

ارزیابی شاخص‌های آلودگی عناصر سمی بالقوه در خاک‌های شهرستان چادگان اصفهان،

با نگرشی به اطراف مناطق مسکونی

رامین ساریخانی^{*}؛ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

آرتمیس قاسمی دهنوی؛ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

شبهلا پرویزپور؛ کارشناس ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

علی مرادپور؛ بخش حفاظت خاک و آب‌خیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه، سازمان تحقیقات، آموزش

و ترویج کشاورزی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۸

چکیده

امروزه آلودگی خاک‌های کشاورزی توسط انواع آلاینده‌های مخرب به یکی از معضلات زیست‌محیطی بشر تبدیل شده است. منابع مختلف ایجادکننده آلودگی شامل انواع آلاینده‌های کشاورزی و نفتی، فلزات سنگین، ضایعات صنعتی، و غیره سبب کاهش کیفیت خاک، گسترش آلودگی در آب‌های زیرزمینی، و بروز سایر مشکلات زیست‌محیطی می‌شود؛ گرچه عدم مدیریت صحیح دفع مواد آلی نیز می‌تواند افزایش غلظت املاح و فلزات سنگین و ریزجانداران بیماری‌زا را در پی داشته باشد. در این پژوهش، با هدف بررسی و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و عناصر سمی بالقوه، تعداد ۱۲۸ نمونه از خاک منطقه شمال غربی شهرستان چادگان در مناطق مختلف و اطراف مناطق شهری انتخاب شد تا، ضمن دستیابی به میزان غلظت این فلزات، مناطق پر خطر و آلوده مشخص شود. نتایج حاصل از تجزیه ICP نمونه‌های خاک این منطقه نشان داد روند تغییرات غلظت فلزات سنگین و عناصر سمی بالقوه به صورت $Ba > Cr > Sr > Mn > Ni > Zn > B > Cu > Y > Pb > Sc$ است. نتایج شاخص‌های خاک بیانگر آن بود که خاک‌های مورد مطالعه دارای آلودگی کم یا فاقد آلودگی اند. نتایج ضریب آلودگی حاکی از آن بود که به جز عنصر سرب، که در بعضی از نقاط نمونه‌برداری دارای غنی‌شدگی متوسط است، مابقی عناصر دارای غنی‌شدگی ضعیف‌اند. شاخص بار آلودگی نشان داد نمونه‌های مورد مطالعه آلودگی ندارند و غلظت مناسب دارند. این در حالی است که غنی‌شدگی کروم و مس و سرب در بعضی از نقاط نمونه‌برداری در حد متوسط است که این غنی‌شدگی را می‌توان آلودگی با منشأ زمین‌زاد در نظر گرفت.

کلیدواژه‌گان: آلودگی خاک، چادگان، عناصر سمی بالقوه، فلزات سنگین.

مقدمه

آلودگی خاک، به منزله بخشی از تخریب زمین، ناشی از حضور مواد شیمیایی مصنوعی یا سایر تغییرات در محیط خاک است. آلودگی فلزات سنگین خاک‌ها بسیار گسترده است و خطر انتقال این فلزات سمی و قابل دسترس به انسان‌ها و حیوانات و محصولات کشاورزی وجود دارد (پری‌زنگنه^۱ و همکاران ۲۰۱۲). فلزات سنگین به دلیل تجزیه‌ناپذیر بودن و آثار فیزیولوژیکی که بر موجودات زنده می‌گذارند در غلظت‌های کم نیز بسیار حائز اهمیت‌اند (غضبان ۱۳۸۱؛ اسماعیلی‌ساری ۱۳۸۱).

آلودگی خاک به طور معمول ناشی از فعالیت‌های صنعتی، مواد شیمیایی کشاورزی، یا دفع نادرست زباله است. شایع‌ترین مواد شیمیایی شامل هیدروکربن‌های نفتی، هیدروکربن‌های آروماتیک چندهسته‌ای (مانند نفتالین و بنزو)، حلال‌ها، آفت‌کش‌ها، و فلزات سنگین‌اند. نگرانی درباره آلودگی خاک به طور عمده ناشی از خطرات بهداشتی از تماس مستقیم با خاک آلوده، بخارات ناشی از آلودگی‌ها، و آلودگی ثانویه در منابع آب داخل و لایه‌های زیرین خاک است. نقشه‌برداری از سایت‌های آلوده و حذف آلودگی از خاک کاری وقت‌گیر و پرهزینه و نیازمند فعالیت‌های زیاد زمین‌شناسی، هیدرولوژی، شیمی، مهارت‌های مدل‌سازی کامپیوتری و GIS در آلودگی زیست‌محیطی است. آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین با آلودگی‌های آب یا هوا متفاوت است. چون فلزات سنگین نسبت به سایر بخش‌های بیوسفر به مدت طولانی‌تری داخل خاک باقی می‌مانند و در خاک دوام و بقای بیشتری دارند (لاسات^۱ ۲۰۰۲). چالش اصلی در خصوص آلودگی خاک ناشی از فلزات سنگین و بالقوه سمی به سبب آن است که این آلاینده‌های غیرآلی برخلاف آلاینده‌های آلی تجزیه‌پذیر نیستند. این موضوع فلزات سنگین را به یکی از آلاینده‌های زیست‌محیطی بسیار خطرناک مبدل می‌سازد (کاباتا-پندیاس^۲ ۲۰۰۱؛ سان^۳ و همکاران ۲۰۱۰).

منابع آلودگی اساساً دارای منشأ زمین‌زاد یا انسان‌زادند. آلودگی‌های دارای منشأ زمین‌زاد شامل آلودگی‌های متأثر از سازندهای زمین‌شناسی، معادن، چشمه‌های معدنی، منابع آب‌های شور، و لب‌شور است و آلودگی‌های دارای منشأ انسان‌زاد بر اثر فعالیت‌های بشر به وجود می‌آیند؛ نظیر فعالیت‌های صنعتی، حمل‌ونقل، کاربرد کودها و حشره‌کش‌ها و آفت‌کش‌های کشاورزی، فعالیت‌های معدن‌کاری (باسی^۴ ۱۹۹۴؛ پینگ^۵ و همکاران ۲۰۰۷؛ کساوینا^۶ و همکاران ۲۰۱۲). خاک محل ته‌نشست نهایی فلزات سنگین رهشده در محیط زیست در نظر گرفته می‌شود و این فلزات پیوندهایی را با خاک به وجود می‌آورند که جدا کردن و پاک‌سازی آن‌ها هزینه‌های بسیار زیادی را تحمیل می‌کند (کریشنا^۷ ۲۰۰۷؛ دانگ^۸ ۲۰۰۳؛ چن^۹ و همکاران ۲۰۱۰).

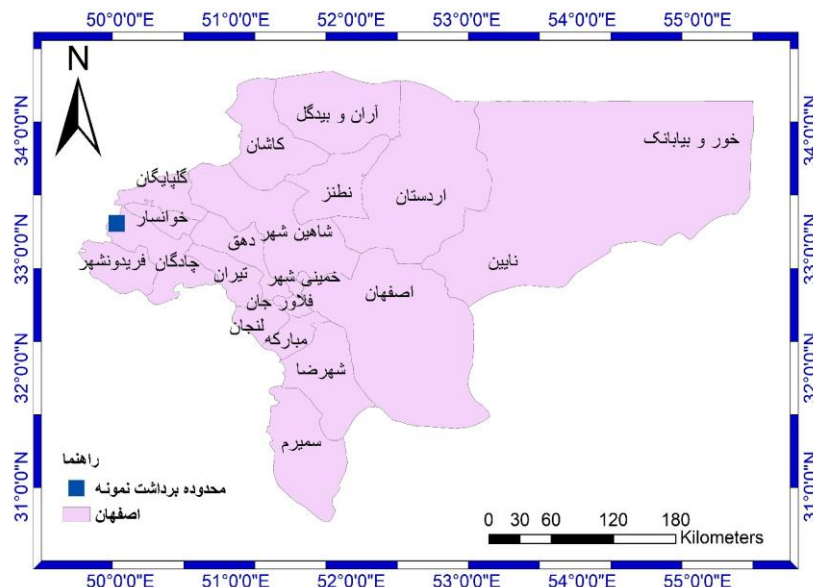
افزایش آلودگی فلزات سنگین ناشی از مواد هیدروکربنی و فعالیت‌های صنعتی و معدنی و کشاورزی در خاک بررسی‌های فراوانی را در این زمینه موجب شده است (امیری و همکاران ۱۳۹۵). پنتورو^{۱۰} و همکارانش (۲۰۱۹) نشان دادند در منطقه باسیلیکاتا (جنوب ایتالیا) فعالیت‌های طبیعی و آلتراسیون صورت‌گرفته، که به ایجاد کانی‌های رشته‌ای و غیررشته‌ای گروه سرپانتین در این منطقه انجامیده، آلودگی عناصر سنگین در خاک این مناطق را در پی داشته و بنابراین پراکنده شدن عناصر آلاینده حاصل از این خاک‌ها در هوا یک تهدید جدی تنفسی برای ساکنان روستاهای این محدوده به شمار می‌آید. ملک‌زاده (۱۳۹۱) توزیع مکانی سرب، کادمیوم، و نیکل در خاک‌های محدوده بختیار دشت اصفهان را بررسی کرد. نتایج حاصل از مقایسه غلظت فلزات سنگین با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران نشان داد غلظت نیکل بیشتر و غلظت سرب و کادمیوم کمتر از حد مجاز است.

