

بررسی توزیع سطحی فلزات سنگین در مناطق مجاور بزرگراه‌ها : مدل سازی و تحلیل آلودگی محیطی با درونیابی به روش وزن دهی معکوس

علی فرید نیا¹، شهرزاد خرم نژادیان^{۱*}، بهناز مرادی غیاث آبادی¹، هومن بهمن پور²، مینا ترابی فرد¹

1- گروه محیط زیست، واحد دماوند، دانشگاه آزاد اسلامی، دماوند، ایران

2 - گروه محیط زیست، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های خاک جمع‌آوری شده از مناطق مجاور بزرگراه بابایی و بوستان یاس فاطمی انجام شد. هدف از این مطالعه بررسی اثر بزرگراه‌ها بر آلودگی خاک و درک تأثیر زیست محیطی شهرنشینی و آلودگی ناشی از ترافیک بر کیفیت خاک بود. نمونه‌های خاک به طور سیستماتیک از نقاط مختلف در امتداد بزرگراه بابایی و پارک یاس فاطمی جمع‌آوری شدند. تجزیه و تحلیل آماری برای ارزیابی داده‌ها و شناسایی منابع احتمالی آلودگی انجام شد. این تحقیق شامل نمونه برداری از نقاط مختلف در امتداد بزرگراه‌ها برای اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین بود. با استفاده از نرم افزار GIS، درونیابی به روش وزن دهی معکوس برای مدل‌سازی توزیع فضایی این فلزات مورد استفاده قرار گرفت، که امکان تجزیه و تحلیل دقیق سطوح غلظت آنها را در رابطه با نزدیکی به ترافیک بزرگراه فراهم کرد. نتایج نشان‌دهنده غلظت‌های متفاوت فلزات سنگین در نقاط نمونه‌برداری شده، با سطوح قابل توجهی از فلزات بود. این داده‌ها نقاط بالقوه آلودگی را نشان می‌دهد که می‌تواند بر سلامت محیط زیست و سلامت عمومی تأثیر بگذارد. این مطالعه بینش‌های ارزشمندی را در مورد پیامدهای زیست محیطی مجاورت بزرگراه در توزیع فلزات سنگین ارائه می‌کند، که به درک پویایی آلودگی و اطلاع‌رسانی استراتژی‌های مدیریت زیست محیطی آینده کمک می‌کند.

کلمات کلیدی: خاک، GIS، توسعه شهری، حمل و نقل، سوخت فسیلی

* Corresponding author: khoramnejad@damavandiau.ac.ir +9357970978

Spatial Distribution of Heavy Metals in Adjacent Areas of Highways: Modelling and Environmental Pollution Analysis Using IDW Method

Ali farbodnia, shahrzad khoramnejadian, behnaz moradi ghias abadi, mina torabifard

1 Department of environment, Damavand branch, Islamic azad university, Damavand, Iran

2 Department of environment, shahrood branch, Islamic azad university, shahrood, Iran

Abstract

This study aimed to evaluate the concentration of heavy metals in soil samples collected from areas adjacent to Babaei Highway and Yas Fatemi Park. The aim of this study was to investigate the effect of highways on soil pollution and to understand the environmental impact of urbanization and traffic pollution on soil quality.

Soil samples were systematically collected from different locations along Babaei Highway and Yas Fatemi Park. Statistical analysis was performed to evaluate the data and identify potential sources of contamination. The research involved sampling from different locations along the highways to measure heavy metal concentrations. Using GIS software, the IDW method was used to model the spatial distribution of these metals, which allowed for a detailed analysis of their concentration levels in relation to proximity to highway traffic. The results showed different concentrations of heavy metals at the sampled locations, with significant levels of metals. These data indicate potential contamination hotspots that could impact environmental and public health. This study provides valuable insights into the environmental consequences of highway proximity on heavy metal distribution, which will help to understand pollution dynamics and inform future environmental management strategies.

Keywords: Soil, GIS, urban development, transportation, fossil fuels

مقدمه

گسترش سریع زیرساخت های شهری، به ویژه بزرگراه ها، چشم انداز بهداشت محیط و کیفیت خاک را به طور قابل توجهی تغییر داده است. یکی از مهم ترین نگرانی های مرتبط با این توسعه، تجمع فلزات سنگین در خاک است که برای سلامت انسان و سیستم های اکولوژیکی خطر قابل توجهی دارد. خاک های شهری اغلب غلظت بالایی از فلزات سنگین را نشان می دهند که خطرات بالقوه سلامتی را به همراه دارد [Luo et al., 2024]. فلزات سنگین که به عنوان عناصر فلزی با چگالی بالا که در غلظت های پایین سمی هستند، تعریف می شوند، شامل سرب، کادمیوم، آرسنیک، جیوه و کروم می شوند. این عناصر می توانند از فعالیت های انسانی مختلف، از جمله انتشار از وسایط نقلیه، سایش لاستیک ها، تخریب سطح جاده و استفاده از عوامل یخ زدا منشأ بگیرند. عوامل موثر بر انباشت فلزات سنگین در محیط فعالیت های صنعتی، شهرنشینی و ترافیک می باشد [Salah et al., 2013]. در سالهای اخیر توزیع فضایی فلزات سنگین در محیط زیست بویژه در نواحی نزدیک به بزرگراهها توجه فراوانی را به خود جلب کرده است. این نگرانی ناشی از احتمال آلودگی فلزات سنگین و تأثیر منفی آن بر اکوسیستم ها و سلامت انسان است. تحقیقات نشان می دهند که انتشار آلاینده ها از وسایط نقلیه، سایش لاستیک ها و فرسایش سطح جاده ها به انباشت فلزات سنگین در خاک های کنار جاده و منابع آبی کمک می کند [Baker et al., 2018; Kwon et al., 2020]. درک الگوهای فضایی این آلاینده ها برای مدیریت مؤثر محیط زیست و تدوین استراتژی های کاهش بسیار مورد نیاز است.

در محیط های شهری فلزات سنگین مانند سرب (Pb)، کادمیوم (Cd)، کروم (Cr) و روی (Zn)، بیشتر در نزدیکی کریدورهای حمل و نقل یافت می شوند [Davis & McCarty, 2020]. نزدیکی بزرگراه ها به مناطق مسکونی و کشاورزی نگرانی هایی را در مورد انتقال این آلاینده ها به زنجیره های غذایی و منابع آب ایجاد می کند [Zhang et al., 2019]. مطالعات نشان داده اند که غلظت فلزات سنگین با افزایش فاصله از بزرگراه ها کاهش می یابد و اهمیت تحلیل فضایی در درک الگوهای پراکندگی آلودگی را برجسته می کند [Zhang et al., 2019].

