخشی بر زندگی انسان، پیشرفت صنعتی، وضع زندگی و میراث فرهنگی داشته باشد. آلودگی به معنی وجود مخلوطی از انرژی یا مواد خارجی در محیط زیست است که محیط را برای فعالیت‌های زندگی زیان‌آور می کند. ازجمله عوامل آلوده کننده، فلزات سنگین هستند که بر آب، خاک، هوا و موجودات زنده اثرات مخربی برجای می‌گذارند و باعث انتشار فلزات سنگین و تجمع آن‌ها در بوم سازگان می‌شود (Kabata-Pendias and Pendias, 2010).

فلزات سنگین به طور طبیعی در غلظت‌های کم در خاک و سنگ‌ها یافت می‌شوند اما فعالیت‌های انسانی سبب افزایش مقادیر رهاسازی و انتشار آنها در محیط زیست می‌شود. انباشتگی فلزات سنگین در خاک، چه بصورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسانی مشکلات بسیاری را به همراه خواهد داشت. آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین به دلیل سمیت و پایداری آنها در محیط زیست و نگرانی از نظر سلامت عمومی دارای اهمیت هستند. خاک‌ها منبع تمرکز فلزات سنگین هستند. فلزات سنگین با ایجاد ساختارهای متعدد باعث به هم خوردن تعادل در موجودات زنده به ویژه انسان می‌شوند و طیف گسترده‌ای از عوارض و اختلالات را به دنبال دارند از این اختلالات می‌توان به سرطان، اثر بر سیستم اعصاب مرکزی، پوست، سیستم خون‌ساز و سیستم عروقی اشاره کرد. آلودگی عناصر سنگین در خاک مشکل مهمی است که بر کیفیت محصولات، سلامتی انسان و کیفیت و عملکرد محیط زیست اثر نامطلوب می‌گذارد (Alengebawy et al., 2021).

آلاینده‌های در خاک در مقیاس زمانی و مکانی بسیار پویا عمل می‌کنند و بسته به شرایط و خصوصیات خاک از توزیع و پراکندگی متفاوتی برخوردارند. یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی یک منطقه نداشتن امکان نمونه برداری از تمامی نقاط می باشد. به این منظور استفاده از راه کار مناسب برای تعمیم نتایج به دست آمده از نقاط اندازه گیری شده به سایر نقاط و تهیه نقشه آلودگی توصیه می گردد (Isaaks and Serivastava, 1989). زمین آمار از ابزارهای بسیار مفید برای بررسی توزیع مکانی آلاینده ها و پایش آن ها، تشخیص نقاط در معرض خطر آلودگی و مناطق بدون آلودگی می باشد (Boruvka et al., 2005).

پژوهش های زیادی به بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین آلاینده خاک پرداخته اند. Dragović و همکاران (2014)، به بررسی غلظت عناصر کادمیوم، روی، سرب، نیکل، منگنز، آهن، مس، کروم و کبالت در اطراف یکی از صنایع فولاد در نزدیکی شهر بلگراد پرداختند. نتایج حاصل از کریجینگ معمولی نشان داد که توزیع این عناصر بیشتر از مقدار گزارش شده جهانی برای زمین های کشت نشده است. Li و همکاران (2015)، در چین با استفاده از روش درونیابی کریجینگ به بررسی میزان آلودگی فلزات سنگین در اطراف یک معدن پرداختند و نتایج حاصل نشان داد که میزان آلودگی فلزات سنگین کروم و منگنز بسیار بیشتر از حد استاندارد جهانی این فلزات در خاک است. فیروزی و همکاران (۱۴۰۳)، در مطالعه منشاء یابی فلزات سنگین کروم، نیکل و کادمیوم در خاکهای مناطق صنعتی گیلاوند در ایران، تاثیر مستقیم فعالیت های صنعتی، به ویژه کارگاه های آبکاری فلزات، را بر افزایش آلودگی خاک نشان دادند.