1. Lasat
2. Kabata-Pendias
3. Sun
4. Bacci
5. Ping
6. Csavina
7. Krishna
8. Dang
9. Chen
10. Punturo

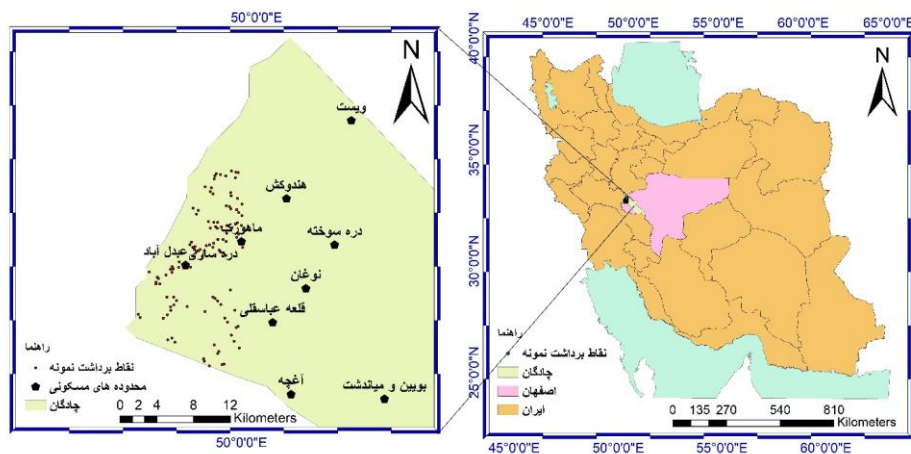
در این تحقیق نیز با توجه به نتایج آنالیز ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه مورد نظر بر اساس مطالعات پیشین و همچنین وجود عناصر یافت‌شده با منشأ زمین‌شناسی، با بررسی توزیع عناصر سنگین در خاک منطقه شمال غربی شهرستان چادگان و ارزیابی آلودگی زیست‌محیطی، سعی شد با استفاده از شاخص‌های آلودگی و تحلیل‌های آماری خاک این منطقه بررسی شود.

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

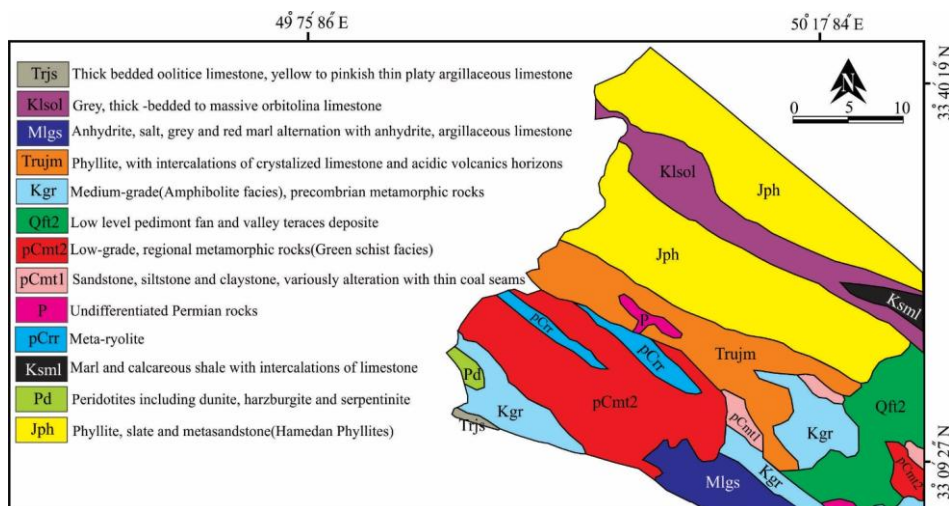
شهرستان چادگان با مختصات $32^{\circ}32'$ تا $32^{\circ}58'$ عرض شمالی و $50^{\circ}13'$ تا $50^{\circ}51'$ طول شرقی از شمال و شرق به ترتیب با شهرستان تیران و کرون، از شمال غرب با شهرستان خوانسار، از غرب با شهرستان فریدون‌شهر هم‌مرز است (شکل ۱ و ۲). به لحاظ زمین‌شناسی تشکیلات دوران‌های مختلف در منطقه قابل مشاهده‌اند که عمدتاً متشکل از آهک، دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ‌های دوره دوم، و رسوبات آبرفتی دوره چهارم‌اند. قدیمی‌ترین سنگ‌های منطقه (زاهدی و همکاران ۱۳۵۴) شامل سنگ‌های دگرگونی با سن پرکامبرین است (شکل ۳)؛ درحالی‌که در نقشه چادگان سن این سنگ‌ها به قدیمی‌تر از ژوراسیک نمی‌رسد (قاسمی و همکاران ۱۳۸۵). از نظر زمین‌ساختی، محور کلی طاقدیس‌ها و ناودیس‌های موجود در منطقه به تبعیت از روند عمومی زون سندانج- سیرجان دارای راستای شمال غرب به جنوب شرق‌اند. به طور کلی بر اساس شباهت‌های سنگ‌چینه‌ای و رویدادهای زمین‌ساختی این گستره به دو باریک‌رشته شمالی و جنوبی و پهنه مرکزی قابل تقسیم است (زاهدی و همکاران ۱۳۷۰؛ آقائاتی ۱۳۸۵).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان چادگان



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل ۳. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (زاهدی و همکاران ۱۳۵۴ با تغییر)

داده‌ها و روش‌ها

در جریان این پژوهش، در بازدیدهای صحرائی، تعداد ۱۲۸ نمونه از خاک منطقه مورد مطالعه، مناطق مسکونی شهری و روستایی شمال غرب شهرستان چادگان (شکل ۲)، از عمق ۳۰ سانتی متری برداشت شد. نمونه‌ها به شرکت مهندسی زرآما ارسال شد و پس از آماده‌سازی اولیه نمونه‌ها در آزمایشگاه تجزیه شیمیایی ۵۰ عنصری به روش ICP در آزمایشگاه زرآما صورت گرفت و در نهایت بر اساس خصوصیات سنگ‌های منطقه و غلظت عناصر به دست آمده عناصر Zn, Y, Sr, Ba, Cr, Cu, Ni, Mn, Sc انتخاب شدند. در ادامه با توجه به اینکه روش‌های کریجینگ (معمولی، ساده، گسسته) برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک و بالقوه سمی پتانسیل بالایی دارند ابتدا به کمک نرم افزار Arc GIS داده‌ها تحلیل شدند و سپس طبق نمودارهای آماری (هیستوگرام، میانه، میانگین و میزان چولیدگی) بررسی و در ادامه به منظور پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین نقشه هم‌ارزش توزیع فلزات در محدوده مورد مطالعه به وسیله روش

درون‌یابی کریجینگ رسم و به منظور تعیین مقدار آلودگی این فلزات در نرم‌افزار Arc GIS 10.2 v لایه‌های رستری به‌دست‌آمده برای هر عنصر ترسیم شد.