چندین روش برای ارزیابی توزیع فضایی فلزات سنگین، از جمله تجزیه و تحلیل آماری، روش های زمین آماری، و سیستم های اطلاعات جغرافیایی GIS وجود دارد. یکی از رویکردهای برجسته، روش وزن دهی معکوس فاصله IDW است که نوعی درونیابی است. IDW فرض می کند که تأثیر یک نقطه نمونه برداری با فاصله کاهش می یابد و به ویژه در ایجاد سطوح پیوسته از نقاط داده گسسته مؤثر است [Li & Heap, 2014]. این روش به طور گسترده در مطالعات زیست محیطی برای مدل سازی توزیع فضایی آلاینده ها از جمله فلزات سنگین استفاده شده است [Kumar et al., 2021].

تحقیق کومار و همکاران در سال 2021 کاربرد روش IDW را در ارزیابی غلظت فلزات سنگین در خاک های شهری نشان می دهد. یافته های آنها نشان می دهد که IDW تخمین از توزیع مکانی ارائه می دهد که امکان شناسایی نقاط داغ آلودگی را فراهم می کند [Kumar et al., 2021].

در تحقیقی مشابه کارایی IDW در مدل سازی پراکندگی فلزات سنگین بیان شده است و بر کاربرد آن در تجزیه و تحلیل آلودگی محیطی تأکید کرده است. توانایی IDW برای تجسم الگوهای فضایی به سیاست گذاران در اجرای تلاش های اصلاحی هدفمند کمک می کند [Kwon et al., 2020].

علاوه بر IDW، سایر تکنیک های زمین آماری مانند کریجینگ در مطالعات فلزات سنگین در تحقیقات مورد استفاده قرار گرفته است. کریجینگ مزایایی را از نظر قوت آماری و توانایی گنجانیدن خودهمبستگی فضایی در مدل ارائه می دهد [Goovaerts 1997]. با این حال، IDW به دلیل سادگی و سهولت در تفسیر، به ویژه در ارزیابی های اولیه آلودگی، محبوب باقی مانده است [Li & Heap, 2014]. انتخاب روش درونابی اغلب به اهداف خاص مطالعه و ویژگی های داده ها بستگی دارد. پیامدهای زیست محیطی تجمع فلزات سنگین در نزدیکی بزرگراه ها فراتر از آلودگی خاک است. منابع آبی مجاور بزرگراه ها نیز در معرض آلودگی از طریق رواناب هستند که می تواند فلزات سنگین را به اکوسیستم های آبی منتقل کند [Baker et al., 2018]. مطالعات نشان داده اند که فلزات سنگین می توانند در موجودات آبی تجمع پیدا کنند و خطراتی را برای تنوع زیستی و سلامت انسان ایجاد کنند [Zhang et al., 2019]. در نتیجه، درک توزیع فضایی این آلاینده ها برای ارزیابی خطرات اکولوژیکی و توسعه استراتژی های مدیریت مؤثر ضروری است. علاوه بر این، ابعاد اجتماعی و اقتصادی

آلودگی فلزات سنگین را نمی توان نادیده گرفت. تحقیقات نشان داده است که جمعیت های حاشیه نشین اغلب در برابر خطرات محیطی از جمله قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین آسیب پذیرتر هستند [Bullard, 2000]. در نتیجه، توزیع فضایی فلزات سنگین در مناطق مجاور بزرگراه ها یک موضوع چندوجهی است که نیاز به تحلیل جامع با استفاده از تکنیک های مدل سازی پیشرفته مانند IDW دارد. تحقیقات بر اهمیت درک الگوهای آلودگی فلزات سنگین برای اطلاع از شیوه های مدیریت زیست محیطی و حفاظت از سلامت عمومی تأکید می کند.

با عبور وسایط نقلیه در بزرگراه ها، سبب پراکنش آلاینده ها و تجمع تدریجی فلزات سنگین در خاکهای مجاور میگردد ارزیابی میزان انباشت فلزات سنگین برای توسعه برنامه ریزی کاربری زمین و استراتژی های کاهش آلودگی، به ویژه در مناطقی که ترافیک قابل توجهی از وسایط نقلیه را تجربه می کنند، بسیار اهمیت دارد [Yasmeen et al., 2023]. غلظت فلزات سنگین معمولاً در مناطق پر تردد و مراکز شهر از حد مجاز فراتر است.

بزرگراه ها در مناطق شهری منجر به تعاملات پیچیده بین آلاینده های منتشره از اتومبیلها، نشست آلاینده ها بروی خاک و اثر بر زیست بوم های محلی میگردد، که نیاز به منطقه بندی فلزات سنگین در خاک را ضروری میسازد. اصطلاح "پهنه بندی" در این زمینه به توزیع مکانی و غلظت فلزات سنگین در پروفیل های خاک اشاره دارد که می تواند تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله حجم ترافیک، طراحی جاده و

شرایط محیطی قرار گیرد. استفاده از GIS برای ارزیابی پراکنش و تجمع آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های شهری یک روش تایید شده می‌باشد. مطالعات متعددی از روش‌های مختلف تحلیل فضایی، از جمله کریجینگ و وزن دهی فاصله معکوس، برای نشان دادن توزیع فلزات سنگین در مناطق شهری استفاده کرده اند [et al., 2016; Soffianian].

در مطالعه ای که توسط لیو و همکاران در سال 2018 انجام شد، دریافتند که در خاک‌های شهری واقع در 50 متری جاده‌های اصلی، سطوح سرب و کادمیوم به‌طور قابل توجهی در مقایسه با خاک‌های دورتر، تجمع بالاتری را نشان دادند [Liu et al., 2018]. تحقیقات نشان داده است که این فلزات می‌توانند در خاک و آب انباشته شوند که منجر به تجمع زیستی در زنجیره غذایی می‌شود [Baker et al., 2016]. با توجه به رشد سریع جمعیت شهری و افزایش ترافیک، شناخت فرآیندهای آزادسازی فلزات سنگین و تأثیرات زیست‌محیطی آن‌ها برای ایجاد راهکارهای مؤثر در مدیریت آلودگی امری ضروری است [Zhang et al., 2021]. عوامل جغرافیایی مانند کاربری زمین، زمین‌شناسی و ویژگی‌های اجتماعی-اقتصادی بر الگوهای فضایی آلودگی فلزات سنگین تأثیر می‌گذارد [Beniwal & Sunda, 2023].

این مطالعات بر اهمیت تجزیه و تحلیل فضایی در درک پویایی آلودگی خاک شهری، اطلاع رسانی برنامه ریزی شهری پایدار و ارزیابی خطرات بالقوه سلامت مرتبط با قرار گرفتن در معرض فلزات سنگین در جوامع شهری تاکید می‌کند.