یش از نیمی از اراضی استان همدان متاثر از فعالیت های انسانی (کشاورزی، معدن و صنعت) می باشد. در این مطالعه هدف بررسی وضعیت آلودگی خاک به فلزات سنگین آرسنیک و کروم در خاکهای سطحی و عمقی منطقه و تهیه نقشه پهنه بندی این عناصر بوده است.

مواد و روش‌ها

استان همدان به وسعت ۱۹۴۹۳ کیلومتر مربع بین مدار های(۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه) تا (۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه) عرض شمالی و (۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه) تا (۴۹درجه و ۳۶ دقیقه) طول شرقی قرار گرفته است.

به منظور مطالعه توزیع پراکندگی فلزات سنگین آرسنیک و کروم ۴۰ نمونه خاک از سطح استان همدان در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۱۲۰ سانتی متر برداشت شد. نمونه ها پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شدند و از الک ۲ میلی متر عبور داده شدند.

به منظور اندازه گیری غلظت کل آرسنیک و کروم، عصاره گیری به روش Sposito و همکاران (1982) صورت گرفت. غلظت کل عناصر مورد نظر در عصاره بدست آمده به روش طیف سنجی پلاسمای جفت شده القایی (ICP) قرائت شد.

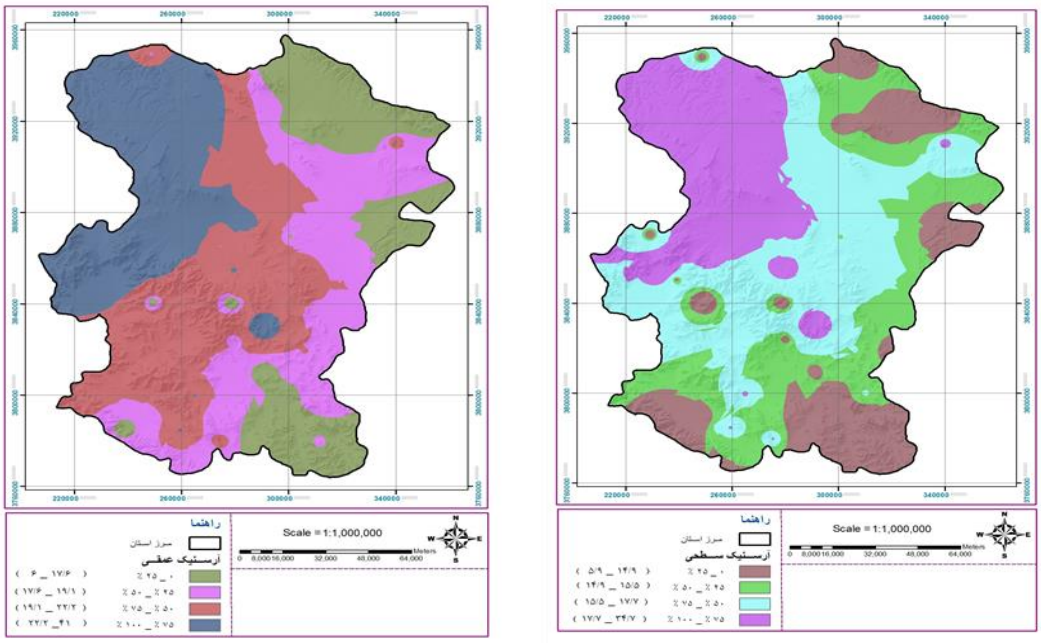
در این بررسی با توجه به خصوصیات مکانی داده ها به منظور تعیین نقشه توزیع مکانی غلظت کل عناصر آرسنیک و کروم از روش های درون یابی کریجینگ و میانگین وزنی عکس فاصله (IDW) استفاده شده است. همچنین برای ارزیابی روش های درون یابی از توابع میانگین قدر مطلق خطا (MAE) و میانگین بایاس خطا (MBE) استفاده شد که به ترتیب دقت و انحراف مدل را برآورد می کنند.