شاخص‌های آلودگی خاک

برای ارزیابی آلودگی خاک شاخص‌ها و روش‌های متفاوتی به کار می‌رود. مهم‌ترین این شاخص‌ها شاخص بار آلودگی^۱، شاخص ضریب غنی‌شدگی^۲، شاخص درجه آلودگی^۳، و شاخص زمین‌انباشت^۴ هستند که در این پژوهش نیز از آن‌ها استفاده شد.

شاخص زمین‌انباشت از فاکتورهای ژئوشیمیایی مهم برای توصیف غلظت فلزات در هر منطقه به شمار می‌آید (مولر^۵ ۱۹۶۹) و آن را می‌توان با رابطه $I_{geo} = \text{Log}_2 \left(\frac{C_n}{1.5 B_n} \right)$ محاسبه کرد. هاکنسون^۶ (۱۹۸۰) بر اساس مجموع داده‌ها شاخص کلی آلودگی را برای ۷ فلز سنگین خاص به کار برد. این روش بر پایه محاسبه یک ضریب آلودگی برای هر آلاینده است. برای محاسبه ضریب آلودگی میانگین حداقل ۵ نمونه خاک سطحی برای ایجاد غلظت متوسط آلاینده به دست می‌آید و سپس عدد محاسبه‌شده با غلظت مرجع اولیه مقایسه می‌شود. ضریب آلودگی بر اساس رابطه $C_f = M_x / M_b$ محاسبه می‌شود که در این رابطه M_x و M_b به ترتیب به میانگین غلظت آلاینده خاک‌های آلوده و رسوبات مرجع بازمی‌گردد. از دیگر پارامترهایی که جهت ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک استفاده می‌شود شاخص بار آلودگی است. این شاخص بر اساس ضریب غلظت هر عنصر در خاک محاسبه می‌شود و با تقسیم غلظت هر عنصر در خاک به غلظت آن در نمونه مرجع (C_f) به دست می‌آید. این شاخص برای مجموعه‌ای از فلزات آلاینده به صورت میانگین هندسی غلظت محاسبه می‌شود. با توجه به مقادیر استاندارد ارائه‌شده توسط تامپلسون^۷ و همکارانش (۱۹۸۰)، در صورتی که غلظت P.L.I به عدد ۱ نزدیک باشد نشان‌دهنده نزدیک بودن غلظت به مقدار زمینه است؛ درحالی‌که P.L.I بالاتر از ۱ آلودگی خاک را نشان می‌دهد (ماپاندا^۸ و همکاران ۲۰۰۷). آلودگی کلی فلزی با استفاده از این شاخص با رابطه ۱ به دست می‌آید (محمد^۹ و همکاران ۲۰۱۰).

$$P.L.I = (C_{f1} \times C_{f2} \times C_{f3} \times \dots \times C_{fn})^{1/n} \quad \text{رابطه ۱}$$

یکی از روش‌های رایج برای ارزیابی آثار انسان‌زاد روی خاک محاسبه ضریب غنی‌شدگی بهنجار شده (EF) برای غلظت‌های بالاتر از حد زمینه فلزات است. جهت محاسبه EF باید مقدار فلز اندازه‌گیری‌شده را با توجه به فلز مرجع نمونه- مانند آهن، اسکاندیم، تیتان، منگنز، آلومینیوم- بهنجار کرد (بینگان^{۱۰} و لینشنگ ۲۰۱۰). در این مطالعه برای ارزیابی اثر انسان‌زاد فلزات سنگین در خاک عنصر اسکاندیم، به دلیل غیر متحرک بودن و مشابهت غلظت این عنصر به غلظت آن در پوسته فوقانی در نمونه‌ها، به عنوان عنصر بهنجارکننده استفاده شد. در این پژوهش میانگین غلظت فلزات

1. Pollution load index
2. Enrichment factor
3. Contamination factor
4. Geoaccumulation index
5. Muller
6. Hakanson
7. Tomlinson
8. Mapanda
9. Mohammad
10. Bingan

در پوسته بالایی زمین به منزله محیط مرجع در محاسبات ضرایب آلودگی به کار برده شد و همچنین برای محاسبه ضریب غنی‌شدگی عناصر خاک از رابطه ۲ استفاده شد (محمد و همکاران ۲۰۱۰).

رابطه ۲

$$EF = \frac{C_n(\text{sample})/C_{ref}(\text{sample})}{B_n(\text{background})/B_{ref}(\text{background})}$$

در رابطه ۲ $C_n(\text{sample})$ غلظت عنصر در نمونه خاک مورد مطالعه و $C_{ref}(\text{sample})$ غلظت عنصر مرجع در نمونه خاک است. $B_n(\text{background})$ و $B_{ref}(\text{background})$ نیز به ترتیب غلظت فلز در نمونه مرجع و غلظت عنصر مرجع (محمد و همکاران ۲۰۱۰) را نشان می‌دهد. بر اساس نظر هرناندز^۱ و همکارانش (۲۰۰۳) مقادیر ضریب غنی‌شدگی بین ۰/۵ تا ۲ اثر زمین‌زاد و مقادیر بیش از ۲ اثر انسان‌زاد در نظر گرفته می‌شوند.

یافته‌ها و نتایج

ارزیابی آلودگی

شاخص زمین‌انباشت: برای ارزیابی آلودگی خاک می‌توان از شاخص‌های بار آلودگی، شاخص ضریب غنی‌شدگی، شاخص درجه آلودگی، و شاخص زمین‌انباشت استفاده کرد که در ادامه به نتایج آن‌ها اشاره می‌شود. در جدول ۱ میانگین نتایج حاصل از تجزیه ICP تعداد ۱۲۸ نمونه خاک مورد بررسی - شامل استرانسیم (Sr)، باریوم (Ba)، کروم (Cr)، نیکل (Ni)، منگنز (Mn)، روی (Zn)، سرب (Pb)، مس (Cu)، ایتیریم (Y)، اسکاندیوم (Sc) - قابل مشاهده است. مقایسه بین غلظت‌های به‌دست‌آمده نشان می‌دهد روند تغییرات فلزات سنگین در خاک به صورت $Ba > Cr > Sr > Mn > Ni > Zn > B > Cu > Y > Pb > Sc$ همان‌طور که مشاهده می‌شود باریوم بالاترین و اسکاندیوم پایین‌ترین غلظت را در نمونه‌های خاک مورد آنالیز دارند.

جهت تعیین و تفسیر میزان آلودگی نمونه‌های خاک مورد مطالعه با توجه به غلظت عناصر از فاکتور غنی‌شدگی، شاخص زمین‌انباشت، و شاخص بار آلودگی استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌انباشت برای نمونه‌های خاک برداشت‌شده از نقاط نمونه‌برداری منطقه چادگان (جدول ۳) نشان می‌دهد میزان میانگین I_{geo} عناصر مختلف بین حداقل ۱/۵- تا حداکثر ۰/۳۴ تغییر می‌کند. همچنین بر اساس تقسیم‌بندی I_{geo} (مولر ۱۹۶۹) میزان شاخص زمین‌انباشت در گروه ۰ و ۱ یعنی محدوده بدون آلودگی تا مقدار کمی آلودگی قرار می‌گیرند (جدول ۲).