ارزیابی و پهنه‌بندی فلزات سنگین در انواع بافت‌های شهری برای دستیابی به توسعه پایدار شهری مورد نیاز است. ماهیت پویای توسعه شهری مستلزم نظارت و ارزیابی مداوم کیفیت خاک است، به ویژه در مناطقی که رشد سریع یا تغییرات زیرساختی دارند. این مطالعه به دنبال پر کردن این شکاف‌ها با ارائه یک تجزیه و تحلیل دقیق از تجمع فلزات سنگین در خاک نزدیک بزرگراه‌ها، با تمرکز بر پهنه بندی فضایی و عوامل تأثیرگذار بالقوه است. روش وزن دهی معکوس فاصله (IDW) در سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای درون‌یابی فضایی تکامل یافته است. روش وزن دهی معکوس بر اساس این اصل عمل می‌کند که نقاط نزدیک به یک مکان تأثیر بیشتری بر مقدار پیش‌بینی شده آن نسبت به نقاط دورتر دارند [Shepard, 1968]. مطالعات متعددی اثربخشی این روش را در کاربردهای مختلف از جمله پایش‌های محیط زیستی، مدیریت منابع و مدیریت شهری نشان داده اند [Hengl, 2007; Li & Heap, 2011].

مقایسه IDW با سایر روش‌های درون‌یابی مانند کریجینگ و اسپلاین، نشان‌دهنده سادگی و کارایی بالای محاسباتی آن است، که این ویژگی‌ها IDW را در بسیاری از تحلیل‌های GIS به گزینه‌ای محبوب تبدیل کرده است [Bivand et al., 2013].

با روشن کردن پیچیدگی‌های پهنه‌بندی فلزات سنگین در خاک‌های شهری، این مطالعه به دنبال ایجاد درک عمیق‌تر از چالش‌های ناشی از آلودگی بزرگراه‌ها و نیاز به شیوه‌های توسعه پایدار شهری است.

1. مواد و روشها

این رویکرد شامل جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل فضایی و ادغام متغیرهای محیطی برای ایجاد چارچوبی قوی برای درک توزیع فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه بود.

جدول (1) مختصات جغرافیایی ایستگاههای نمونه برداری

ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
1	35.770013624431904,	51.553998513676106
2	35.741931	51.622819
3	335.76914311427225,	51.554792447501306
4	35.772771	51.63723
5	35.77025736556918	51.55207805212595 ,

1-2 منطقه مورد مطالعه

مختصات جغرافیایی نقاط نمونه برداری در جدول (1) آمده است. مختصات توسط دستگاه GPS ثبت شدند. معیار انتخاب نقاط فاصله از اتوبان بوده است.

2-2 نمونه برداری

نمونه‌های خاک از 5 نقطه در منطقه مورد مطالعه جمع‌آوری شد، سعی بر این بود که نقاط منتخب شرایط محیط را منعکس نمایند. محل های نمونه برداری بر اساس فاصله به بزرگراه و نقشه فضای سبز انتخاب شدند. نمونه‌های خاک از 10 سانتی متری فوقانی با کمک بیلچه برداشت شدند و در کیسه پلاستیکی قرار داده شدند.

2-3 آزمایشات

طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (Inductively Coupled Plasma (ICP-MS) بعنوان یک روش قابل اعتماد برای آنالیز فلزات سنگین در نمونه های مختلف شناخته شده است.

به طور کلی، ICP-MS یک رویکرد قوی و کارآمد برای تجزیه و تحلیل فلزات سنگین در انواع مختلف نمونه ارائه می‌کند که الزامات 17025 ISO/IEC را برای اعتبار نتایج آزمایش برآورده می‌کند.

برای افزایش درک توزیع فلزات سنگین، متغیرهای محیطی مختلف در تجزیه و تحلیل گنجانده شدند.

تکنیک‌های درونیابی فضایی، مانند کریجینگ و وزن‌دهی با فاصله معکوس (IDW)، برای تخمین غلظت فلزات سنگین در مناطق نمونه‌برداری نشده استفاده شد. این رویکرد امکان ایجاد نقشه‌های سطحی پیوسته را فراهم کرد که توزیع فضایی فلزات سنگین را نشان داد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) یکی از تکنیک‌های متداول در زمین آمار و تحلیل داده‌های جغرافیایی است که برای تخمین مقادیر ناشناخته در نقاط مختلف بر اساس مقادیر شناخته شده در نقاط نزدیک‌تر به کار

می‌رود. در این روش، هر نقطه به یک مقدار سطحی اختصاص داده می‌شود و تأثیر هر نقطه نزدیک به آن بر مقدار تخمینی به صورت معکوس با فاصله آن نقطه از نقطه مورد نظر وزن‌دهی می‌شود.

داده های غلظت فلزات سنگین بر اساس کاربری زمین، نزدیکی به منابع آلودگی و سایر عوامل محیطی به مناطق مختلف طبقه بندی شدند. تجزیه و تحلیل های آماری برای تعیین روابط بین غلظت فلزات سنگین و متغیرهای محیطی انجام شد. تحلیل همبستگی و مدل سازی رگرسیون برای ارزیابی تأثیر عواملی مانند فاصله از سایت های صنعتی، نوع کاربری زمین و ویژگی های خاک بر سطوح فلزات سنگین مورد استفاده قرار گرفت. سطح معنی داری $p < 0/05$ برای تمامی آزمون های آماری تعیین شد.

برای اطمینان از پایایی داده ها، اقدامات کنترل کیفیت در طول مطالعه اجرا شد. این شامل استفاده از مواد مرجع تایید شده برای کالیبراسیون و اعتبار سنجی روش های تحلیلی، و همچنین موارد تکرار برای انجام آزمایشات بود.

برای درونیابی نقشه ها ابتدا مختصات ایستگاه های نمونه برداری به همراه میزان غلظت هر یک از عناصر در هر ایستگاه در یک جدول اکسل وارد گردید. سپس داده های جمع آوری شده در نرم افزار، ArcGIS، مدل 10/4 وارد شدند.

نتایج و بحث

جدول (1) پارامترهای خاک در منطقه مورد مطالعه در پنج ایستگاه را نشان می‌دهد.