نتایج و بحث

جدول ۱ پارامترهای آماری عناصر مورد مطالعه را دو عمق ۰ – ۳۰ و ۳۰ – ۱۲۰ سانتی متری نشان می دهد. همان‌طور که در جدو ل ۱ مشخص است، میانگین غلظت کل آرسنیک و کروم در منطقه مورد مطالعه در عمق ۰-۳۰ سانتی متری به ترتیب ۱۵/۶۹و ۲۶/۹، میلی گرم در کیلوگرم و در عمق ۳۰-۱۲۰ سانتی متری به ترتیب ۱۹/۵۸و ۲۸/۴، میلی گرم در کیلوگرم است. همانطور که مشاهده می شود میانگین غلظت هر دو عنصر آرسنیک و کروم در عمق زیرین بیشتر از عمق سطحی بوده است.

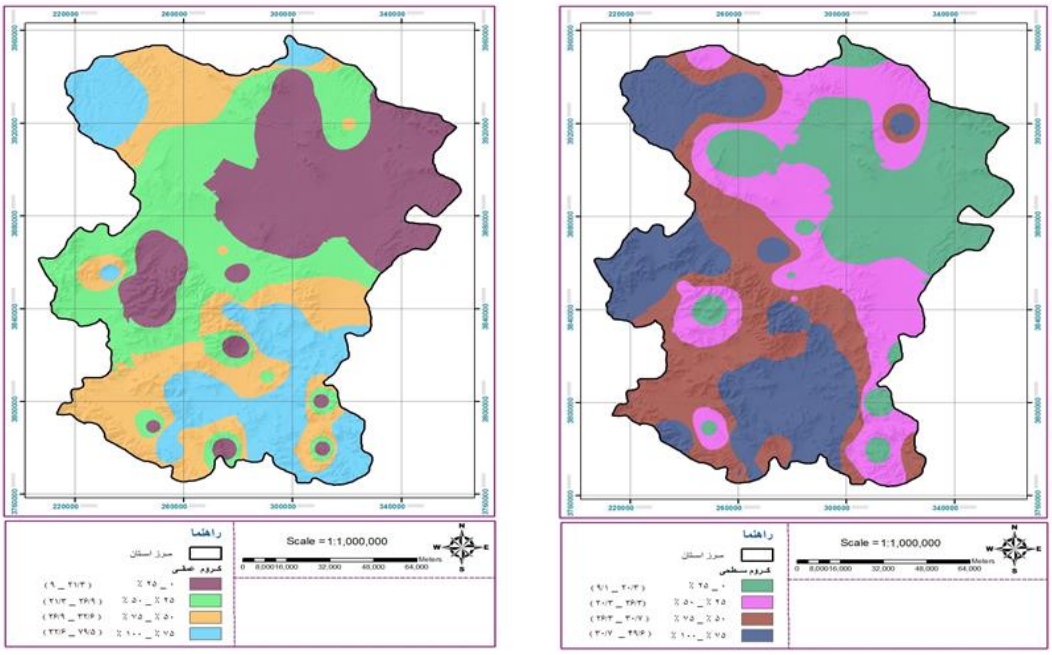
جدول ۱- پارامترهای آماری عناصر مورد مطالعه در دو عمق ۰ – ۳۰ و ۳۰ – ۱۲۰ سانتی متری

عمق خاک	فلز سنگین	غلظت (میلی گرم بر کیلوگرم)			انحراف معیار
		حداقل	حداکثر	میانگین	
خاک سطحی	آرسنیک	۵/۴۰	۳۴/۹	۱۵/۷	۷/۴
(۰ – ۳۰ سانتی متر)	کروم	۹/۱۱	۴۹/۶	۲۶/۹	۱۱/۴
خاک زیرین	آرسنیک	۵/۹	۴۱/۶	۱۹/۵	۸/۲
(۳۰ تا ۱۲۰ سانتی متر)	کروم	۹/۰	۷۹/۵	۲۸/۴	۱۵/۶