جدول ۱. نتایج آنالیز ICP-MS نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه (بر حسب mg/kg)

	Ba	B	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	Sc	Sr	Y	Zn
Mean	320.85	57.06	184.17	44.11	82.91	87/96	27.52	21.04	159.60	34.11	78.95
Minimum	164.00	19.00	79.00	25.00	44.00	25/6	11.00	6.00	58.00	9.00	46.00
Maximum	790.00	140.00	390.00	107.00	209.00	380/0	85.00	90.00	380.00	72.00	157.00

جدول ۲. راهنمای استفاده از شاخص زمین‌انباشت بر اساس طبقه‌بندی مولر (۱۹۶۹)

Igeo Range	Igeo value	Igeo class	Designation of sediment quality
Igeo>5	>5	6	به‌شدت آلوده
3> Igeo <5	4-5	5	آلودگی به‌شدت زیاد
	3-4	4	آلودگی شدید
1< Igeo <3	2-3	3	آلودگی متوسط تا شدید
	1-2	2	آلودگی متوسط
Igeo <1	0-1	1	غیرآلوده تا آلودگی متوسط
	0	0	غیرآلوده

جدول ۳. نتایج میانگین شاخص زمین‌انباشت (Igeo) در خاک منطقه مورد مطالعه

	Ba	B	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	Sc	Sr	Y	Zn
Mean	-1.50	-1.48	0.34	-0.69	0.05	-12/91	-0.2	-0.07	-0.75	-0.34	-0.88
Minimum	-2.41	-2.98	-0.77	-1.43	-0.77	-15/56	-1.45	-1.70	-2.14	-2.12	-1.63
Maximum	-0.14	-0.10	1.53	0.66	1.48	-11/56	1.50	2.21	0.58	0.88	0.14

شاخص ضریب آلودگی (C_f): آنالیز شاخص ضریب آلودگی، که یکی دیگر از معیارهای اندازه‌گیری آلودگی است، در جدول ۵ آورده شده است. باریم، بور، ایتیریم، استرانسیم، و اسکاندیوم در همه نقاط نمونه‌برداری دارای آلودگی کم و شاخص آلودگی آن‌ها کمتر از ۲ است. عنصر روی در نقطه ۱۲۱ دارای غنی‌شدگی بسیار ضعیف، عنصر سرب در نقاط نمونه‌برداری ۱۱۶ تا ۱۲۰، ۱۰۸ تا ۱۱۴، ۹۵ تا ۱۰۲، ۱۲۱ تا ۱۲۸ و نیز نقاط نمونه‌برداری ۱، ۱۰۵، ۲۱، و ۷ دارای غنی‌شدگی متوسط و در بقیه نقاط دارای غنی‌شدگی ضعیف و همچنین عنصر نیکل در نقاط نمونه‌برداری ۱۲۲ تا ۱۲۰، ۱۱۲ تا ۱۰۸، ۱۲۸، ۱۱۵، ۹۹، ۱۰۵، ۹۸، و ۹۲ دارای غنی‌شدگی متوسط است و در بقیه نقاط غنی‌شدگی ضعیف دارد. عنصر مس در نقاط نمونه‌برداری ۱۱۱ تا ۱۰۸ و ۹۹ دارای غنی‌شدگی متوسط است و در بقیه نقاط غنی‌شدگی ضعیف دارد. عنصر کروم در نقاط نمونه‌برداری ۱۱۹ تا ۱۱۴، ۱۱۲ تا ۱۰۹، ۱۰۵ تا ۹۶، و ۱۲۱ تا ۱۲۷ دارای آلودگی متوسط است و در بقیه نقاط عنصر منگنز غنی‌شدگی ضعیف دارد. واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در این بخش از منطقه نمونه‌برداری شده از نظر سن زمین‌شناسی در بازه تریاس تا کواترنری قرار می‌گیرد. واحدهای تریاس شامل واحدهایی از جنس شیل‌های به رنگ سبز- خاکستری، ماسه‌سنگ، و سنگ‌های کربناته از جنس آهک و دولومیت‌اند. نهشته‌های متعلق به دوره تریاس بیشتر در بخش شمالی و خاوری این قسمت از برگه رخنمون دارند. این توالی سنگی درجه ضعیفی از دگرگونی را نیز تحمل کرده است. سنگ‌های دوره ژوراسیک از واحدهای دگرگون‌شده از جمله فیلیت و شیل‌های فیلیتی خاکستری با درون‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ دگرگون‌شده تشکیل شده است. واحدهای سنگی کرتاسه جزء مهم‌ترین واحدهای سنگی این بخش به شمار می‌روند که به صورت پراکنده در سراسر برگه چادگان قابل مشاهده‌اند. نهشته‌های دوره کرتاسه عمدتاً شامل آهک دولومیتی و دولومیت آهکی خاکستری همراه فسیل اوربیتولین، آهک‌های ماسه‌ای اوربیتولین‌دار با آثار اکسیدهای آهن و پدیده دولومیتی شدن، ماسه‌سنگ‌های آهکی و آهک‌های ماسه‌ای قرمز، و ... هستند. توالی کربناته کرتاسه پایینی از نظر رخداد کانه‌زایی سرب و روی اهمیت زیادی دارند. در برخی از این توالی‌ها،

نشانه‌هایی از کانه‌زایی رگه‌ای سرب به صورت کانی گالن همراه آثاری از کانه‌زایی مس گزارش شده است. کانسارهای سرب گنهران، دره‌بید، و عسگران از رخدادهای مهم معدنی سرب و روی در این بخش از پهنه‌اند. با توجه به گسترش توالی کربناته کرتاسه پایینی در این منطقه رخداد کانه‌زایی سرب و روی اهمیت زیادی دارند. از دگرسانی‌های مهم این تیپ کانه‌زایی می‌توان به پدیده دولومیتی شدن و حضور اکسیدهای آهن اشاره کرد. عنصر کروم نیز در پوسته زمین به صورت ترکیب شیمیایی یافت می‌شود. به همین دلیل تفاوت شاخص‌های آلودگی با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه در نقاط نمونه‌برداری مختلف به علت آلودگی بسیار کم و متوسط است که می‌تواند منشأ زمین‌زاد داشته باشد.

جدول ۴. رده‌بندی مقادیر ضریب آلودگی (CF) بر اساس طبقه‌بندی هاکنسون

رده	محدوده آلودگی	ضریب آلودگی CF
1	$1 > CF$	آلودگی پایین
2	$1 < CF < 3$	آلودگی متوسط
3	$3 < CF < 6$	آلودگی قابل توجه
4	$6 < CF$	آلودگی بسیار بالا

جدول ۵. نتایج میانگین ضریب آلودگی (CF) در منطقه مورد مطالعه

	Ba	B	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	Sc	Sr	Y	Zn
Mean	0.55	0.57	2.04	0.98	1.65	0/21	1.37	1.61	0.93	1.31	0.83
Minimum	0.28	0.19	0.88	0.56	0.88	0/09	0.55	0.46	0.34	0.35	0.48
Maximum	1.36	1.40	4.33	2.38	4.18	1/01	4.25	6.92	2.24	2.77	1.65

شاخص بار آلودگی (P.L.I): شاخص بار آلودگی از دیگر پارامترها جهت ارزیابی و تخمین شدت آلودگی خاک

است. نتایج محاسبه شاخص بار آلودگی خاک محدوده مورد بررسی در جدول ۷ ارائه شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه شاخص بار آلودگی، خاک محدوده مورد بررسی فاقد آلودگی است.

جدول ۶. رده‌بندی شاخص بار آلودگی PLI

محدوده	$1 > PLI$	$1 = PLI$	$1 < PLI$
کیفیت خاک	مناسب	آلودگی نزدیک به زمینه	نامناسب

جدول ۷. شاخص بار آلودگی (P.L.I) خاک منطقه مورد مطالعه

PLI _{Ba}	PLI _B	PLI _{Mn}	PLI _{Cr}	PLI _{Cu}	PLI _{Ni}	PLI _{Pb}	PLI _{Sc}	PLI _{Sr}	PLI _Y	PLI _{Zn}
0/53	0/34	0/01	0/25	0/71	0/24	0/27	0/13	0/22	0/12	0/46

ضریب غنی‌شدگی (EF): ضریب غنی‌شدگی برای ارزیابی آثار انسان‌زاد روی خاک محاسبه ضریب غنی‌شدگی برای

غلظت‌های بالاتر از حد زمینه فلزات است. نتایج حاصل از محاسبه EF فلزات سنگین نمونه‌های خاک مورد بررسی (جدول ۸) نشان می‌دهد مقدار متوسط EF برای عناصر باریوم، منگنز، بور، استرانسیم، اسکاندیوم، و ایتیریم کوچک‌تر از ۲ است که