جدول (1) پارامترهای خاک در ایستگاههای نمونه برداری

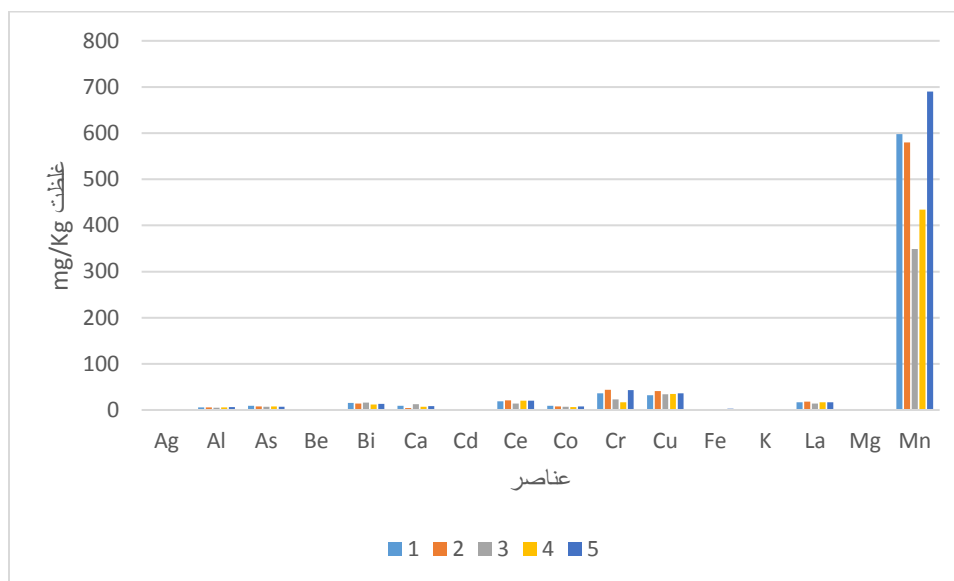
ایستگاه	PH	رس %	سیلت %	ماسه %	چگالی	مواد آلی %	جرم مخصوص حقیقی	پتاسیم	سدیم	منیزیم	کلسیم
1	7.43	8	22	70	2.14	12.94	2.14	62	560	37	988
2	7.36	15	23	62	2.32	9.51	2.32	10.3	100	79	218
3	7.66	0	26	74	2.71	5.56	2.71	4.2	62	128	248
4	7.53	23	0	77	2.4	13.42	2.4	8.3	120	62	363
5	7.63	12	22	66	2.45	6.37	2.45	12.5	210	175	450

آلودگی و فشردگی خاک می تواند به کاهش مواد آلی منجر شود. مواد آلی به عنوان منبع غذایی برای میکروارگانیسم های خاک عمل می کند و تأثیر مستقیم بر قابلیت نگهداری آب و عناصر غذایی دارند.

آلودگی های ناشی از ترافیک، به ویژه نشست مواد ناشی از سوخت، می تواند باعث افزایش pH خاک شود. این افزایش pH می تواند بر قابلیت جذب عناصر غذایی توسط گیاهان تأثیر منفی بگذارد. در برخی موارد، وجود ترافیک و سوخت ها می تواند به کاهش pH خاک منجر شود که به نوبه خود ممکن است سبب افزایش غلظت عناصر سمی در خاک شود.

شکل (1) مقادیر عناصر در ایستگاههای نمونه برداری را نشان میدهد.

چنانچه در جدول (1) مشهود است مقادیر کلسیم بالا میباشد و با منیزیم تعادل ندارد، تعادل کلسیم و منیزیم در خاک برای حفظ سلامت و تغذیه گیاهان ضروری است. ترافیک می تواند منجر به تعادل نامناسب کلسیم و منیزیم در خاک شود. همچنین، فرسایش خاک ناشی از ترافیک می تواند منابع معدنی را از خاک حذف کرده و تغییراتی در سطوح این عناصر به وجود آورد. آلودگی های ناشی از نمک های مورد استفاده در جاده ها (به عنوان مثال، برای یخ زدایی) می تواند سبب افزایش میزان سدیم در خاک شود، که می تواند تأثیر منفی بر روی ساختار خاک و قابلیت رشد گیاهان داشته باشد. وجود جاده ها و ترافیک می تواند منجر به افزایش دما در نواحی اطراف شود. این مسئله می تواند تبخیر آب از سطح خاک را افزایش دهد و در نتیجه رطوبت خاک را کاهش دهد.



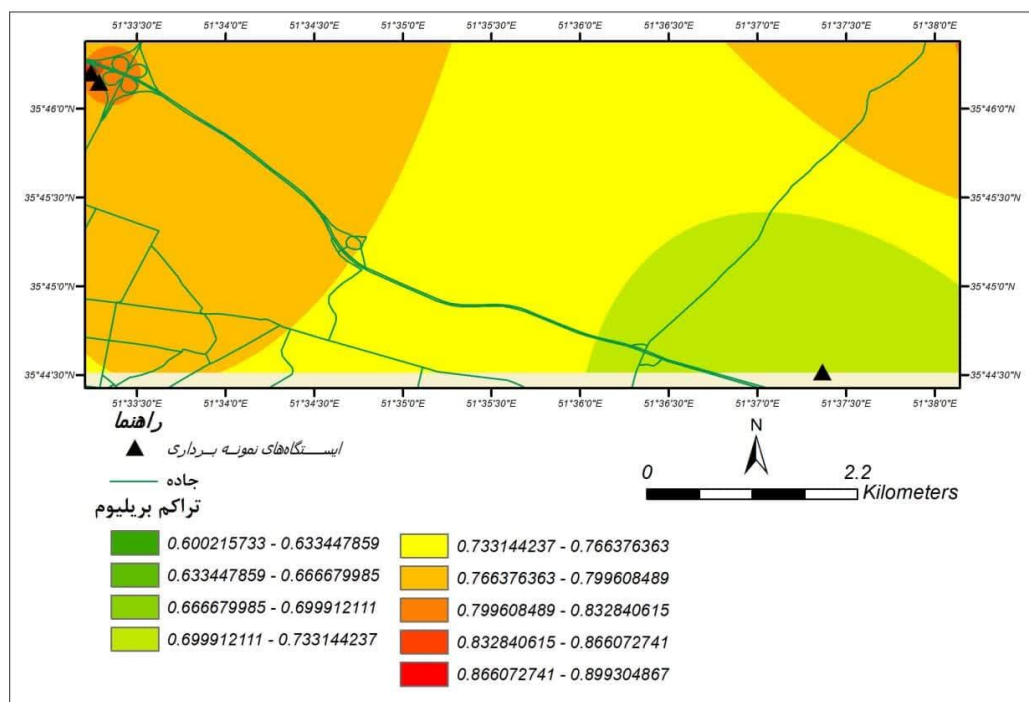
شکل (1) مقادیر عناصر در ایستگاههای نمونه برداری