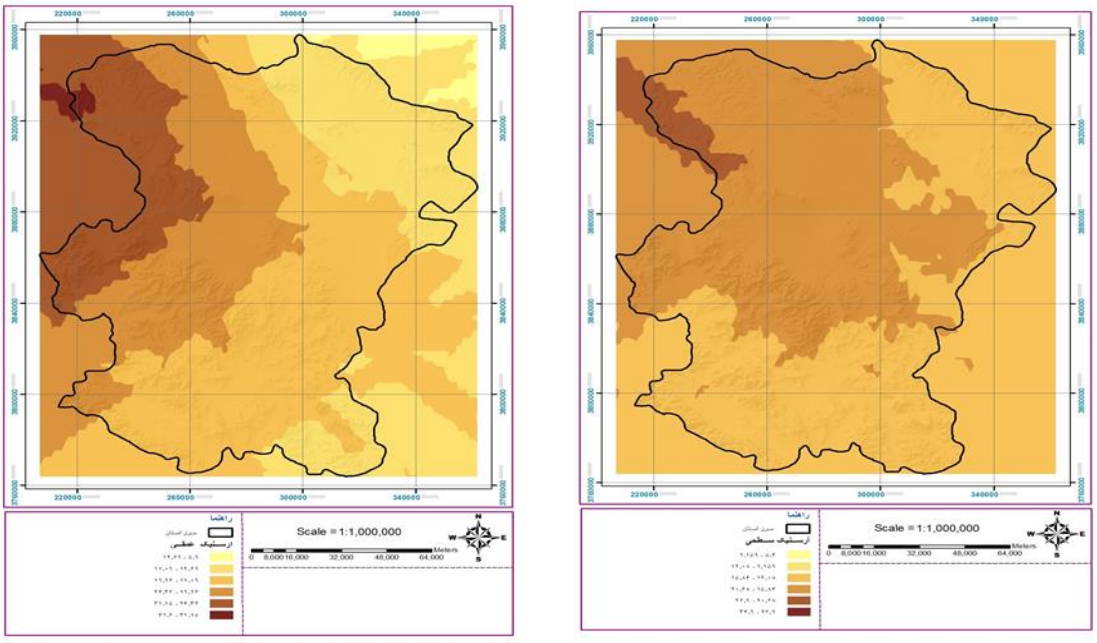
شکل ۱- پهنه بندی غلظت کل آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاکهای استان همدان به روش میانگین وزنی عکس فاصله (IDW) (سطحی:۰-۳۰ و عمقی: ۳۰-۱۲۰ سانتی متر)

اشکال ۱ و ۲ پهنه بندی غلظت کل آرسنیک و کروم را به روش میانگین وزنی عکس فاصله (IDW) را در دو عمق خاک سطحی و خاک زیرین نشان می دهند.

