بررسی آلودگی برخی فلزات سنگین خاک‌های سطحی استان همدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی

منصور برزین[۱]، حسین خیرآبادی [۲*] و مجید افیونی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۱ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۱)

چکیده

آلودگی خاک و انباشتگی فلزات سنگین در خاک و محصولات کشاورزی یکی از مهم‌ترین مسایل زیست‌محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌نماید. این مطالعه با هدف بررسی آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های استان همدان صورت گرفت. تعداد ۲۸۶ نمونه مرکب خاک سطحی از عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری از کل استان جمع آوری شد. بعد از آماده‌سازی نمونه‌ها، مقدار کل روی، سرب، مس و نیکل در نمونه‌های خاک توسط اسید نیتریک عصاره‌گیری شد. غلظت کل عناصر سنگین توسط ICP اندازه‌گیری شد. مقادیر فاکتور آلودگی نشان داد که کلاس آلودگی متوسط دارای بیشترین مقدار فراوانی در نمونه‌های برداشت شده می‌باشد و عنصر سرب دارای کلاس آلودگی زیاد (۰/۷ درصد) است. نقشه‌های پراکندگی فاکتور آلودگی (CF) و شاخص بار آلودگی (PLI) با استفاده GIS آماده شدند. با روی هم‌اندازی نقشه‌های فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی با نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی مشخص گردید که غلظت نیکل، سرب، مس و روی تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری است، ولی فعالیت‌های کشاورزی به‌دلیل مصرف بیش از حد کودهای دامی و شیمیایی می‌تواند باعث افزایش هر چه بیشتر این عناصر در خاک شود.

واژه‌های کلیدی: آلودگی خاک، عناصر سنگین، فاکتور آلودگی، استان همدان

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kheirabadi@ymail.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]

[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

مقدمه

موضوع آلودگی خاک توسط مواد شیمیایی زائد باعث افزایش نگرانی‌هایی در مورد محیط زیست شده است. از میان آنها فلزات سنگین به‌دلیل غیرقابل تجزیه بودن و اثرات فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده دارند در غلظت‌های کم نیز حائز اهمیت شناخته شده‌اند (۱۰ و ۲). فلزات سنگین از مسیرهای مختلف مانند ریزش‌های جوی، استفاده از کودهای شیمیایی و حیوانی، کمپوست، لجن فاضلاب و آفت‌کش‌ها به خاک وارد می‌شوند. در مقابل، جذب توسط گیاهان و آبشویی عناصر از منطقه ریشه میزان خروج آنها از سیستم را تعیین می‌نماید. صرف‌نظر از ریزش‌های جوی، میزان ورود عناصر به زمین‌های کشاورزی به مدیریت زراعی وابسته است، در صورتی که خروج عناصر از اکوسیستم بیشتر توسط خصوصیات خاک کنترل می‌شود (۳). برخلاف تفاوت‌هایی که در رفتار عناصر سنگین از لحاظ تحرک و قابلیت جذب آنها در خاک وجود دارد، اغلب میزان خروج آنها از طریق آبشویی و یا جذب به‌وسیله گیاهان نسبت به میزان ورود آنها به خاک کمتر است (۲۵). این امر منجر به انباشته شدن تدریجی عناصر سنگین در خاک می‌شود. روند انباشت عناصر سنگین در خاک بسیار کند بوده و اثرات آن پس از ده‌ها سال قابل تشخیص است (۲۴).

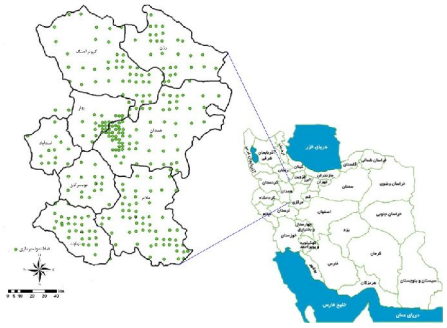
علاوه بر فرآیندهای طبیعی، خاک‌ها می‌توانند به‌وسیله عناصری که از منابع انسانی در محیط زیست آزاد می‌شود، آلوده شوند. این عناصر می‌توانند در گیاهان و حیوانات تجمع یابند و سرانجام از طریق زنجیره غذایی به انسان منتقل شوند (۸). بلعیدن، تنفس و تماس پوستی از مهم‌ترین مسیرهایی است که انسان در معرض عناصر سنگین قرار می‌گیرد (۲۵).

آسیب‌ها، صدمات و ناهنجاری‌هایی که آدمی در سیستم‌هایی طبیعی و خاکی به وجود می‌آورد، مانند فعالیت‌های معدن‌کاوی، دفن ضایعات و زباله‌های مختلف، مصارف بیش از حد کودهای شیمیایی، سموم و آفت‌کش‌ها، ایجاد فرسایش خاک، جنگل‌تراشی، تغییر کاربری اراضی و نظایر آن موجب به وجود آوردن خطرات جدی برای سلامت و تندرستی خود و محیطی که در آن زندگی می‌کند، می‌گردد. بنابراین افزایش سطح آگاهی و شناخت از چنین خطراتی که ناشی از بر هم‌خوردگی سیستم‌های زمینی و خاکی است، به‌منظور کاهش آثار مخرب وتهدید سلامت انسانی ضروری به‌نظر می‌رسد (۱۱).