وسایط نقلیه و استهلاک لاستیک است. سطوح بالای کلسیم (Ca) و منیزیم (Mg) ممکن است نشان دهنده سهم مواد جاده و گرد و غبار باشد. علاوه بر این، حضور ثابت بیسموت (Bi) و کبالت (Co) در بین نمونه‌ها می‌تواند به منابع محلی یا فعالیت‌های انسانی اشاره کند که نیازمند بررسی بیشتر هستند. داده‌ها همچنین نشان‌دهنده اهمیت درک تعاملات پیچیده میان عناصر مختلف است، همان‌طور که غلظت‌های متفاوت آرسنیک و کروم این موضوع را به وضوح نشان می‌دهد. این تعامل ممکن است پیامدهایی برای سلامت اکولوژیکی داشته باشد و باید در ارزیابی‌های زیست‌محیطی مورد توجه قرار گیرد. فلزات سنگین، به ویژه آنهایی که با تردد وسایل نقلیه مرتبط هستند، به دلیل اثرات مضرشان بر سلامت محیط زیست و انسان، بسیار مورد توجه هستند. مطالعات متعدد نشان می‌دهد که انتشار آلاینده‌ها از ترافیک منبع اصلی آلودگی فلزات سنگین در مناطق شهری است [Kumar et al., 2018; Tchounwou et al., 2012]. سرب، کادمیوم و نیکل از رایج‌ترین فلزات سنگین

تجزیه و تحلیل غلظت عناصر ارائه شده در شکل (1)، تغییرات قابل توجهی را در بین نمونه‌ها نشان می‌دهد، که تأثیرات بالقوه عوامل زمین‌شناسی و انسانی را نشان می‌دهد. وجود فلزات سنگین مانند کادمیوم و بیسموت نشان‌دهنده منابع آلودگی احتمالی است که ممکن است نیاز به بررسی بیشتر در فعالیت‌های صنعتی در محدوده محلی داشته باشد. روند مشاهده شده در عناصری مانند مس و آهن نشان دهنده همبستگی با فرآیندهای مینراله شدن در زمین‌شناسی منطقه است. نسبت‌های عنصری، به ویژه آنهایی که شامل فلزات قلیایی خاکی مانند کلسیم و منیزیم هستند، ممکن است منعکس کننده تکامل ژئوشیمیایی نمونه‌ها باشند. حضور ثابت عناصری مانند Al و Mn در غلظت‌های مختلف، پایداری آنها را در محیط ژئوشیمیایی نشان می‌دهد، که می‌تواند نشان‌دهنده شرایط غالب خاک یا رسوب باشد [Chen et al., 2004]. نوسانات مشاهده شده در غلظت‌ها، به ویژه در عناصری مانند مس (مس) و کروم (کروم)، نشان دهنده یک ارتباط بالقوه با انتشار آلاینده‌ها از

شکل (2) پهنه بندی تراکم بریلیم در محیط را نشان میدهد.

مرتبط با آگروز خودرو و فرسودگی لاستیک هستند [Gao et al., 2019].

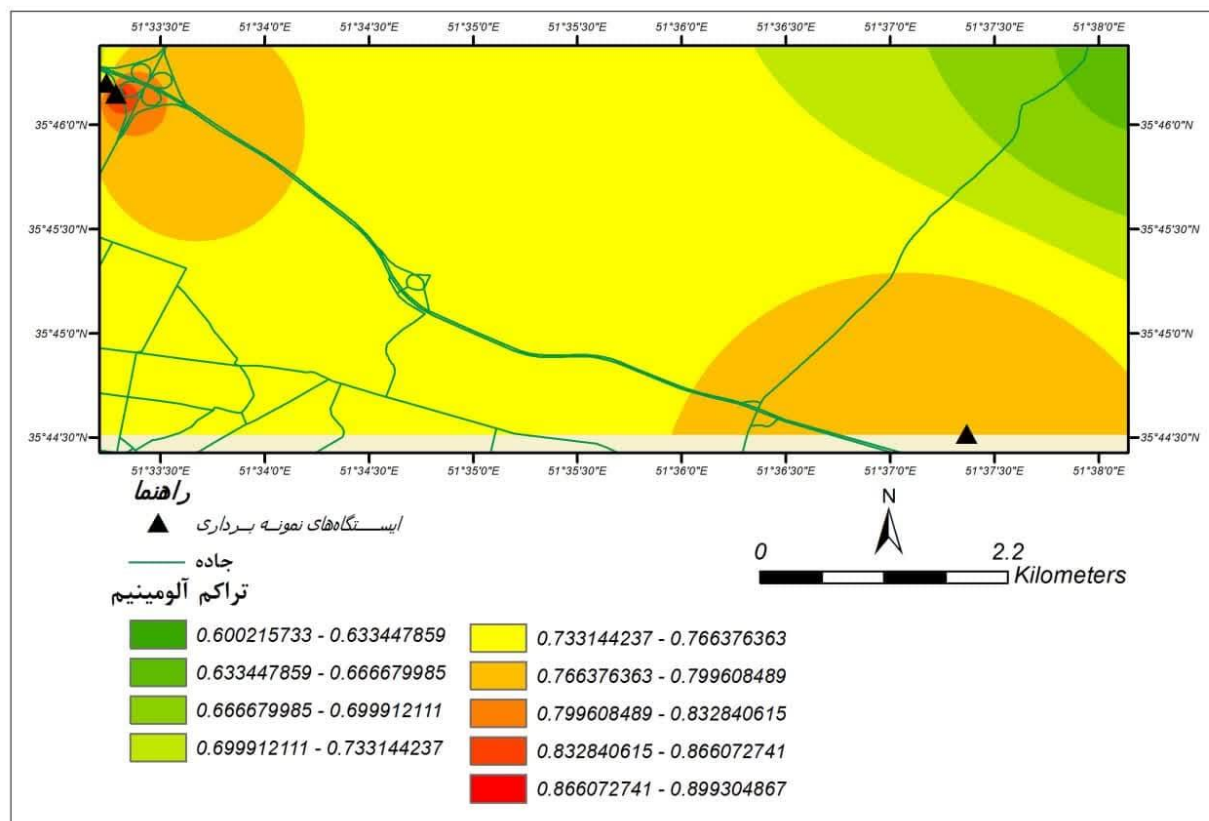


شکل (2) پهنه بندی تراکم بریلیم در ایستگاههای مورد مطالعه

بریلیم در صنایع مختلف علمی و فناوری، الکترونیک، مخابرات، هوافضا و سایر فرآیندهای صنعتی است. رفتار بریلیم در خاک های سطحی تحت تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی مختلف خاک/محیط است [Islam et al., 2023].

شکل (3) پهنه بندی تجمع آلومینیم در خاکهای محدوده مطالعاتی را نشان میدهد.