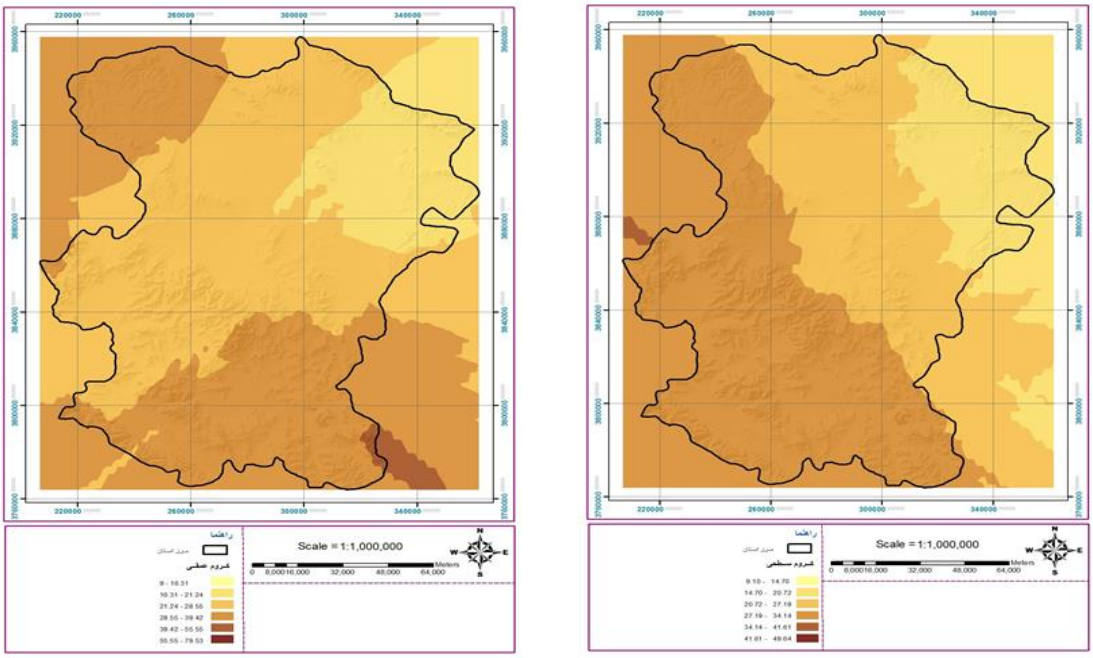


شکل ۲- پهنه بندی غلظت کل کروم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاکهای استان همدان به روش میانگین وزنی عکس فاصله (IDW) (سطحی:۰-۳۰ و عمقی: ۳۰-۱۲۰ سانتی متر)

اشکال ۳ و ۴ پهنه بندی غلظت کل آرسنیک و کروم را به روش کریجینگ را در دو عمق خاک سطحی و خاک زیرین نشان می دهند.



شکل ۳- پهنه بندی غلظت کل آرسنیک (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاکهای استان همدان به روش کریجینگ (سطحی:۰-۳۰ و عمقی: ۳۰-۱۲۰ سانتی متر)



شکل ۴- پهنه بندی غلظت کل کروم (میلی گرم بر کیلوگرم) در خاکهای استان همدان به روش کریجینگ (سطحی:۰-۳۰ و عمقی: ۳۰-۱۲۰ سانتی متر)

با توجه به نتایج جدول ۱ میانگین غلظت عناصر آرسنیک و کروم در خاک زیرین بیش تر از خاک سطحی بوده که نشان دهنده آن است که منشاء این عناصر مواد مادری واحدهای آلاینده است و هم چنین بین عناصر سطحی و زیرین همبستگی مشاهده شد که نشان دهنده تأثیر عناصر خاک زیرین بر روی عناصر خاک سطحی است. بنابراین می توان گفت که در منطقه مورد مطالعه میانگین بیشتر غلظت آرسنیک و کروم در خاک زیرین، نشان دهنده منشاء زمین شناسی آلودگی منطقه است.

در منطقه همدان مقدار زیادی ماسه‌سنگ، شیل، سنگ‌های آهکی وجود دارد میزان سرب، روی، آهن، باریت، فلوریت، تیتانیوم، سرب و روی وجود دارد.

در سنگ‌های دگرگونی، سنگ گرانیت سنگ‌های حاوی سولفید آهن میزان قابل ملاحظه‌ای آرسنیک دیده می‌شود. در سنگ آهن و سنگ‌های رسوبی کروم مشاهده می‌شود.

همبستگی بین میزان آرسنیک و کروم در افق های سطحی و عمقی در سطح ۵ درصد معنی دار بود که نشان دهنده متاثر بودن آلودگی خاک سطحی از مواد مادری می باشد. نتایج مشابهی در ارتباط با میزان عناصر سنگین در دو لایه سطحی و عمقی به دست آوردند که نشان دهنده تأثیر مواد مادری بود (Kim, 2003).

از آنجا که به تصویر کشیدن دقیق توزیع مکانی فلزات سنگین به دلیل همگن نبودن محیط خاک مشکل می باشد (Carlon et al., 2001). بیش تر مطالعات انجام شده در ارتباط با توزیع مکانی فلزات سنگین در مناطق آلوده اشاره بر این دارد که توزیع مکانی خصوصیات مرتبط با فلزات سنگین متنوع می باشند (Kim, 2003) . به طورکلی غلظت آلاینده ها الگوی مکانی پیچیده ای با ضریب تغییرات زیاد دارند. بنابراین شناسایی مناطق با آلودگی بالای حد مجاز مشکل می باشد حتی اگر شمار نمونه های برداشت شده از منطقه زیاد باشد. نشان داده شده است که بیش تر خصوصیات خاک می توانند بر روی توزیع مکانی فلزات سنگین مؤثر باشند(Banat et al., 2005) و به نظر می رسد این خصوصیات هم در ارتباط با همدیگر باشند.