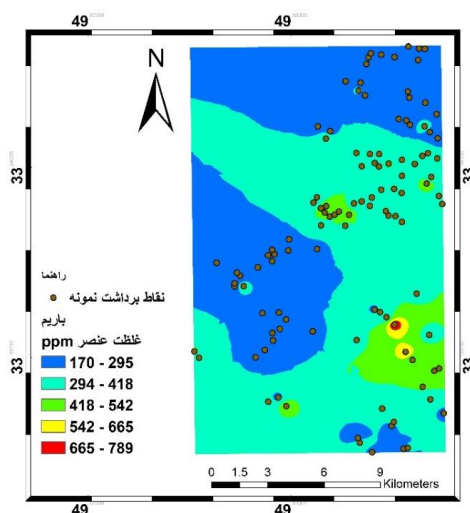
این موضوع بیانگر آن است که در محدوده مورد بررسی غنی‌شدگی از این فلزات مشاهده نمی‌شود. اما شاخص غنی‌شدگی محاسبه‌شده برای کروم در نقاط ۱۲۲ تا ۱۰۹، ۱۰۰ تا ۹۶، ۱۰۵، ۱۲۷، ۲۷، ۲، برای مس در نقاط ۱۱۱ تا ۱۰۸، ۹۹، ۹۷، برای نیکل در نقاط ۱۲۷ تا ۱۲۰، ۱۱۲ تا ۱۰۸، ۹۹، ۹۸، ۹۲، ۱۱۶، ۱۱۵ و برای سرب در نقاط ۱۰۸ تا ۱۲۲، ۹۲ تا ۱۰۲، ۱۰۵ و ۷، برای روی در نقطه ۱۲۲ بین ۲ تا ۵ است که نشان‌دهنده غنی‌شدگی متوسط نمونه‌ها نسبت به این فلزات است که بر اساس نظر هرناندز و همکارانش (۲۰۰۳) این غنی‌شدگی را می‌توان آلودگی با منشأ زمین‌زاد تلقی کرد.

جدول ۸. نتایج فاکتور غنی‌شدگی (EF) خاک منطقه مورد مطالعه

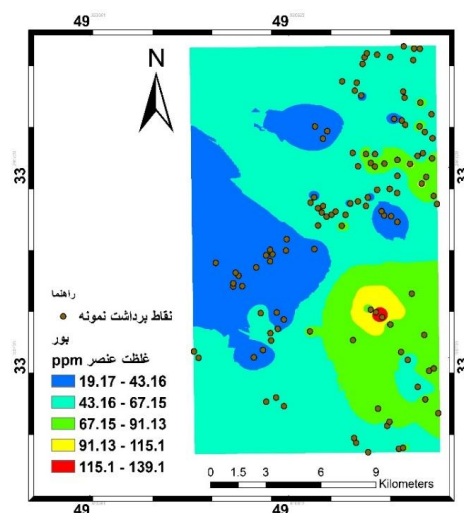
	Ba	B	Cr	Cu	Ni	Mn	Pb	Sc	Sr	Y	Zn
Mean	0.42	0.45	1.50	0.76	1.23	0/82	0.71	1.18	1.00	0.87	0.67
Minimum	0.08	0.04	0.13	0.11	0.19	0/9	0.05	0.17	1.00	0.09	0.15
Maximum	1.06	1.32	4.10	3.43	3.16	3/63	1.97	4.46	1.00	1.87	2.29

توزیع مکانی آلودگی

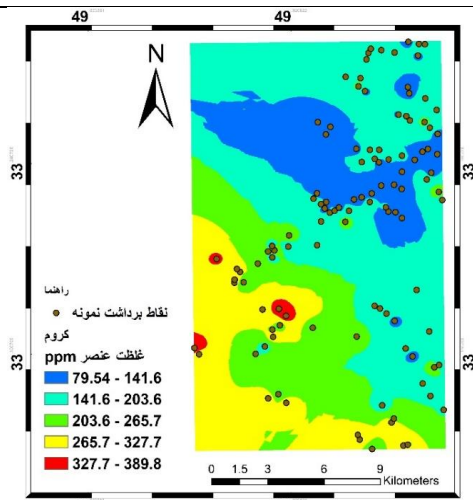
پهنه‌بندی آلودگی فلزات سنگین: از آنجا که روش‌های کریجینگ پتانسیل بالایی برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک دارند روش‌هایی مناسب برای درون‌یابی و تهیه نقشه آلاینده‌ها به شمار رفته‌اند (وبستر^۱ و بورگس^{۲۰۰۲}). به منظور تعیین توزیع مکانی غلظت فلزات سنگین در محدوده مورد مطالعه از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. نتایج در شکل‌های ۴ تا ۱۴ نشان داده شده است. این اشکال نشان می‌دهند عناصر کروم، نیکل، مس، و استرانسیم در جنوب غرب نقشه‌های پهنه‌بندی بیشترین مقدار و عناصر بور، باریم، و ایتیریم در جنوب شرق این نقشه‌ها غلظت بالایی را نشان می‌دهند که این رابطه بین عناصر می‌تواند بیانگر همبستگی بین آن‌ها باشد. دیگر عناصر شامل سرب و اسکاندیم و روی غلظت چشمگیری نداشتند.