با توجه به شکل (2) در محدوده مطالعاتی مقادیری بریلیم وجود دارد. تحقیقات در مورد آلودگی خاک در نزدیکی بزرگراه ها و پارک ها تأثیر انتشار وسایل نقلیه و توسعه شهری بر کیفیت خاک را نشان داده است [Gao et al., 2021; Kim et al., 2020]. بریلیم به عنوان یک خطر زیست محیطی شناخته شده است، که ناشی از انتشار زباله های آلوده به این عنصر در طبیعت می باشد. این موضوع عمدتاً به دلیل استفاده گسترده از

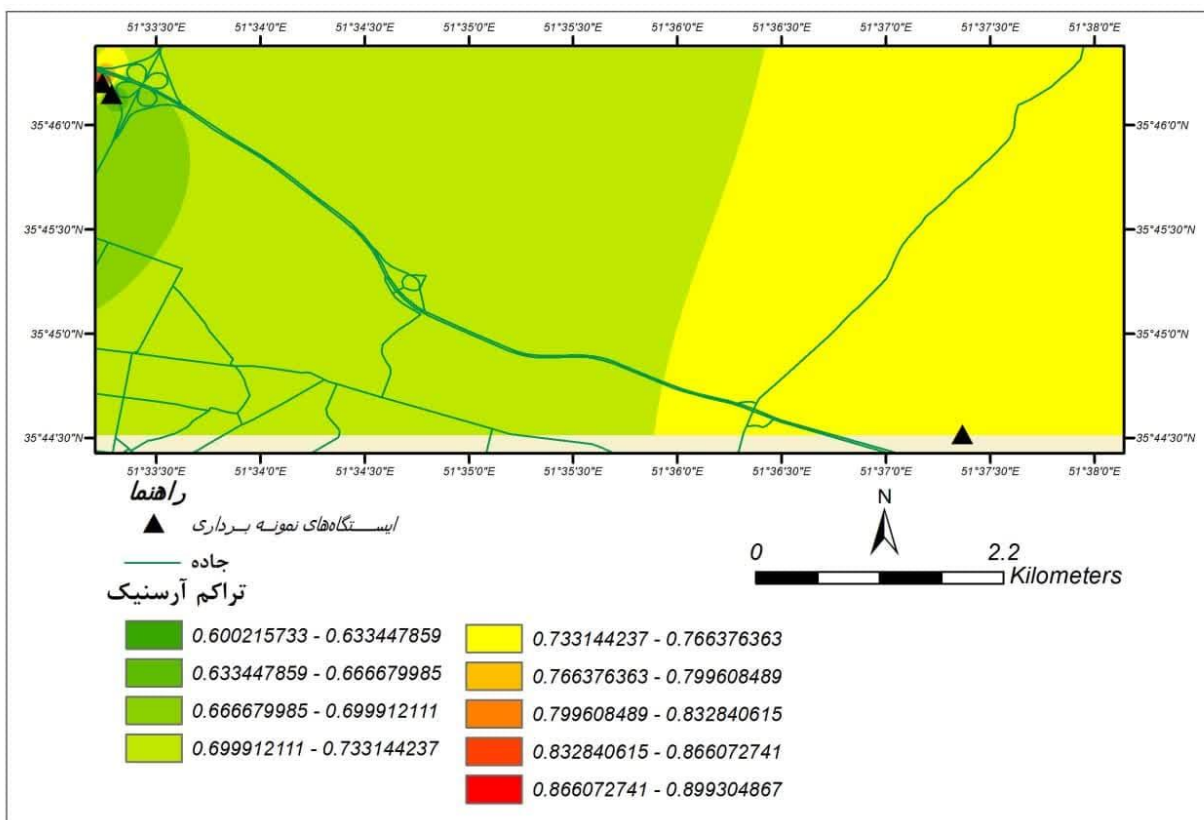


شکل (3) پهنه بندی تراکم آلومینیم

به افزایش غلظت آلومینیوم کمک می کند و بر سلامت خاک و تنوع زیستی تأثیر می گذارد [Smith et al., 2020; Johnson & Lee, 2019]

در شکل (4) پهنه بندی تراکم آرسنیک نشان داده شده است.

بر طبق شکل (2) مقدار آلومینیوم در تمامی نقاط نسبتاً ثابت و در محدوده 0/8 تا 0/6 قرار دارد. این نشان دهنده یک منبع پایدار برای این فلز در منطقه مورد مطالعه است. مطالعات نشان می دهد که انتشار آلاینده ها از وسایط نقلیه به طور قابل توجهی

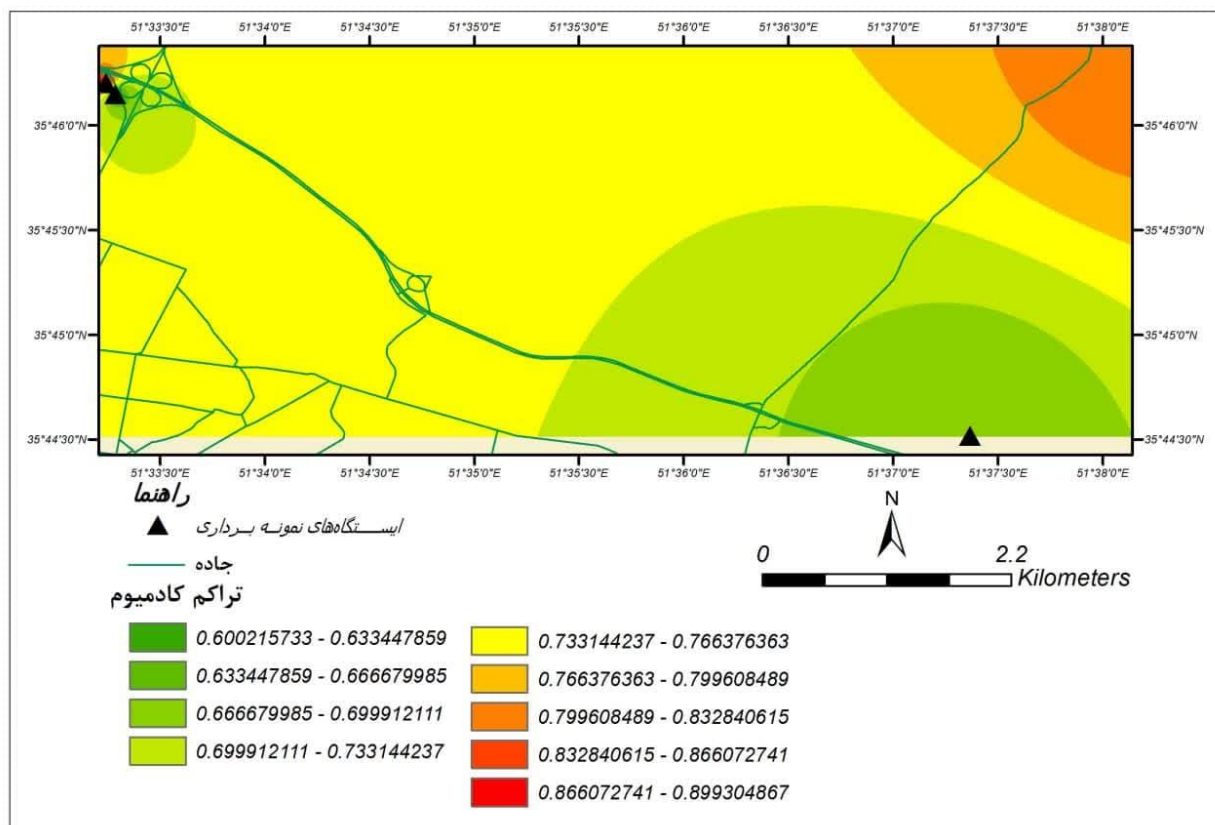


شکل (4) پهنه بندی تراکم آرسنیک

[Alloway,2023]. تحقیقات نشان می‌دهد که تحرک آرسنیک در خاک از طریق فرآیندهای بیوژئوشیمیایی مختلف کنترل میشود و بر دسترسی زیستی و مضر بودن آن تأثیر بگذارد [Smith et al.,2014].