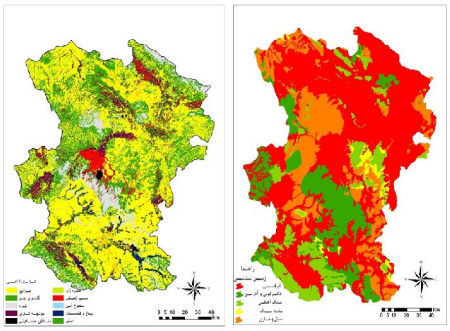
در پژوهش‌های زیست‌محیطی برخی از شاخص‌های محاسباتی وجود دارند که بر مبنای آنها نوع عناصر آلوده و شدت آلودگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. از این شاخص‌ها برای مقایسه، ارزیابی، پایش و همچنین مدیریت اثرات عناصر آلوده استفاده می‌شود.

برخی از محققین نیز مقیاس‌های را برای تبدیل نتایج عددی به‌دست آمده به درجه‌هایی از شدت آلودگی پیشنهاد کرده‌اند (۲۱ و ۲۸). ارزیابی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص زمین انباشتگی (Geoaccumulation Index)، فاکتور غنی شدن نرمال (Normalized enrichment factor)، درجه آلودگی (Degree of contamination)، فاکتور آلودگی (Contamination factor) و شاخص بار آلودگی (Pollution load index) صورت می‌گیرد (۲۶). بهویان و همکاران (۱۶) آلودگی فلزات سنگین را در خاک‌های کشاورزی با استفاده از فاکتور آلودگی، شاخص زمین انباشتگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند. نتایج غنی شدن معنی‌دار خاک‌ها با فلزات تیتانیم، منگنز، روی، سرب، آرسنیک، آهن، استرانسیم و آنتیموان را نشان داد، که حاصل ورود به خاک طی فعالیت‌های معدنی بودند. عظیم‌زاده و خادمی (۹) غنی شدگی و توزیع عناصر سنگین را در خاک‌های استان مازندران با استفاده از فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که غلظت سرب، روی و مس تحت تأثیر فعالیت‌های شهری و کادمیم و نیکل بیشتر تحت کنترل عوامل طبیعی مانند مواد مادری و نیز فعالیت‌های کشاورزی هستند. همچنین با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌ها دارای آلودگی متوسط به فلزات سنگین بودند. موسوی و همکاران (۱۳) توزیع مکانی مس، کروم، آنتیموان و آرسنیک را در خاک‌های سطحی استان همدان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه و الگوی نمونه‌برداری



شکل ۲. نقشه کاربری اراضی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

با استفاده روش‌های زمین‌آماری مورد بررسی قرار دادند نتایج آنها نشان داد که عناصر مورد مطالعه عمدتاً دارای منشأ زمین‌زاد بودند. همچنین مطالعه براتی و همکاران (۵) نشان داد که غلظت کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های استان همدان وابسته به مواد مادری است.

با توجه به اهمیت آگاهی از میزان عناصر سنگین در خاک مطالعات متعددی صورت گرفته است. به‌دلیل برخورداری استان همدان از پتانسیل بالا برای تولیدات کشاورزی و گسترش و توسعه صنایع، افزایش تولید کمپوست و لجن فاضلاب و استفاده از آنها در اراضی کشاورزی منجر به تخریب کیفیت خاک و انباشته شدن آلاینده‌ها از جمله عناصر سنگین در خاک شده است. انباشتگی عناصر سنگین در درازمدت باعث آلوده شدن خاک‌های زارعی، آلودگی آب‌های زیرزمینی، جذب توسط گیاهان، ورود به زنجیره غذایی و ایجاد خطرات جدی برای سلامت انسان‌ها می‌گردد. بنابراین با توجه اهمیت آلودگی عناصر سنگین این تحقیق با هدف تعیین میزان آلودگی برخی عناصر سنگین با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان همدان با وسعت ۱۹۵۴۷ کیلومترمربع، حدوداً ۱/۲ مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد. این استان بین مدارهای ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی قرار گرفته است (۴) (شکل ۱). تشکیلات زمین‌شناسی غالب در منطقه شامل تراس‌های آبرفتی مربوط به دوره زمین‌شناسی کواترنری و همین‌طور تشکیلات آهک اوربیتالین، شیل و مارن مربوط به اواخر دوره کرتاسه و ماسه سنگ دگرگون شده مربوط به دوره ژوراسیک و گدازه آندزیتی و سنگ آهک ریفی مربوط به اوایل نئوژن و اواخر پالئوژن می‌باشد (شکل ۲) (نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی) (۱۲). براساس اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان، مجموع اراضی کشاورزی استان همدان در سال ۱۳۸۵ حدود یک میلیون هکتار برآورد شده که از این میان حدود ۷۰۰ هزار هکتار زیر کشت و بقیه به‌صورت آیش می‌باشد (شکل ۲). استان همدان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی ایران می‌باشد. از جمله محصولات عمده آن می‌توان به گندم، جو، یونجه و سیب زمینی اشاره کرد (۶).