با توجه به نقشه پراکنش غلظت آرسنیک (شکل ۳) بالاترین غلظت این عنصر در عمق ۰-۳۰ سانتی متری بین ۱/ ۳۱- ۴۱/۶ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد، که در شمال غربی استان و بر روی سنگ بسترهای شیل، آذرین و سنگ آبرفتی واقع شده است. در مورد عمق ۳۰-۱۲۰ سانتی متری غلظت بالای آرسنیک در غرب و شمال غربی استان و بر روی سنگ بسترهای شیل،

آذرین، دگرگونی و آبرفتی واقع شده است، دیده می شود. براساس نقشه زمین آماری به دست آمده منشاء آلودگی منطقه ژئوژنیک بوده و لندفرم های با سنگ های غنی از آهن و گل سنگ مهم ترین منابع آلاینده منطقه بوده است.

آرسنیک عنصر نادری است که حدود پنج هزارم درصد پوسته زمین را تشکیل می دهد. غلظت آرسنیک در فسفریت ها و رسوبات رسی بیش تر است . آرسنیک در برخی از رسوبات احیایی تا غلظت ۳۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم تجمع می یابد و همراه با هیدروکسید و سولفید آهن در سنگ های رسوبی یافت می شود (Kim et al., 2019). غلظت آرسنیک در سنگ های آذرین معمولاً کم است. اگرچه میانگین ۱/۵ میلی گرم بر کیلوگرم برای کل سنگ های آذرین ارایه شده است. اما معمولاً کمی بیش تر (کم تر از ۵ میلی گرم بر کیلوگرم) از این مقدارند و در مورد شیشه های آتشفشانی تا حدی بیشتر (۵/۹ میلی گرم بر کیلوگرم) گزارش شده است (Smedley and Kinniburgh, 2002).

با توجه به نقشه پراکنش غلظت کروم (شکل ۴) بالاترین غلظت این عنصر در عمق ۰-۳۰ سانتی متری بین ۳۴/۱۴ – ۲۰/۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم می باشد، که به صورت نواری از شمال غربی تا جنوب شرقی استان را در بر گرفته است. این محدوده بر روی سنگ بسترهای شیل، آذرین، ماسه سنگ و سنگ آبرفتی واقع شده است. در مورد عمق ۳۰-۱۲۰ سانتی متری بیشترین غلظت کروم برابر با ۷۹/۵۳ – ۳۹/۴۲ میلی گرم بر کیلوگرم بود که در شمال غربی و جنوب استان بر روی سنگ بسترهای شیل و آذرین واقع شده است، دیده می شود.

Mico و همکاران (2006) گزارش کردند که غلظت عناصر کبالت، کروم، نیکل و روی در خاک به وسیله مواد مادری کنترل می شود، اما مقدار سرب، مس و کادمیوم به وسیله فعالیت های بشر کنترل می گردد. این عناصر ارتباط کم تری با سایر خصوصیات خاک دارند.

نتیجه‌گیری

بررسی توزیع مکانی آرسنیک و کروم در خاک‌های استان همدان نشان داد که؛

۱- غلظت هر دو عنصر در لایه زیرین خاک بیشتر از لایه سطحی بوده و این امر بیانگر منشأ زمین‌شناختی آلودگی است.

۲- وجود همبستگی معنی‌دار بین لایه سطحی و زیرین خاک، تأثیر مستقیم مواد مادری بر غلظت عناصر سنگین را تأیید می‌کند.

۳- نقشه‌های پهنه‌بندی به روش کریجینگ و IDW نشان دادند که مناطق شمال‌غرب، غرب و جنوب استان همدان بیشترین تراکم آلودگی را دارند که همگی بر روی سنگ‌های شیل، آذرین و ماسه‌سنگ قرار گرفته‌اند.

۴- مقایسه غلظت‌های اندازه‌گیری‌شده با مقادیر استاندارد جهانی نشان داد که هرچند میزان آلودگی در برخی نقاط بالاتر است، اما منشأ غالب آن طبیعی بوده و فعالیت‌های انسانی نقش کمتری داشته‌اند.