شکل (5) پهنه بندی تراکم کادمیم در منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد.

شکل (4) وجود آرسنیک در محدوده مورد بررسی را نشان میدهد. آرسنیک یک عنصر طبیعی است که خطرات زیست محیطی و بهداشتی قابل توجهی را به همراه دارد، به ویژه زمانی که در خاک وجود داشته باشد. فعالیت‌های انسانی، مانند استخراج معدن، فعالیت‌های کشاورزی و تخلیه صنعتی، عوامل اصلی افزایش سطوح آرسنیک در اکوسیستم‌های زمینی هستند

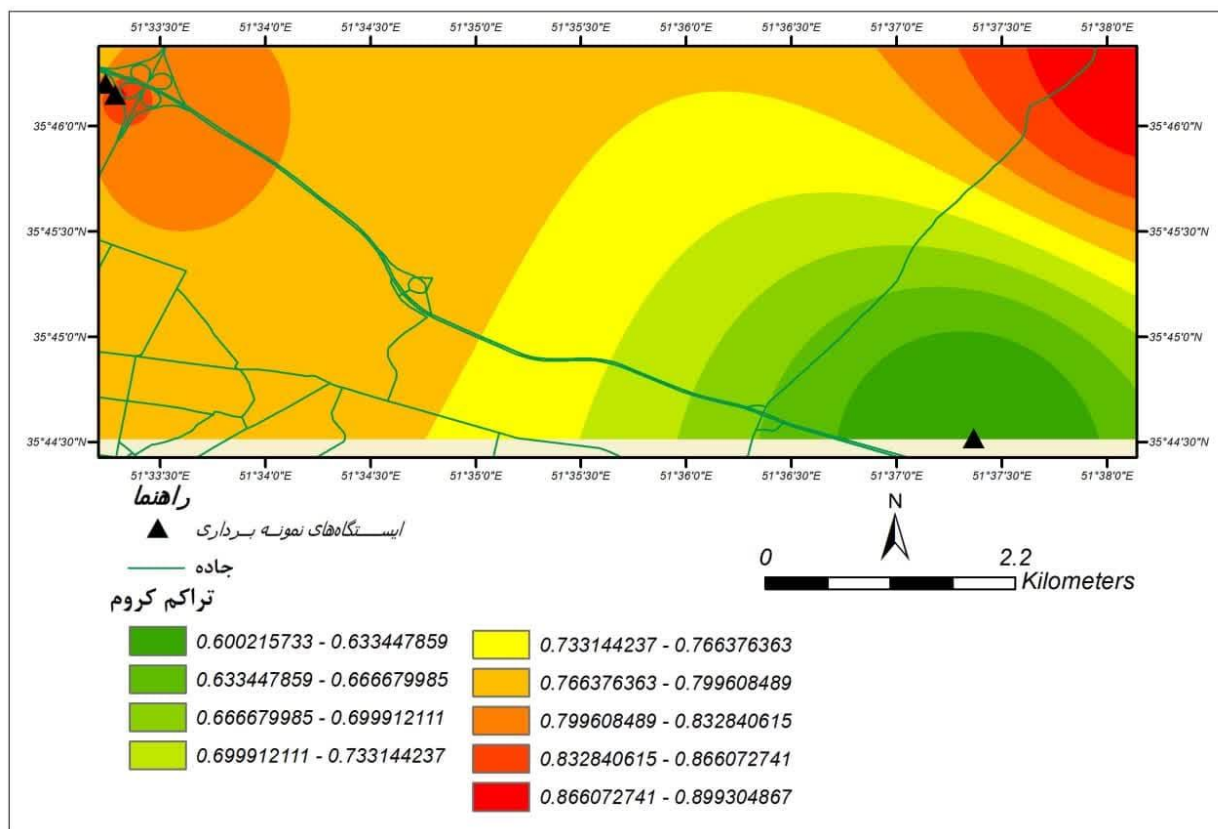


شکل (5) پهنه بندی تراکم کادمیم

به بزرگراه‌ها و پارک‌های شهری تجمع کادمیوم را تشدید می‌کند، که عمدتاً ناشی از انتشار از وسایل نقلیه و رواناب شهری است [Baker et al., 2018].

شکل (6) پهنه بندی تراکم کروم در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

بر اساس شکل (5) در تمامی نقاط، مقدار کادمیوم زیر حد تشخیص (>1) است، که می‌تواند نشان‌دهنده عدم آلودگی به این فلز در منطقه باشد. آلودگی کادمیوم (Cd) در خاک به دلیل پیامدهای سم شناسی و پایداری محیطی توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده است. مطالعات نشان می‌دهد که نزدیکی



شکل (6) پهنه بندی تراکم کروم

دومی در محیط زیست سمی تر و دارای قابلیت تحرک بیشتری است [McLean et al., 2019].

مطالعات نشان می‌دهد که کروم می‌تواند تأثیرات منفی بر روی جوامع میکروبی موجود در خاک داشته باشد و منجر به کاهش تنوع زیستی و اختلال در فرآیندهای میکروبی گردد [Wang et al., 2021]. علاوه بر این، آلودگی ناشی از کروم می‌تواند با تأثیر بر دسترسی مواد مغذی و ساختار خاک، سلامت خاک را تحت تأثیر قرار دهد [Saha et al., 2020]. همچنین، قابلیت دسترسی زیستی کروم در خاک به عوامل مختلفی نظیر pH

شکل (6) نشان می‌دهد که میزان کروم در محدوده‌های نزدیک به مناطق شهری بیشتر است. کروم، که یک فلز واسطه است، به عنوان یک آلاینده مهم محیط زیست، به ویژه در اکوسیستم خاک شناخته می‌شود. وجود آن در خاک به فعالیت‌های انسانی مانند تخلیه‌های صنعتی، استخراج معادن و کاربرد کودهای حاوی کروم و همچنین به فرآیندهای طبیعی نسبت داده می‌شود [Baker & Ragsdale, 2020]. تحقیقات نشان می‌دهد که کروم عمدتاً در دو حالت اکسیداسیونی وجود دارد: کروم سه ظرفیتی (Cr(III)) و کروم شش ظرفیتی (Cr(VI))؛ که

میزان مواد آلی و وجود یون‌های رقیب وابسته است (Zhao et al., 2022).