نمونه‌برداری و تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌برداری خاک براساس روش سیستماتیک تصادفی انجام گرفت (۲۲). برای این کار ابتدا منطقه مورد مطالعه به شبکه‌های ۵×۵ کیلومتر تقسیم‌بندی شد. براساس شناختی که از منطقه حاصل شده بود مناطقی که شدت استفاده از زمین زیاد بود فاصله شبکه‌ها ۲/۵×۲/۵ کیلومتر و در مناطقی که شدت استفاده از زمین کمتر بود و همچنین براساس تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی مناطقی که دشوار گذار بودند فاصله شبکه‌ها ۱۰×۱۰ کیلومتر انتخاب و محل تلاقی شبکه‌ها به‌عنوان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

جدول ۱. ارزیابی آلودگی فلزات سنگین براساس فاکتور آلودگی (CF)

دامنه تغییرات CF	شدت آلودگی
CF<۱	آلودگی کم
۱ ≤ CF <۳	آلودگی متوسط
۳ ≤ CF <۶	آلودگی زیاد
۶ ≤ CF	آلودگی بسیار زیاد

موقعیت نقاط نمونه‌برداری انتخاب شد. در مجموع ۲۸۶ نمونه مرکب از خاک سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) جمع‌آوری شد (شکل ۱). از این تعداد نمونه ۱۵۷ نمونه در اراضی کشاورزی (باغ و زمین کشاورزی) و ۱۲۹ نمونه در عرصه‌های طبیعی (مراتع و زمین‌های بایر) واقع می‌شوند. الگوی نمونه‌برداری و موقعیت نمونه‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. عصاره‌گیری برای تعیین غلظت کل فلزات سنگین خاک با استفاده از HCl و HNO_3 صورت گرفت (۱۷). غلظت کل فلزات به‌وسیله‌ای دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (۲۰)، ماده‌آلی به روش والکی- بلک (۳۱)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی (۱۷)، ظرفیت تبادل کاتیونی، قابلیت هدایت الکتریکی و pH (گل اشباع) در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد (۱۸).

شاخص‌های آلودگی

محاسبه فاکتور آلودگی

برای تعیین آلودگی خاک به فلزات سنگین از فاکتور آلودگی استفاده گردید. براساس این فاکتور بایستی مقدار فلزات سنگین نسبت به مقدار طبیعی آن سنجیده می‌شود و میزان آلایندگی خاک را تعیین می‌گردد. این فاکتور از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۹):

$$CF_{metal} = \frac{C_{metal}}{C_{background}} \qquad [۱]$$

در این رابطه CF_{metal} فاکتور آلودگی، C_{metal} غلظت عنصر در سطح خاک و $C_{background}$ غلظت عنصر در زمینه می‌باشد. در این پژوهش از طبقه‌بندی هکنسن برای فاکتور آلودگی (جدول ۱)، به‌منظور ارزیابی آلایندگی فلزات سنگین استفاده شد (۲۱). میانگین غلظت هر عنصر در اراضی طبیعی (مرتع) دست نخورده به‌عنوان غلظت زمینه طبیعی در نظر گرفته شده است (۷، ۱۶ و ۲۷).

محاسبه شاخص بار آلودگی

برای بررسی کمیت ریسک آلودگی و آگاهی از پتانسیل آلودگی فلزات سنگین در منطقه از شاخص آلودگی تاملینسون استفاده شد (۲۱ و ۲۸). مزیتی که این شاخص نسبت به شاخص‌های آلودگی دیگر دارد این است که در این شاخص ریسک آلودگی به همه فلزاتی که مورد مطالعه قرار می‌گیرد در منطقه مشخص می‌شود. شاخص بار آلودگی تاملینسون (PLI) به‌صورت ریشه nام حاصل‌ضرب غلظت‌های فلزات سنگین مختلف مورد بررسی تعریف می‌شود (۱۵):

$$PLI = \sqrt[n]{CF_1 \times CF_2 \times ... \times CF_n} \qquad [۲]$$

که CF_{metal} نشان دهنده فاکتور آلودگی هر فلز و n برابر با تعداد فلزات سنگین مورد مطالعه است. PLI یک شاخص انتگرالی مهم در بررسی میزان آلودگی در مناطق آلوده است که هر چه از عدد یک بالاتر باشد دفعات آلوده بودن نسبت به محل غیرآلوده را نشان می‌دهد.

نقشه پراکنش فاکتور و شاخص بار آلودگی

برای شناسایی مناطق آلوده و یا در معرض آلودگی به عناصر

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

جدول ۲. خلاصه آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

پارامترهای خاک	واحد	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	چولگی	کشیدگی	K-S *p*
pH	-	۷/۰	۸/۳	۷/۷	۰/۲۵	۳/۲	-۰/۳۳	۰/۵۲	۰/۰
کربنات کلسیم معادل	٪	۱	۵۸	۱۹/۲	۱۰/۸	۵۶	۰/۷۰	۰/۳۱	۰/۰
ماده آلی	٪	۰/۰۳	۴/۳۴	۰/۷۷	۰/۶۱	۷۹	۱/۷۵	۴/۹۷	۰/۰
ظرفیت تبادل کاتیونی	$Cmol\ kg^{-1}$	۲/۹۴	۱۵۹/۵	۲۶/۵	۳۶/۵	۱۳۷	۲/۵۴	۵/۴۴	۰/۰
شن	٪	۰/۲۷	۷۷/۴	۲۹/۴۶	۱۶/۱۵	۵۴	۰/۲۹	-۰/۵۰	۰/۰۲
سیلت	٪	۲/۹	۷۴/۱	۴۳/۸	۱۱/۲	۲۵	-۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۰۹
رس	٪	۷/۶	۵۴/۱	۲۶/۷	۹/۱	۳۴	۰/۳۷	-۰/۲۲	۰/۰۰۲

