



توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در کاربری‌های کشاورزی و مرتع (مطالعه موردی: شهر صنعتی شازند اراک)

لیلا زارعی^۱، سهیلا سادات هاشمی^{۲*}، مهدی نجفی قیری^۳

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۲ / پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

چکیده

خاک محیط طبیعی برای رشد گیاهان است و به دلیل اهمیت آن، بررسی توزیع عناصر سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است. این مطالعه باهدف بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از شهرستان شازند صورت گرفت. ۷۶ نمونه خاک‌های سطحی از عمق ۰-۳۰ سانتی متری از منطقه مطالعاتی به صورت تصادفی جمع‌آوری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و مقدار کل عناصر سرب، کادمیم، نیکل، روی و مس در آنها تعیین شد.

میانگین غلظت سرب، روی، مس، کادمیم و نیکل به ترتیب برابر ۳۱/۲۰، ۵۴/۱۲، ۲۳/۱۱، ۲/۰۵ و ۵۹/۳۶ میلی گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عناصر نیکل با مس ($p < ۰/۰۱$)، $r = ۰/۴۱$ و روی ($p < ۰/۰۱$)، $r = ۰/۵$ مشخص شد. همچنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار مس با روی ($p < ۰/۰۱$)، $r = ۰/۴$ مشاهده شد. تغییرنمای همه جهت‌ها عناصر مورد مطالعه ترسیم گردید و سپس الگوی مناسب برآن برازش داده شد. نتایج تجزیه‌های زمین‌آمار نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برازش داده‌شده برای غلظت عناصر مورد مطالعه است. در نهایت به‌وسیله روش کریجینگ معمولی نقشه پراکنش مکانی عناصر مورد مطالعه ترسیم گردید. همبستگی مکانی قوی (نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه کمتر از ۰/۲۵) برای عنصر سرب بدست آمد. براساس حد استاندارد، سرب و کادمیم بیشترین آلودگی را به ترتیب در کاربری مرتع و کشاورزی در منطقه نشان دادند. توصیه می‌شود جهت افزایش کیفیت خاک و کاهش دادن تخریب آن از آلاینده‌ها، عملیات حفاظتی مناسب بکار برده شود.

لیلا زارعی^۱، سهیلا سادات هاشمی^{۲*} (✉)، مهدی نجفی قیری^۳

۱. کارشناسی ارشد علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران

۳. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران

DOI: 10.30495/girs.2023.689614

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: hashemy558@yahoo.com

طرح مسئله: خاک محیط طبیعی برای رشد گیاهان است و به دلیل اهمیت آن، بررسی توزیع عناصر سنگین جهت پایش آلودگی خاک و حفظ کیفیت محیط زیست ضروری است. به دلیل وسعت مناطق آلوده و در نتیجه مشکلات جمع‌آوری نمونه‌های خاک، استفاده از روش‌های زمین آمار بسیار مفید می‌باشد. کریجینگ یکی از روش‌های زمین‌آمار است که برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک دارای پتانسیل بالایی است. درکنار زمین‌آمار، پراکنش مکانی آلودگی فلزات سنگین را می‌توان براساس تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به نمایش گذاشت. با توجه به میزان افزایش آلاینده‌ها در اطراف مراکز صنعتی و گسترش آنها به سمت اراضی کشاورزی و مراتع، سعی شد منطقه‌ای انتخاب گردد که در کنار صنعتی بودن، کاربری اثرگذار در جامعه حیوانی و انسانی نیز مورد توجه باشد.

هدف: لذا این مطالعه با هدف بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از شهرستان شازند صورت گرفت. تا بتوان به کمک آن منابع آلوده‌کننده خاک را پیش‌بینی نمود.

روش تحقیق: منطقه شازند از نظر کاربری شامل بخش کشاورزی (آبی و دیم)، مرتع، شهرک صنعتی شازند و مناطق شهری است. ۷۶ نمونه خاک‌های سطحی از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری از منطقه مطالعاتی به صورت تصادفی جمع‌آوری شد. پس از آماده‌سازی نمونه‌ها برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها و مقدار کل عناصر سرب، کادمیم، نیکل، روی و مس در آنها تعیین شد. به منظور توصیف نتایج آزمایشات و به‌دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار Spss.19 استفاده گردید. ناهمسانگردی داده‌ها توسط تغییرنمای سطحی بررسی و پس از تعیین درجه ناهمسانگردی، تغییرنمای همه جهته برای عناصر مورد مطالعه، ترسیم شد. پس از تعیین بهترین مدل، نقشه درونیابی با کمک کریجینگ و نقشه واریانس تخمین، توسط نرم افزار ArcGIS برای هر عنصر ترسیم شد.