به طور کلی نتایج این تحقیق بر اهمیت توجه به خصوصیات زمین‌شناسی در ارزیابی آلودگی خاک و ضرورت بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار برای پایش و مدیریت پایدار خاک‌های آلوده تأکید دارد.

فهرست منابع

Alengebawy, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R., Wang, M.Q. (2021). Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications. Toxics, 9(3), 42.

Banat, K.M., Howari, F.M., Al-Hamad, A.A. (2005). Heavy metals in urban soils of central Jordan: should we worry about their environmental risks. Environ Res. 97, 258-273.

Boruvka, L., Vacak, O., Jeilicka, J. (2005). Principal component analysis as a tool to indicate the origin of potentially toxic elements in soil. Geoderma. 28, 289-300.

Carlon, C., Critto, A., Marcomini, A., Nathanail, P. (2001). Risk based characterization of contaminated industrial site using multivariate and geostatistical tools. Environ Pollut. 111, 417-427.

Dragovic, R., Gajic, B., Dragovic, S., Dordevic, M., Mihailović, N., Onjia, A. (2014). Assessment of the impact of geographical factors on the spatial distribution of heavy metals in soils around the steel production facility in Smederevo (Serbia): Journal of Cleaner Production, 84,550-562.

Isaaks, E.H., Serivastava, R.M. (1989). An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press. 561 pp.

Kabata-Pendias, A., Pendias, H. (2010). Trace elements in soils and plants (4th ed).

Kim, K.W., Bang, S., Zhu, Y., Meharg, A.A., Bhattacharya, P. (2019). Arsenic geochemistry, transport mechanism in the soil–plant system, human and animal health issues. Environment international. 35, 453-455

Li, Y.M., Ma, J.H., Liu, D.X., Sun, Y.L., Chen, Y.F. (2015). Assessment of heavy metal pollution and potential ecological risks of urban soils in Kaifeng City, China. Huan Jing Ke Xue. 36(3),1037-44.

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, 65,863–872.

Smedley, P.L., Kinniburgh, D.G. (2002). A review of the source, behavior and distribution of arsenic in natural waters. Geoderma. 17, 517-568

Sposito, G., Lund, L.J., Chang, A.C. (1982). Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni,Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. Soil Sci. Soc. Am. J. 46,260–264

Spatial Distribution and Source Identification of Heavy Metals (Arsenic and Chromium) Using Geostatistical Techniques (Case Study: Hamedan Province, Iran)

Hajar Merrikhpour[1,2]*, **Merdad Cheraghi** [3]

[1] Associate Professor, Civil, Water and Environmental Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

[2] Associate Professor, Department of Agriculture, Sayyed Jamaleddin Asadabadi University, Asadabad, Iran.

[3] Department of the Environment, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

* Corresponding author: h_merikhpour@sbu.ac.ir

Abstract

Soil contamination by heavy metals is considered a serious environmental concern due to their persistence, toxicity, and potential risks to human health. This study aimed to assess the contamination status of soils in Hamedan Province with respect to arsenic (As) and chromium (Cr) and to prepare spatial distribution maps of these elements. A total of 40 soil samples were collected from two depths (0–30 and 30–120 cm), and the total concentrations of As and Cr were determined using Inductively Coupled Plasma (ICP) spectrometry. Geostatistical methods, including ordinary kriging and Inverse Distance Weighting (IDW), were applied to interpolate the spatial distribution of the elements. The results indicated that the mean concentrations of both As and Cr were higher in the subsurface layer compared to the surface layer, highlighting a geogenic origin for these elements. A significant correlation between surface and subsurface concentrations further confirmed the influence of parent materials on soil contamination. According to the generated maps, the highest concentrations of arsenic were observed in the northwestern and western parts of the province, while the highest concentrations of chromium occurred in the northwestern and southern regions, mainly associated with shale, igneous, and sandstone formations. Overall, the findings demonstrate that the main source of heavy metal contamination in the soils of Hamedan Province is geological, while anthropogenic activities play a relatively minor role.

Keywords: Heavy metal, Soil pollution, Spatial zoning