جدول ۳. خلاصه آماری غلظت فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در منطقه مورد مطالعه

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	چولگی	کشیدگی	K-S *p*
مس	۴	۷۵	۳۶/۴۵	۱۰/۰۹	۲۷/۶۸	۰/۳۲	۰/۸	۰/۲
نیکل	۲۶	۱۴۰	۶۹/۰۳	۲۰/۴۳	۲۹/۶	۰/۵۲	۰/۱۴	۰/۰
روی	۳۵	۲۰۰	۸۰	۱۸/۷۵	۲۳	۱/۵۱	۶/۶۹	۰/۰
سرب	۱۳	۶۹	۲۵/۶۶	۶/۷۶	۲۶/۳۷	۲/۷۸	۱۲/۳۵	۰/۰

سنگین، نقشه‌های پراکنش فاکتور آلودگی و شاخص بار آلودگی تهیه شد. بدین منظور ابتدا با بسط مدل‌های تئوری نیم‌تغییرنمای مناسب برای هر یک از شاخص‌های محاسبه شده، از روش میان‌یابی کریجینگ در محیط نرم‌افزار ARC GIS 9.3 (۲۳) استفاده شد.

نتایج و بحث

توصیف آماری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

خلاصه‌ای از وضعیت آماری برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. ضریب تغییرات ظرفیت تبادل کاتیونی، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیانگر وجود تغییرات زیاد غلظت این متغیرها در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد (۹). براساس نتایج آزمایشگاهی دامنه تغییرات بافت نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه در محدوده لومی-شنی تا لومی- رسی می‌باشد. توزیع پارامترهای، درصد سیلت براساس آزمون کولموگروف- اسمیرنوف از تابع نرمال پیروی کرده اما توزیع سایر پارامترها در منطقه نرمال نیست.

توصیف آماری غلظت فلزات سنگین

خلاصه‌ای از آماره‌های توصیفی عناصر سنگین مورد مطالعه در جدول ۳ آمده است. ضریب تغییرات عناصر مورد مطالعه کمتر از ۵۰ درصد می‌باشد که نشان‌دهنده تغییرات همگن و یکنواخت عناصر در منطقه مورد مطالعه بوده و بیانگر محدود بودن عوامل دخیل در تغییرات آنها است (۹). نتایج آزمون کولموگروف- اسمیرنف نشان دادند که غلظت مس از تابع توزیع نرمال پیروی می‌کند ولی غلظت نیکل، روی و سرب از تابع نرمال پیروی نمی‌کند. استاندارد کیفیت منابع خاک ایران برای عناصر سنگین مورد مطالعه که توسط سازمان محیط

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

جدول ۴. استاندارد کیفیت منابع خاک ایران ($mg\ kg^{-1}$) برای خاک‌های با pH >۷ (۵)

عنصر	کاربری کشاورزی	کاربری مرتع و جنگل	حفاظت از محیط زیست
مس	۲۰۰	۵۰۰	۶۳
نیکل	۱۱۰	۵۳۰	۵۰
روی	۵۰۰	۵۰۰	۲۰۰
سرب	۷۵	۲۹۰	۳۰۰

جدول ۵. خلاصه آماری غلظت فلزات سنگین ($mg\ kg^{-1}$) در کاربری‌های کشاورزی و مرتع

عنصر	کاربری کشاورزی			کاربری مرتع		
	حداقل	حداکثر	میانگین	حداقل	حداکثر	میانگین
مس	۱۲	۶۳	۳۶/۲۱	۴	۷۵	۳۶/۸۶
نیکل	۲۷	۱۴۰	۶۷/۳۲	۲۶	۱۳۰	۷۲/۱۸
روی	۳۷	۱۶۰	۸۱/۴۷	۳۵	۲۰۰	۷۹/۵۵
سرب	۱۵	۶۹	۲۶/۹۵	۱۳	۵۸	۲۴/۱۷

زیست کشور ارائه شده است در جدول ۴ نشان داده شده است. غلظت نیکل، مس، روی و سرب در منطقه مورد مطالعه از حداکثر غلظت مجاز عناصر سنگین در خاک ارائه شده توسط سازمان محیط زیست کشور پایین‌تر می‌باشد (۱). میانگین غلظت مس، نیکل، روی و سرب در کاربری‌های کشاورزی و مرتع از حد مجاز ارائه شده توسط سازمان محیط زیست برای کاربری‌های کشاورزی و مرتع برای حفاظت انسان کمتر می‌باشد (جدول ۵). حدود ۵ درصد از نمونه‌ها در کاربری کشاورزی دارای غلظت بیش از استاندارد می‌باشند و غلظت سرب، مس و روی در همه نمونه‌ها کمتر از استاندارد آلودگی خاک کشور می‌باشد. میانگین غلظت نیکل در خاک‌های سطحی استان همدان بیشتر از استاندارد خاک حفاظت از محیط زیست می‌باشد و حدود ۸۱ درصد از نمونه‌ها دارای غلظتی بیش از استاندارد حفاظت از محیط زیست دارند. میانگین غلظت مس، روی و سرب کمتر از حد استاندارد آلودگی خاک برای حفاظت از محیط زیست می‌باشد.