نتایج و بحث: میانگین غلظت سرب، روی، مس، کادمیم و نیکل به ترتیب برابر ۳۱/۲۰، ۵۴/۱۲، ۲۳/۱۱، ۲/۰۵ و ۵۹/۳۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم محاسبه شد. عنصر نیکل همبستگی معنی‌دار با pH ، CEC، درصد سیلت و شن ($p < 0.05$)، و عنصر مس همبستگی معنی‌دار با آهنک، و عنصر روی همبستگی معنی‌دار با CEC، کربن آلی، آهنک،

درصد سیلت و شن نشان دادند. عنصر سرب فقط همبستگی منفی معنی‌دار با pH ($p < 0.01$) داشت. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین عناصر نیکل با مس ($p < 0.01$ ، $r = 0.41$) و روی ($p < 0.01$ ، $r = 0.5$) مشخص شد. هم‌چنین همبستگی مثبت و معنی‌داری بین مقدار مس با روی ($p < 0.01$ ، $r = 0.4$) بدست آمد. تغییرنماهای سطحی عناصر سنگین مورد بررسی، انجام شد و با توجه به تقارن تغییرنماهای سطحی، توزیع متغیرهای روی، سرب، کادمیم و مس در منطقه همسانگرد بوده و این واقعیت بیانگر این است که تغییرپذیری این متغیرها در جهات مختلف جغرافیایی یکسان است. برای عنصر نیکل با توزیع ناهمسانگرد در منطقه، تغییرنمای جهتی (چهار زاویه ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) به منظور تعیین جهت و درجه ناهمسانگردی ترسیم گردید. تغییرنماهای جهتی ترسیم شده برای نیکل، در امتدادهای مختلف نشان داد که منطقه مورد مطالعه برای این متغیر دارای ناهمسانگردی هندسی بوده و نسبت ناهمسانگردی برای نیکل کل برابر با ۱/۳۶ بدست آمد. نتایج تغییرنمای عناصر سنگین نشان داد که از بین دو روش کریجینگ معمولی و ساده، روش کریجینگ معمولی عملکرد بهتری با توجه به شاخص‌های ارزیابی خطا و ضریب همبستگی (r^2) بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده، ارائه کرده است. نتایج تجزیه‌های زمین‌آمار نشان داد که مدل کروی بهترین مدل برازش داده شده برای غلظت عناصر مورد مطالعه است. بیشترین دامنه تأثیر ۱۷۲۰۰ متر و کمترین آن ۲۳۵۴ متر، به ترتیب مربوط به عنصر نیکل و سرب بوده است. همبستگی مکانی قوی (نسبت اثر قطعه‌ای به حد استاندارد کمتر از ۰/۲۵) برای عنصر سرب بدست آمد. مقایسه میانگین غلظت کادمیم کل در کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که کاربری کشاورزی غلظت کادمیم بیشتری را دارا است. براساس حد استاندارد تعیین شده برای عنصر کادمیم توسط مؤسسه تحقیقات ملی و فن‌آوری آمریکا، که ۰/۳۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم می‌باشد، آلودگی به عنصر کادمیم در منطقه مطالعاتی بسیار بالاست. نقشه پراکنش مکانی عنصر کادمیم که از کریجینگ بلوکی حاصل شده، نشان داد که بیشترین غلظت‌های عنصر کادمیم در جنوب نقشه و پشت منطقه پتروشیمی شازند به سمت شهر شازند است و از نظر سلامتی می‌توان گفت در مرز هشدار قرار دارند. مقایسه میانگین غلظت مس کل در کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که کاربری کشاورزی غلظت مس بیشتری را داراست. نتایج حاکی از افزایش غلظت عنصر مس در غرب، جنوب‌غربی و جنوب شرقی منطقه است، که می‌توان وجود