جمع بندی

طرح ریزی شود. با گسترش و تکامل مناطق شهری، نیاز به رویکردهای مبتنی بر مدیریت آلودگی خاک ضروری است. این تجزیه و تحلیل بر ضرورت نظارت مداوم بر غلظت عناصر در نزدیکی کریدورهای ترافیکی برای ارزیابی خطرات بالقوه سلامتی و اطلاع رسانی اقدامات نظارتی با هدف کاهش قرار گرفتن در معرض آلودگی در محیط‌های شهری تاکید می‌کند. مطالعات آتی باید بر شناسایی منابع خاص و فراهمی زیستی این عناصر در محیط متمرکز باشد.

با شناسایی مناطق انباشت فلزات سنگین، سیاست گذاران می‌توانند اقدامات اصلاحی را اولویت بندی کرده و استراتژی‌هایی را برای کاهش خطرات مواجهه با فلزات سنگین ارائه نمایند. این نتایج میتواند برای برنامه ریزی کاربری زمین مورد استفاده قرار گیرد. پیشنهاد میگردد که برای کاهش تأثیر آلودگی بزرگراه‌ها بر محیط‌های اطراف فضاهای سبز و مناطق حائل

منابع

- Luo, S., Chen, R., Han, J., Zhang, W., Petropoulos, E., Liu, Y., & Feng, Y. (2024). Urban green space area mitigates the accumulation of heavy metals in urban soils. *Chemosphere*, 141266.
- Salah, E.A., Turki, A.M., & Noori, S. (2013). Heavy Metals Concentration in Urban Soils of Fallujah City, *Iraq. Journal of environment and earth science*, 3, 100-112.
- Yasmeen, K., Islam, F., Anees, S. A., Tariq, A., Zubair, M., Bilal, M., ... & Hatamleh, W. A. (2023). Assessment of heavy metal accumulation in dust and leaves of *Conocarpus erectus* in urban areas: implications for phytoremediation. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 132, 103481.
- Soffianian, A., Bakir, H.B., & Khodakarami, L. (2015). Evaluation of heavy metals concentration in soil using GIS , RS and Geostatistics.
- Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S., & Wang, Y. (2018). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil. *Chemosphere*, 194, 495-503.
- Beniwal, S., & Sunda, S. (2023). Spatial Analysis of Heavy Metal Contamination in Urban Soil: A Geographical Perspective on Distribution, Sources, and Human Health Impacts. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*.
- Baker, L. A., Bock, A. R., & Hsu, K. (2018). Heavy metals in urban runoff: A review of sources, impacts, and mitigation strategies. *Environmental Pollution*, 242, 127-138. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.07.065>
- Bullard, R. D. (2000). Environmental justice in the 21st century: Race still matters. *Phylon*, 49(3), 3-24. <https://doi.org/10.2307/3132621>
- Davis, A. P., & McCarty, G. W. (2020). Heavy metals in stormwater runoff from urban roadways. *Water Research*, 183, 116-130. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116130>

Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. Oxford University Press.

Kumar, P., Singh, R., & Sharma, S. (2021). Application of IDW and Kriging for spatial distribution of heavy metals in urban soils. *Journal of Environmental Management*, 287, 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112123>

Kwon, H., Lee, J., & Kim, J. (2020). Spatial distribution and risk assessment of heavy metals in roadside soils. *Environmental Earth Sciences*, 79(3), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09132-0>

Li, J., & Heap, A. D. (2014). A review of comparative studies of spatial interpolation methods. *Geoscience Model Development*, 7(4), 1561-1571. <https://doi.org/10.5194/gmd-7-1561-2014>

Zhang, X., Wang, Y., & Liu, J. (2019). Environmental and health effects of heavy metals in urban areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(18), 18320-18330. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05325-0>

Bivand, R. S., Pebesma, E. J., & Gomez-Rubio, V. (2013). *Applied Spatial Data Analysis with R*. Springer.

Hengl, T. (2007). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 33(4), 433-440.

Shepard, D. (1968). A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings of the 23rd ACM National Conference*, 517-524.

Chen, X., & Hargrove, W. W. (2004). Geochemistry of soils developed on different parent materials in the southern Appalachian Mountains. *Geoderma*, 123(1-2), 159-173. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.002>

Baker, A. J. M., et al. (2016). Heavy Metal Accumulation in Urban Soils: A Review. *Environmental Pollution*, 218, 124-135.

Gao, Y., et al. (2019). Emission Characteristics of Heavy Metals from Motor Vehicles in Urban Areas. *Environmental Science & Technology*, 53(12), 7000-7008.

Kumar, S., et al. (2018). Traffic-Induced Heavy Metal Pollution in Urban Areas: A Review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(10), 580.

Tchounwou, P. B., et al. (2012). Heavy Metals Toxicity and the Environment. *EXCLI Journal*, 11, 1-37.

Zhang, Y., et al. (2021). Traffic Emissions and Heavy Metal Accumulation in Urban Soils: Implications for Public Health. *Environmental Research Letters*, 16(3), 035007.

Smith, G. R., Crowther, T. W., Eisenhauer, N., & van den Hoogen, J. (2020). Building a global database of soil microbial biomass and function: a call for collaboration. *Soil organisms*, 91(3), 139.

Islam, M. R., Sanderson, P., Johansen, M. P., Payne, T. E., & Naidu, R. (2023). Environmental chemistry response of beryllium to diverse soil-solution conditions at a waste disposal site. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 25(1), 94-109.

Alloway, B. J. (2013). *Heavy metals in soils: Trace metals and metalloids in soils and their bioavailability*. Springer.

Smith, A. H., Lingas, E. O., & Rahman, M. (2014). Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: A public health emergency. *Bulletin of the World Health Organization*, 82(9), 682-688.

Baker, J. M., & Ragsdale, H. (2020). Chromium in the environment: Sources and impacts. *Environmental Science & Technology*, 54(12), 7431-7440.

McLean, J. E., McCarthy, K. E., & Raghavan, S. (2019). Toxicity and mobility of chromium in soil: A review. *Soil Biology and Biochemistry*, 135, 197-210.

Saha, S., Dutta, S., & Sharma, P. (2020). Effects of chromium on soil health and microbial communities. *Soil Biology*, 12(4), 345-356.

Wang, Y., Zhang, Y., & Li, Q. (2021). Soil microbial responses to chromium contamination: A review. *Applied Soil Ecology*, 168, 104196.