ارزیابی زیست محیطی

خلاصه‌ای از وضعیت آماری فاکتور آلودگی عناصر سنگین مورد مطالعه به همراه درصد هر کلاس آلودگی در منطقه، در جدول ۶ ارائه شده است. در بین عناصر مورد مطالعه بالاترین میانگین فاکتور آلودگی به‌ترتیب برای سرب، روی، مس و نیکل است که این نشان‌دهنده تأثیر میزان فعالیت‌های انسانی در تغییرات عناصر است. همان‌طور که در جدول ۶ مشاهده می‌شود در بین کلاس‌های آلودگی، کلاس آلودگی متوسط دارای بیشترین مقدار فراوانی در نمونه‌های برداشت شده می‌باشد و تنها عنصر سرب دارای کلاس آلودگی زیاد می‌باشد که شامل ۰/۷ درصد از نمونه‌ها می‌شود. عظیم‌زاده و خادمی (۹) در بررسی آلودگی خاک‌های استان مازندران با استفاده از فاکتور آلودگی نشان دادندکه غالب نمونه‌های مورد تجزیه از نظر آلودگی سرب، روی، مس، کادمیم و نیکل دارای کلاس آلودگی متوسط هستند.

در شکل ۳ نقشه‌های کریجینگ پراکنش فاکتور آلودگی مس و روی و نیکل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

جدول ۶. خلاصه آماری فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه

عنصر	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات	آلودگی کم	آلودگی متوسط	آلودگی زیاد
				٪			
مس	۰/۱۲	۲/۲۰	۱/۰۶	۲۷/۶۸	۴۲/۳۱	۵۷/۶۹	–
نیکل	۰/۳۹	۲/۱۲	۱/۰۴	۲۹/۶	۴۵/۱۰	۵۴/۸۹	–
روی	۰/۴۷	۲/۷۰	۱/۰۸	۲۳	۳۸/۱۱	۶۱/۸۸	–
سرب	۰/۵۶	۳	۱/۱۲	۲۶/۳۷	۲۷/۹۷	۷۱/۳۳	۰/۷۰

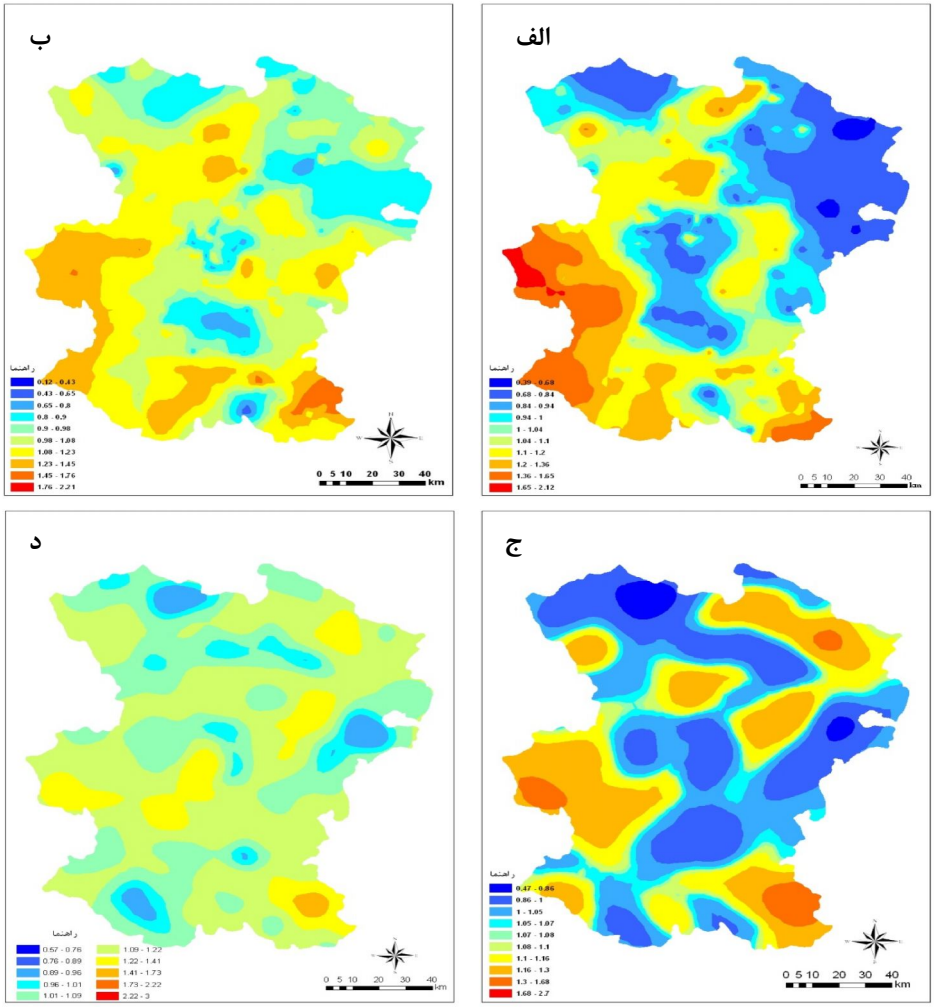
جدول ۷. میانگین غلظت عناصر سنگین در مواد مادری منطقه مورد مطالعه (۳۰)