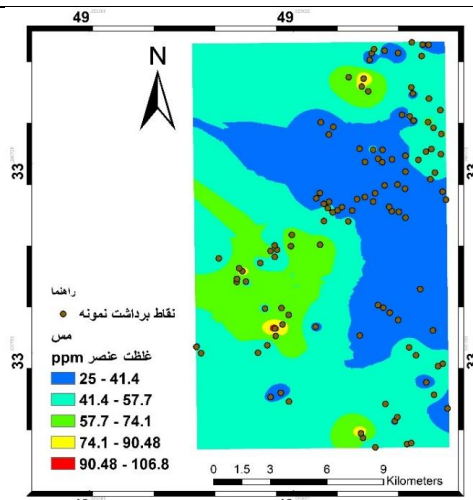
شکل ۵. توزیع مکانی غلظت فلز باریم



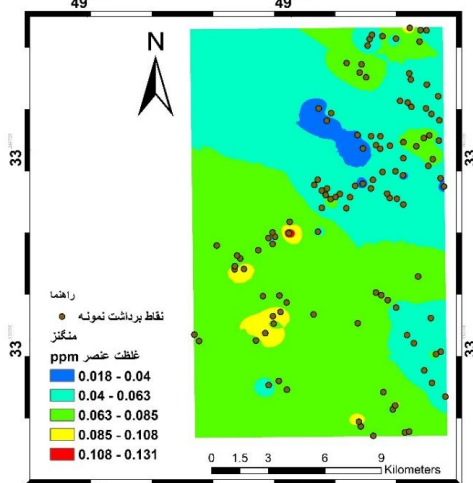
شکل ۴. توزیع مکانی غلظت فلز بور



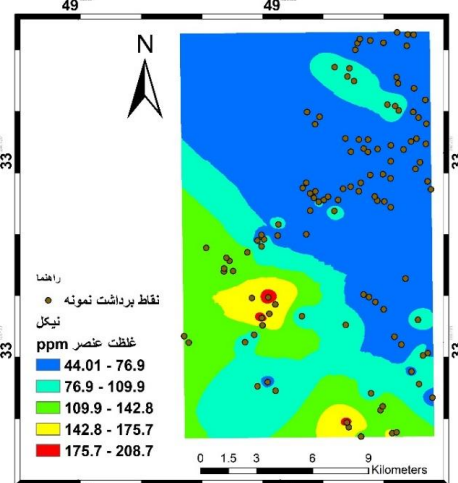
شکل ۷. توزیع مکانی غلظت فلز کروم



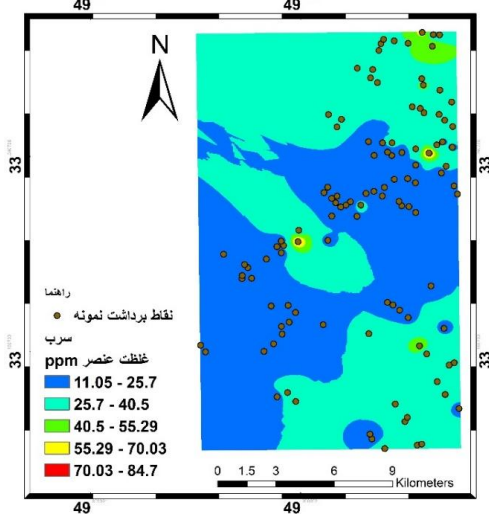
شکل ۶. توزیع مکانی غلظت فلز مس



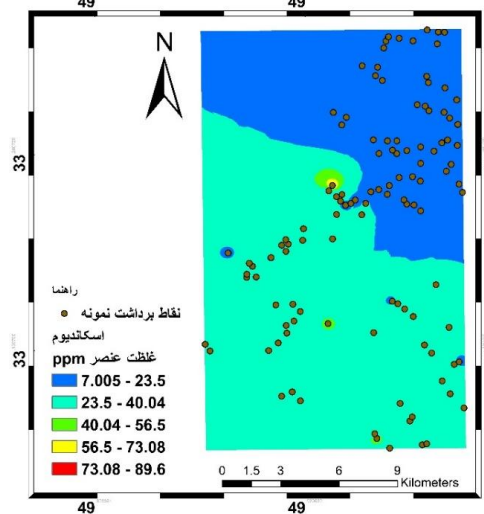
شکل ۹. توزیع مکانی غلظت فلز منگنز



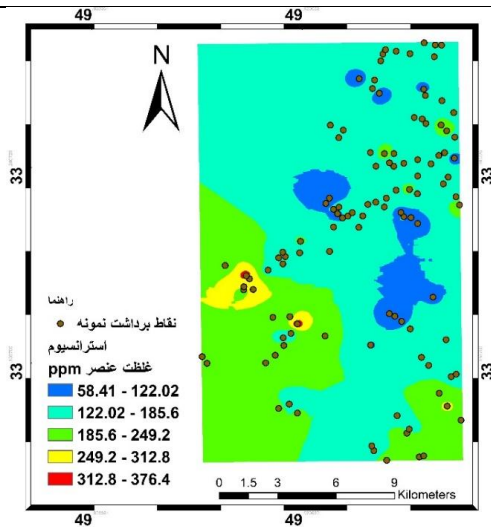
شکل ۸. توزیع مکانی غلظت فلز نیکل



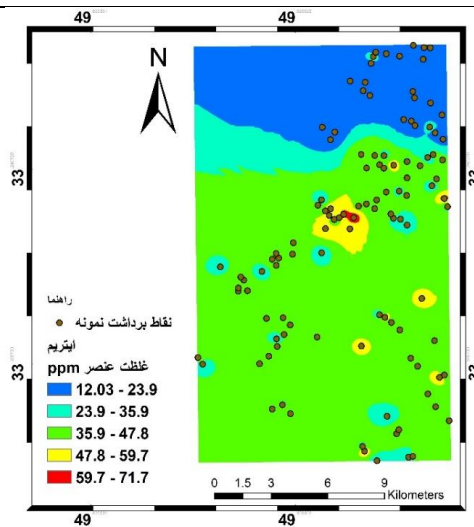
شکل ۱۱. توزیع مکانی غلظت فلز سرب



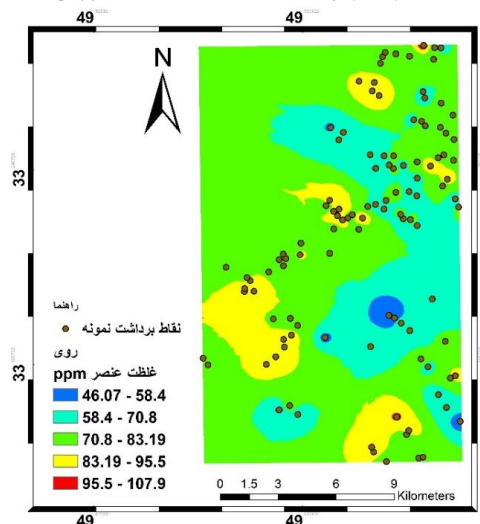
شکل ۱۰. توزیع مکانی غلظت فلز اسکاندیوم



شکل ۱۳. توزیع مکانی غلظت فلز استرانسیوم



شکل ۱۲. توزیع مکانی غلظت فلز یدتریوم



شکل ۱۴. توزیع مکانی غلظت فلز روی

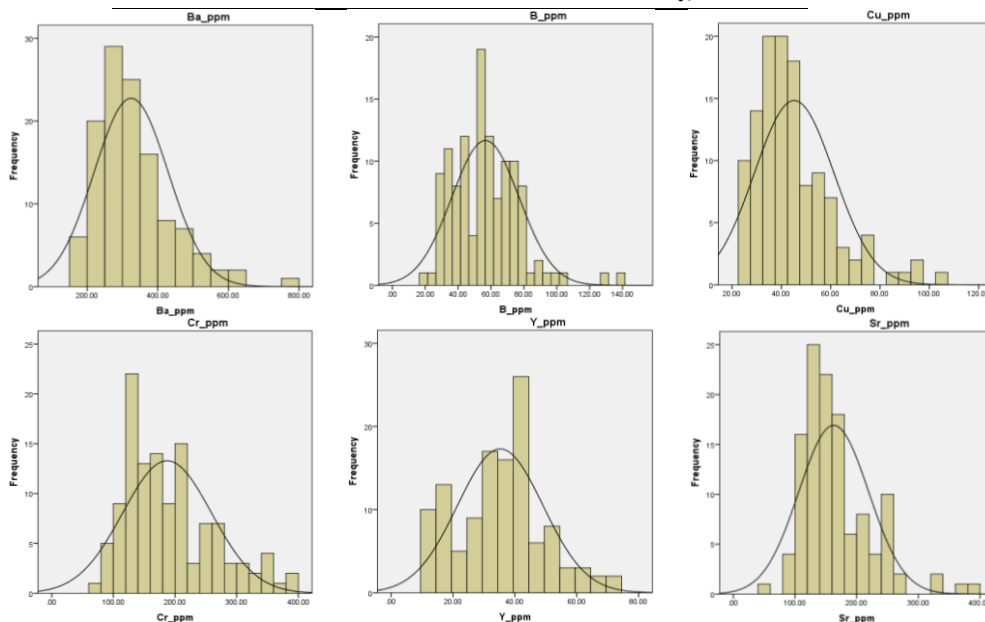
آنالیزهای آماری

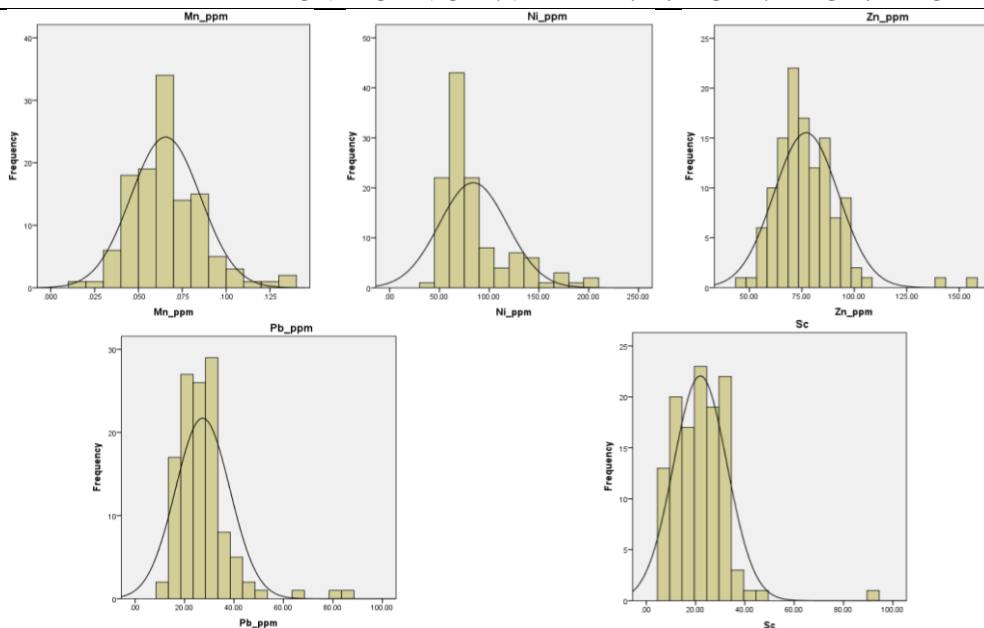
پس از انجام دادن آنالیزهای شیمیایی و به منظور بررسی نحوه رابطه عناصر با یکدیگر و نیز تعیین منشأ آن‌ها نتایج به دست آمده به کمک نرم‌افزار SPSS جهت آنالیزهای آماری بررسی شدند. جهت تعیین توزیع آماری غلظت عناصر سنگین در خاک منطقه نمودار هیستوگرام این عناصر ترسیم شد. نتایج در شکل ۱۵ ارائه شده است. طبق اشکال هیستوگرام و نتایج جدول ۹ بور دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۱/۳) و کشیدگی مثبت (۲/۶) است. باریم دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۱/۰۱) و کشیدگی مثبت (۲/۲) است. کروم دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۰/۱۷) و کشیدگی مثبت (۰/۸) است. مس دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۱/۴) و کشیدگی مثبت (۲/۳) است. منگنز دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۰/۸) و کشیدگی مثبت (۱/۵) است. نیکل دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۱/۶) و کشیدگی مثبت (۲/۲) است. سرب دارای توزیع نامتقارن و