نوع ماده مادری	Zn	Cu	Pb	Ni
هورنفلس و هورنفلس – شیست	۴۵/۲	۲۸/۱	۲۵/۲	۸۸/۷
گرانیت–گرانودیوریت	۱۶/۵	۱۷/۷	۲۵/۴	۲۹/۵
شیل	۹۶/۲	۷۵	۲۹/۴	۹۷/۵
ماسه سنگ	۲۴/۲	۱۶/۵	۲۰/۵	۴۲/۴
مارن	۴۲/۲	۱۱/۷	۱۸/۸	۵۷/۵
رسوبی تفکیک نشده (کرتاسه)	۲۰/۵	۷/۲۵	۱۷/۴	۱۹/۲

می‌شود بالاترین میزان فاکتور آلودگی مس، روی و نیکل در منطقه مورد مطالعه در غرب (اسدآباد)، جنوب و جنوب شرقی (ملایر) و بخشی در شمال (کبوترآهنک) واقع شده است. با روی هم‌اندازی نقشه توزیع فاکتور آلودگی با نقشه‌های زمین‌شناسی و کاربری اراضی مشخص شد که در مناطقی که میزان فاکتور آلودگی بالا می‌باشد دارای ساختار زمین‌شناسی شیل، مارن، آذرین و دگرگونی و دارای کاربری کشاورزی و مراتع می‌باشد. این احتمال وجود دارد که کاربرد کودهای دامی و شیمیایی در زمین‌های کشاورزی باعث افزایش غلظت مس و روی در خاک شده است. شیل‌ها دارای بیشترین غلظت روی، مس و نیکل در منطقه مورد مطالعه می‌باشند و می‌توانند منبع ورود این عناصر به خاک باشند (جدول ۷). همچنین سنگ‌های مارن، دگرگونی و آذرین دارای غلظت بالایی از عناصر مورد مطالعه در منطقه می‌باشند. یگانه (۱۴) در بررسی نرخ انباشت مس، روی و نیکل در زمین‌های کشاورزی استان همدان بدون در نظر گرفتن فرونشت‌های اتمسفری گزارش کرد که کودهای دامی و هوادیدگی به‌ترتیب حدود ۷۴ و ۲۵ درصد از کل مس، ۷۸ و ۱۸ درصد از کل روی، ۲۵ و ۷۳ درصد از کل نیکل وارد شده به زمین‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهند. بنابراین فعالیت‌های انسانی از جمله عملیات کشاورزی، به خصوص استفاده از کودهای دامی و شیمیایی می‌تواند باعث افزایش غلظت عناصر در خاک شود. نتایج بررسی‌ها در ارتباط با میزان مصرف سالیانه کودهای دامی و شیمیایی در زمین‌های کشاورزی شهرستان‌های استان همدان مشخص شده است که شهرستان اسدآباد و ملایر بیشترین میزان مصرف کودهای شیمیایی و دامی را در بین شهرستان‌های استان همدان دارا می‌باشند (۱۴).

براساس شکل ۳ مناطق با مقدار فاکتور آلودگی بالای سرب در قسمت‌های جنوب شرق (محدوده شهرستان ملایر)، مرکز استان (محدوده شهرستان همدان) و یک لکه در نیمه

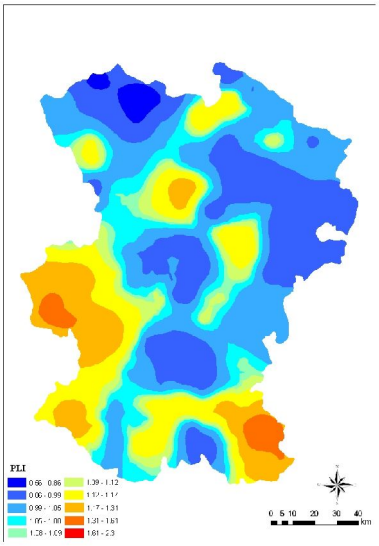
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]



شکل ۳. نقشه کریجینگ فاکتور آلودگی فلزات سنگین الف)نیکل، ب) مس، ج) روی و د) سرب

غربی استان (محدوده شهرستان اسدآباد) بر روی سنگ بستر آذرین و دگرگونی، ماسه سنگ، شیل و سنگ آهک مشاهده می‌شود. کاربری اراضی در این مناطق کشاورزی آبی، مرتع و معدن می‌باشدکه کود و سموم شیمیایی به‌صورت غیراصولی و بی‌رویه در اراضی کشاورزی مصرف می‌شود. براساس مطالعات انجام شده، در سنگ بستر ماسه سنگ و شیل به‌طور طبیعی مقدار غلظت سرب بالاست. بنابراین عامل مؤثر بر افزایش غلظت سرب در منطقه مورد مطالعه، ساختار زمین‌شناسی(شیل و ماسه سنگ و سنگ آهک) و فعالیت‌های کشاورزی (مصرف بی‌رویه کودهای دامی و شیمیایی) و همچنین آلودگی شهری (وسایل نقلیه) می‌باشد. یگانه (۱۴) در بررسی نرخ انباشت سرب در زمین‌های کشاورزی استان همدان نشان داد بدون در نظر گرفتن فرونشت‌های اتمسفری، کودهای دامی و هوادیدگی مواد مادری به‌ترتیب حدود ۱۴ و ۸۵ درصد از کل سرب وارده شده به زمین‌های کشاورزی را تشکیل می‌دهند. رودریگوز-مارتین و همکاران (۲۹) در بررسی میزان عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی حوزه ابرو در اسپانیا با استفاده از آنالیز چند متغیره و زمین آمار نشان دادند که کروم و نیکل توسط مواد مادری کنترل می‌شود درحالی‌که کادمیم، سرب، جیوه، مس و روی تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند و میانگین غلظت مس در مزارع زیتون و انگور بالا بود و آنهم به‌دلیل استفاده از کودهای شیمیایی و مواد حاصلخیزکننده خاک

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]



شکل ۴. نقشه کریجینگ شاخص بار آلودگی در منطقه مورد مطالعه

در این مناطق بود. مطالعهٔ تقی‌پور و همکاران (۳۰) در بررسی منبع فلزات سنگین در بخشی از استان همدان نشان داد که غلظت کروم، کبالت و نیکل در ارتباط با مواد مادری (سنگ‌های شیل) در منطقه مورد مطالعه کنترل می‌شود. غلظت مس به‌صورت مشترک توسط فعالیت‌های انسانی و مواد مادری کنترل می‌شود و غلظت سرب و روی توسط فعالیت‌های انسانی تغییر می‌کند. میزان غلظت سرب و روی در مناطق شهری بیشتر از سایر مناطق بوده است. فاک‌چنیلی و همکاران (۱۹) در بررسی غلظت عناصر سنگین و منبع کنترل کننده آنها در شمال ایتالیا از آنالیز چند متغیره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که کروم، کبالت و نیکل در اثر مواد مادری در منطقه مورد مطالعه که شامل سنگ‌های فوق‌بازی می‌باشد کنترل می‌شود. غلظت مس، روی و سرب در ارتباط با فعالیت‌های انسان تغییر می‌کند.

نقشه کریجینگ پراکنش شاخص PLI در شکل ۴ نشان داده شده است. با استفاده از نقشه پراکنش PLI به خوبی می‌توان به مکان‌یابی مناطق با احتمال خطرات زیست‌محیطی فلزات سنگین اقدام نمود. با توجه به شکل ۴، مناطق غربی (شهرستان اسدآباد)، جنوب شرقی (ملایر) و بخش‌هایی از مرکز (تویسرکان و همدان) و شمال (کبوتر آهنگ) استان همدان، دارای خطرپذیری بالاتری نسبت به فلزات سنگین مورد مطالعه می‌باشند. که این خطرپذیری فلزات سنگین احتمالاً ناشی از هوازدگی مواد مادری و فعالیت انسانی است. بیشتر این نقاط بر روی کاربری کشاورزی قرار دارند. جذب عناصر سنگین توسط گیاهان کشت شده در این مناطق موجب آلودگی این محصولات کشاورزی شده و در نتیجه ورود آنها به بدن انسان از طریق زنجیره غذایی موجب بر جا گذاشتن اثرات سوء در بدن انسان می شود. بنابراین در مناطقی که احتمال آلودگی خاک به عناصر سنگین وجود دارد باید راه‌کارهای مناسب برای کنترل آلودگی در این مناطق و ممانعت از پیشرفت آن اتخاذ شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به کلاس‌های ارزیابی فاکتور آلودگی، غالب نمونه‌های برداشت شده در منطقه مورد مطالعه (۷۲-۵۶ درصد) دارای کلاس آلودگی متوسط می‌باشند. نقشه پراکنش فاکتور آلودگی فلزات سنگین در منطقه مورد مطالعه نشان داد که در بخش غرب (اسدآباد) و جنوب شرقی و بخش‌های از مرکز و شمال استان همدان، دارای آلودگی بالاتری نسبت مناطق دیگر استان است و غلظت عناصر در منطقه تحت تأثیر عوامل طبیعی و

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

فعالیت‌های انسانی می‌باشد. نقشه پراکنش شاخص PLI در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که نگرانی ناشی از فلزات سنگین در بخش‌های غرب و جنوب غربی استان بیش از مناطق دیگر است. در مناطقی که شاخص آلودگی بالا می‌باشد باید اقداماتی در جهت کاهش ورود عناصر سنگین به خاک صورت گیرد. در مورد هوادیدگی که یک فرآیند طبیعی است کار چندانی نمی توان انجام داد، بنابراین باید با کاهش مقدار مصرف کودهای دامی و شیمیایی وضعیت عناصر سنگین در منطقه را کنترل نمود.

منابع مورد استفاده

۱. استاندارد کیفیت منابع خاک و راهنماهای آن. ۱۳۹۱. سازمان محیط زیست ایران.

۲. اسماعیلی‌ساری. ع. ۱۳۸۱. آلاینده‌ها بهداشت و استاندارد در محیط زیست، چاپ اول، انتشارات نقش‌مهر، تهران.

۳. امینی، م. ۱۳۸۲. مدل‌سازی روند تجمع عناصر سنگین در اکوسیستم‌های زراعی و ارزیابی عدم قطعیت آن در منطقه اصفهان، رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴. ایزدی، ع. و ع. عربی. ۱۳۸۷. گزارش عملکرد اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان همدان در زمینه استفاده از GIS در مدیریت محیط زیست. سازمان حفاظت محیط زیست، همدان.