چولگی به سمت راست (۲/۵) و کشیدگی مثبت (۱۰) است. اسکاندیوم دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۲/۱) و کشیدگی مثبت (۱۱/۷) است. استرانسیوم دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۱/۳) و کشیدگی مثبت (۲/۵) است. ایتریوم دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت چپ (۰/۱۹) و کشیدگی منفی (۰/۲-) است. روی دارای توزیع نامتقارن و چولگی به سمت راست (۱/۸) و کشیدگی مثبت (۷/۳) است. همان گونه که ملاحظه می شود همه عناصر در خاک منطقه مورد مطالعه توزیع نامتقارن دارند و جز عنصر ایتریوم که دارای کشیدگی منفی است سایر عناصر چولگی به راست و کشیدگی مثبت دارند که نشان می دهد حجم بالایی از عناصر دارای مقادیر پایین هستند و تعداد کمی از عناصر روی، سرب، نیکل، مس، اسکاندیوم غلظت متوسط دارند و با توجه به توضیحات بخش ضریب آلودگی و ویژگی های زمین شناسی و سنگ شناسی خاک منطقه مورد مطالعه این غلظت ها دارای منشأ زمین زائدند.

جدول ۹. مقادیر چولگی و کشیدگی عناصر مورد مطالعه

عناصر	چولگی	کشیدگی
باریم	1.3	2.6
بور	1.01	2.2
کروم	0.8	0.17
مس	1.4	2.3
منگنز	0.8	1.5
نیکل	1.6	2.2
سرب	2.5	10
اسکاندیوم	2.1	11.7
استرانسیوم	1.3	2.5
ایتریوم	0.19	-0.2
روی	1.8	7.3





شکل ۱۵. هیستوگرام توزیع عناصر در خاک محدوده مورد مطالعه

تعیین ضرایب همبستگی بین عناصر: نتایج مربوط به ضریب همبستگی فلزات سنگین در خاک منطقه مورد مطالعه در جدول ۱۰ ارائه شده است. نتایج ضریب همبستگی پیرسون نشان‌دهنده همبستگی باریم با ایتیریم (۰/۵۰)، مس با کروم (۰/۳۳)، کروم و نیکل (۰/۷۱)، کروم با استرانسیم (۰/۶۰)، مس با نیکل (۰/۵۶)، اسکاندیوم با ایتیریم (۰/۵۱)، منگنز و روی (۰/۶۵)، منگنز و نیکل (۰/۴۵)، نیکل و اسکاندیوم (۰/۳۸) است. با توجه به منشأ زمین‌شناسی و ویژگی‌های سنگ‌شناسی، منطقه مورد نظر از واحدهای کربناته و دولومیتی تشکیل شده است که این منطقه برای کانه‌زایی سرب و روی مناسب است. همچنین با توجه به نقشه سنگ‌شناسی که در شکل ۳ آورده شده خصوصیات سنگ‌شناسی منطقه حاکی از حضور سنگ‌های دگرگونی و شیست و سنگ آهک است. این همبستگی‌ها می‌تواند بر منشأ زمین‌شناسی یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی عناصر نسبت به هم دلالت داشته باشد. همچنین جنس خاک منطقه و جذب عناصر توسط اکسیدها و هیدرواکسیدها و حضور عناصر در ساختار کانی‌ها می‌تواند موجب این همبستگی شده باشد. سایر عناصر همبستگی ضعیف یا معکوسی را نشان می‌دهند.

جدول ۱۰. ضریب همبستگی پیرسون فلزات مورد مطالعه

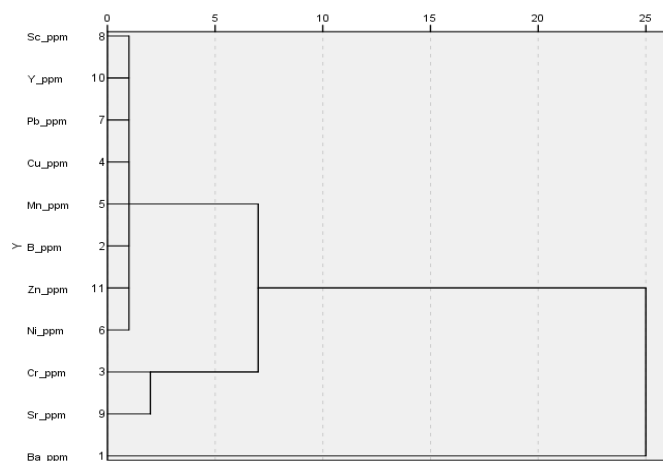
	Ba_ppm	B_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Mn_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Sc_ppm	Sr_ppm	Y_ppm	Zn_ppm
Ba_ppm	1										
B_ppm	0.40	1									
Cr_ppm	-0.11	-0.04	1								
Cu_ppm	-0.265	-0.21	0.33	1							

	Ba_ppm	B_ppm	Cr_ppm	Cu_ppm	Mn_ppm	Ni_ppm	Pb_ppm	Sc_ppm	Sr_ppm	Y_ppm	Zn_ppm
Mn_ppm	-0.09	0.10	0.22	0.43	1						
Ni_ppm	-0.19	-0.23	0.71	0.56	0.45	1					
Pb_ppm	-0.13	0.19	-0.17	0.11	0.34	-0.17	1				
Sc_ppm	0.18	-0.19	0.39	0.21	0.20	0.38	-0.21	1			
Sr_ppm	-0.08	-0.20	0.60	0.18	-0.04	0.41	-0.15	0.20	1		
Y_ppm	0.50	0.20	0.22	-0.06	-0.04	0.07	-0.29	0.51	0.12	1	
Zn_ppm	0.14	0.02	-0.07	0.33	0.65	0.24	0.29	0.05	-0.18	-0.06	1

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

تحلیل خوشه‌ای: هدف اصلی از تجزیه و تحلیل نمودارهای خوشه‌ای دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هر چه مناسب‌تر متغیرها یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف بیشتر بین گروهی است. آن گونه که در نمودار دندوگرام (شکل ۱۶) مشخص است خوشه اول شامل Ni, Zn, B, Cu, Y, Sc, Pb است که از بین آن‌ها Cu, Ni, Zn, B با Cr, Sr ارتباط دارند. همچنین ارتباط Ni, Zn, B, Cu, Sr, Cr با Ba را نشان می‌دهد. قرار گرفتن عناصر کروم، منگنز، نیکل، مس، روی در یک خوشه و ارتباط با استرانسیم و باریوم و دلیل این ارتباط و همبستگی ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی و جنس خاک منطقه است که نشان‌دهنده منشأ یکسان این عناصر است.