۵. براتی، س.، ن. غفاری، ع. سفیانیان و ل. خداکرمی. ۱۳۹۱. توزیع مکانی کروم، کبالت و نیکل در خاک‌های سطحی استان همدان. نشریه محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران ۶۵ (۳) : ۲۹۵-۲۸۳.

۶. سالنامه آماری استان همدان، معاونت برنامه‌ریزی دفتر آمار و اطلاعات. ۱۳۸۵. استانداری استان همدان.

۷. شهبازی، ع.، ع. ر. سفیانیان، ن. میرغفاری و م. ر. عین‌قلایی. ۱۳۹۱. بررسی آلودگی فلزات سنگین با استفاده از شاخص‌های فاکتور آلودگی، زمین‌انباشتگی و شاخص جامع فاکتور آلودگی (مطالعه موردی: شهرستان نهاوند). محیط زیست و توسعه ۵ (۳) : ۳۸-۳۱.

۸. رحمانی، ح.، م. کلباسی و ش. حاج‌رسولیها. ۱۳۷۹. آلودگی خاک به وسیله سرب حاصل از وسایط نقلیه در محدوده برخی از بزرگراه‌های ایران. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴ (۴): ۴۰-۳۱.

۹. عظیم‌زاده، ب. و ح. خادمی. ۱۳۹۲. تخمین غلظت زمینه برای ارزیابی آلودگی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از استان مازندران. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۳ (۲۷): ۵۵۹-۵۴۸.

۱۰. غضبان، ف. ۱۳۸۱. زمین‌شناسی زیست محیطی، چاپ اول ، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

۱۱. محمدی، ج. و م. بویراحمدی. ۱۳۸۷، خاک‌پزشکی. چاپ اول، انتشارات پلک، تهران.

۱۲. مطالعات مکان‌یابی محل دفن و دفع پسماندهای ویژه در استان همدان. ۱۳۸۶. گزارشات هواشناسی، هیدرولوژی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، تکتونیک-لرزه‌خیزی و تلفیق با GIS. معاونت پژوهشی دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۱۳. موسوی، ا.، ع. سفیانیان، ن. میرغفاری و ل. خداکرمی. ۱۳۹۰. بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های استان همدان. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب) ۴ (۲۵): ۳۳۶-۳۲۳.

۱۴. یگانه، م. ۱۳۹۱. مدل‌سازی روند انباشت عناصر سنگین در خاک‌های سطحی استان همدان و تعیین خطرپذیری ناشی از آن بر سلامت انسان. رساله دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

15. Angulo, E. 1996. The Tomlinson's pollution load index applied to heavy metal "Mussel-Watch" data: a useful index to assess coastal pollution. Sci. Total Environ. 187: 19-56.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]

16. Bhuiyan, M. A. H., L. Parvez, M. A. Islam, S. B. Dampare and S. Suzukia. 2010. Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in the northern part of Bangladesh. J. Hazard. Mater. 173: 384-392.
17. Black, C. A., D. D. Evans, J. L. White, L. E. Ensminger and F. E. Clark. 1965. Methods of Soil Analysis: Part 2. Madison, WI: USA.
18. Chapman, H. D. 1965. Cation exchange capacity. *In*: Black, C. A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, WI.
19. Facchinelli, A., E. Sacchi and L. Mallen. 2001. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soils. Environ. Poll. 114: 313-324.
20. Gee, G. W. and J. W. Bauder. 1986. Particle-size analysis. PP. 383-409. *In*: Klute, A. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part 1.,. Madison, WI: USA, SSSA
21. Hakanson, L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control: a sedimentological approach. Water Res. 14: 975-1001.
22. IAEA (International Atomic Energy Agency). 2004. Soil Sampling for Environmental Contaminants, IAEA-TECDOC-1415. IAEA, Vienna.
23. Johnston, K., J. M. Ver Hoef, K. Krivoruchko and N. Lucas. 2001. Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI Press, New York, USA.
24. Keller, A. and R. Schulin. 2003. Modeling regional-scale mass balances of phosphorus, cadmium and zinc fluxes on arable and dairy farms. Euro P. J. Agron. 20: 181-198.
25. Keller, A., B. Von Steiger, S. E. Van Der Zee and R. Schulin. 2001. A stochastic empirical model for regional heavy-metal balances in agroecosystems. J. Environ. Qual. 30: 1976-1989.
26. Krzysztof, L., L. Danuta and K. Irena. 2004. Metal contamination of farming soils affected by industry. Environ. Inter. 30: 159-165.
27. Mirzaei, R., H. Ghorbani, N. H. Moghaddas and J. A. Rodríguez Martín. 2014. Ecological risk of heavy metal hotspots in topsoils in the Province of Golestan, Iran. J. Geochem Explor.147: 268-276.
28. Muller, G. 1969. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. Geo. J., 2: 108-118.
29. Rodríguez Martín, J. A., M. López Arias and J. M. Grau Corbí. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geoestatistical methods to study spatial variations. Environ. Pollut. 144: 101-1012.
30. Taghipour, M., S. Ayoubi and H. Khademi. 2011. Contribution of lithologic and anthropogenic factors to heavy metals in surface soils of western Iran: Use of multivariate geostatistics. Soil Sed. Cont. 20: 921-937.
31. Walkey, A. and I. A. Black. 1934 An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37: 29-38.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1394.19.72.7.7]
[DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.19.72.7]