شکل ۱۶. نمودار خوشه‌ای عناصر مورد مطالعه

نتیجه

با هدف بررسی و اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین و عناصر سمی بالقوه، نمونه‌هایی از خاک منطقه چادگان بررسی شد تا ضمن دستیابی به میزان غلظت این فلزات مناطق پرخطر و آلوده مشخص شود. نتایج حاصل از محاسبه شاخص

زمین‌انباشت برای نمونه‌های خاک برداشت‌شده از نقاط نمونه‌برداری مختلف نشان می‌دهد میزان Igeo همه عناصر کمتر از ۱ یا کمتر از ۰ است. بنابراین دارای آلودگی کم یا غیرآلوده هستند. نتایج آنالیز ضریب آلودگی نشان می‌دهد در همه نقاط نمونه‌برداری شده میزان آلودگی کم و خاک غیرآلوده است؛ به استثنای چند نقطه که به لحاظ مس و کروم دارای آلودگی کم و متوسط‌اند. به لحاظ شاخص بار آلودگی و با توجه به مقادیر استاندارد P.L.I خاک محدوده مورد بررسی فاقد آلودگی است. نتایج حاصل از محاسبه ضریب غنی‌شدگی نمونه‌های خاک مورد بررسی نشان می‌دهد غیر از عناصر کروم، مس، نیکل، سرب، روی که دارای غنی‌شدگی متوسط‌اند و منشأ آن را می‌توان آلودگی با منشأ زمین‌زاد در نظر گرفت مابقی عناصر دارای غنی‌شدگی کم و غیرآلوده‌اند. نقشه پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در خاک محدوده بیانگر آن است که عناصر نیکل، منگنز، مس، و استرانسیم در جنوب غرب منطقه و بور، باریم، و ایتیریم در جنوب شرق منطقه دارای غلظت متوسط تا کم و مابقی عناصر دارای غلظت بسیار کم‌اند. دلایل این آلودگی ناشی از ویژگی‌های سنگ‌شناسی و زمین‌شناسی و جنس خاک دانسته شد که منشأ زمین‌زاد تلقی می‌شود. با توجه به نمودارهای هیستوگرام عناصر بور، کروم، نیکل، سرب، استرانسیم، و ایتیریم دارای توزیع متقارن و عناصر باریم، مس، و اسکاندیوم دارای توزیع نامتقارن و چولگی مثبت‌اند. نتایج حاصل از ضریب همبستگی پیرسون نشان‌دهنده همبستگی بالای باریم با ایتیریم، مس و نیکل، کروم و نیکل با استرانسیم، مس با نیکل، و اسکاندیم با ایتیریم بود که بر منشأ یکسان آن‌ها یا رفتار مشابه ژئوشیمیایی این عناصر نسبت به هم دلالت دارد. همچنین نمودار خوشه‌ای و هم‌خوشه شدن عناصر کروم، منگنز، نیکل، مس، روی و ارتباط با استرانسیم و باریم به جنس خاک منطقه مربوط می‌شود که نشان‌دهنده منشأ یکسان این عناصر است.

منابع

- اسماعیل ساری، ع. (۱۳۸۱). آلاینده‌های بهداشت و استاندارد در محیط زیست، تهران، نقش مهر.
- آقانباتی، س. ا. (۱۳۸۵). زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امیری، م.؛ ساریخانی، ر.؛ قاسمی دهنوی، آ.؛ مرادپور، ع. (۱۳۹۵). «ارزیابی آلودگی و توزیع فلزات سنگین با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و تحلیل‌های آماری در خاک‌های محدوده پالایشگاه کرمانشاه»، *کواترنری ایران*، ۲ (۳)، صص. ۲۵۷ - ۲۶۹.
- زاهدی، م. (۱۳۵۴). نقشه زمین‌شناسی نجف‌آباد، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- _____ (۱۳۷۰). نقشه زمین‌شناسی نجف‌آباد، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- غضبان، ف. (۱۳۸۱). *زمین‌شناسی زیست‌محیطی*، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- قاسمی، ع.؛ حاجی‌حسینی، ا.؛ حسینی، م. (۱۳۸۵). نقشه زمین‌شناسی چادگان، مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ملک‌زاده، ز. (۱۳۹۱) «توزیع مکانی سرب، کادمیم و نیکل در خاک‌های محدوده بختیاردشت اصفهان»، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان.

Aghanabati, A. (2006). The Geology of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, 586 p (in Persian).

Amiri, M., Sarikhani, R., Ghasem, D. A., & Moradpour, A. (2016). "The Assessment of

- Pollution and Distribution of Heavy Metals applying Geochemical Data and Statistical Analysis in Soils surrounded Kermanshah Refinery”, *Quaternary Journal of Iran*, Vol. 2, No. 3, pp. 257-269 (in Persian).
- Bacci, E. (1994). “Ecotoxicology of Organic pollutants. Boca Raton”, FL: Lewis.
- Chen, X., Xia, X., Wu, S., Wang, F., & Guo, X. (2010). “Mercury in urban soils with various types of land use in Beijing, China”, *Environ. Pollu*, Vol. 158, No. 1, pp. 48-54.
- Csavina, J., Field, J. T., Mark, P., Gao, S., Landazuri, A., Betterton, E. A., & Sáez, A. E. (2012). “A review on the importance of metals and metalloids in atmospheric dust and aerosol from mining operations”, *Sci.Total Environ.*, Vol. 433, pp. 58–73.
- Dang, Z., Liu, C., & Haigh, M. J. (2002). “Mobility of heavy metals associated with the natural weathering of coal mine spoils”, *Environ Pollut*, Vol. 118, pp. 419-426.
- Esmailsari, A. (2002). Pollution health and environmental standards (in Persian).
- Ghazban, F. (2002). *Environmental Geology* (1st ed.), Tehran, Tehran University Press (in Persian).
- Ghassemi, A., Hajhosseini, E., & Hosseini, M. (1975). Explanatory text of the Chadegan map, 1:100,000, No. Cs. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Hakanson, L. (1980). “An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach”, *Water res*, Vol. 14, No. 8, pp. 975-1001.
- Hernandez, L., Probst, A., Probst, J.L., & Ulrich, E. (2003). “Heavy metal distribution in some French forest soil: evidence for atmospheric contamination”, *The Science of the Total Environ*, Vol. 312, No. 195-219.
- Kabata-Pendias, A. (2001). “Trace metals in soils-a current issue in Poland”, *Acta Universitatis Wratislaviensis, Prace Botaniczne*, Vol. 79, pp. 13-20.
- Krishna, A. K. & Govil, P. K. (2007). “Soil contamination due to heavy metals from an industrial area of surat, Gujarat, Western India”, *Environ Moni Assess*, Vol. 124, pp. 263-275.
- Lasat, M. M. (2002). “Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms”, *Journal of environ quality*, Vol. 31, No. 1, pp. 109-120.
- Mapanda, F., Mangwayana, E. N., Nyamangara, J., & Giller, K. E. (2007). “Uptake of heavy metals by vegetables irrigated using wastewater and the subsequent risks in Harare, Zimbabwe”, *Phy. Chem. Earth*, Vol. 32, pp. 1399–1405.
- Malekzadeh, Z. (2012). “Spatial Distribution of Lead, Cadmium and Nickel in Soils of Bakhtyardasht Region of Isfahan”, *Msc Thesis, Isfahan University of Technology* (in Persian).
- Mohammad, A. H., Bhuiyana Lutfar Parvezb, M. A., Islamc Samuel, B., Dampare, & Shigeyuki, S. (2010). “Heavy metal pollution of coal mine-affected agricultural soils in thenorthern part of Bangladesh”, *J. Hazard. Mater.*, Vol. 173(1-3), pp. 384–392.
- Muller, G. (1969). “Index of Geo-accumulation. in sediments of the Rhine River”, *Geojournal*, Vol. 2, No. 3, pp. 108-118.
- Parizanganeh, A. H., Bijnavand, V., Zamani, A. A., & Hajabolfath, A. (2012). “Concentration, Distribution and Comparison of Total and Bioavailable Heavy Metals in Top Soils of Bonab District in Zanjan Province”, *Open Journal of Soil Science*, Vol. 2, pp. 123-132.
- Ping, L. F., Luo, Y. M., Zhang, H. B., Li, Q. B., & Wu, L. H. (2007). “Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in thirty typical soil profiles in the Yangtze River Delta region, east China”, *Environmental Pollution*, 147.
- Sun, Y., Zhou, Q., Xie, X., & Liu, R. (2010). “Spatial, sources and risk assessment of heavy

- metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China”, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 174, No. 1, pp. 455-62.
- Tomlinson, D. L., Wilson, J. G., Harris, C. R., & Jeffrey, D. W. (1980). “Problems in the assessment of heavy-metal levels in estuaries and the formation of a pollution index”, Vol. 33, No. 1, pp. 566-575.
- Webster, R. & Burges, T. M. (2002). “Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties IIIchanging drift and universal kriging”, *J. Soil Sci.*, Vol. 31, pp. 505-524.
- Zahedi, M. (1975). Explanatory text of the Najafabad map, 1:100,000, No, Cs. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Zahedi, M. (1991). “Explanatory text of the Najafabad map”, 1:100,000, No, Cs. Geological Survey of Iran, Tehran (in Persian).