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از آن است که کاربری کشاورزی حاوی غلظت بالای فلزات مس، کادمیم و نیکل و کاربری مرتع بیشترین غلظت روی و سرب را به همراه داشت. براساس حد استاندارد مؤسسه تحقیقات ملی و فن‌آوری آمریکا، سرب و کادمیم بیشترین آلودگی را در منطقه دارند. با توجه به نتایج پهنه‌بندی، عمده آلودگی کادمیم در منطقه را فعالیتهای کشاورزی در بردارد. در حالی که منبع اصلی سرب با توجه به همبستگی مکانی قوی آن را می‌توان به فعالیتهای صنعتی (پتروشیمی شازند) و حمل و نقل جاده‌ای نسبت داد. با توجه به بالا بودن غلظت کادمیم نسبت به حد استاندارد در برخی نقاط منطقه، به نظر می‌رسد که منطقه مطالعاتی دارای پتانسیل لازم جهت پیشروی به سمت آلودگی و بروز علائم آلودگی را دارد. لذا لازم است اقدامات مدیریتی جهت جلوگیری از بروز حوادث مخرب زیست‌محیطی انجام پذیرد. توصیه می‌شود جهت افزایش کیفیت خاک و کاهش دادن تخریب آن از آلاینده‌ها، عملیات حفاظتی مناسب بکار برده شود.

واژگان کلیدی: آلاینده، زمین‌آمار، سرب، کادمیم، کریجینگ

مواد مادری شیل با غلظت بالای مس را از عوامل افزایش این عنصر دانست. مقایسه میانگین غلظت نیکل در دو کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که غلظت این عنصر در کاربری کشاورزی بیشتر از مرتع است. علاوه بر این نتایج حاکی از افزایش غلظت این عنصر در شمال غرب و جنوب شرقی منطقه بود. که علت آن را می‌توان وجود مواد مادری شیل با غلظت بالای نیکل دانست. مقایسه میانگین غلظت روی در کاربری مرتع و کشاورزی در منطقه مطالعاتی نشان داد که اراضی مرتع از غلظت روی بالاتری نسبت به اراضی کشاورزی برخوردار هستند. مقایسه نقشه حاصله از تغییرات غلظت روی در منطقه نشان داد که مناطق نزدیک به نیروگاه پتروشیمی شازند و حاشیه‌های اطراف، غلظت روی بالاتری دارند. با توجه به نقشه کریجینگ بلوکی محدوده‌هایی از شمال، جنوب و مرکز منطقه دارای غلظت سرب بیشتری بودند که فعالیت‌های صنعتی پتروشیمی و عبور وسایل نقلیه را می‌توان از علل افزایش غلظت این عنصر در منطقه دانست. نقشه‌های واریانس تخمین کریجینگ بلوکی متغیرهای مورد بررسی، نشان دادند که حاشیه نقشه‌ها دارای واریانس تخمین بیشتری نسبت به سایر نواحی می‌باشند. علت این امر عدم وجود نمونه‌برداری در این قسمت‌ها است.

مقدمه

فلزات سنگین در سالیان اخیر به دلیل خصوصیات آلاینده‌گی‌شان در خاک شدیداً مورد توجه قرار گرفته‌اند. فلزات سنگین، دسته‌ای از فلزات هستند که دارای جرم اتمی بیش از ۵۵/۸ گرم بر مول و یا چگالی بزرگ‌تر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشند (۱). زمانی که غلظت آنها از حد معینی که برای هر عنصر متفاوت است، تجاوز کند، خاصیت سمی دارند. هرچند که تعدادی از آنها در غلظت‌های پایین برای موجودات زنده ضروری می‌باشند (۲۹). به‌طور کلی دو منبع عمده برای فلزات سنگین در خاک وجود دارد: منابع طبیعی که شامل غلظت عناصر در سنگ‌بستر است و منابع غیرطبیعی که در اثر کاربرد کودها، لجن فاضلاب، کمپوست، سوخت‌های فسیلی و غیره ایجاد می‌شود. با وجود اثرات مهم کودهای دامی بر خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی، این کودها با توجه به نوع و تغذیه دام، می‌توانند حاوی مقادیری فلزات سنگین باشند. کودهای دامی حاوی مقادیر نسبتاً زیادی روی و مس بوده و در برخی موارد می‌توانند مهم‌ترین منبع آلاینده اراضی کشاورزی به شمار روند (۱۵). ورود و تجمع فلزات سنگین در اراضی کشاورزی به‌طور عمده ناشی از نهشته‌های اتمسفری حاصل از فعالیت‌های صنعتی، کودهای شیمیایی، کودهای حیوانی، لجن فاضلاب، کمپوست و آفت‌کش‌هاست (۲۴). به دلیل وسعت مکانی و مشکلات مربوط به نمونه‌های جمع‌آوری شده برای تعیین مناطق آلوده، استفاده از روش‌های زمین‌آمار بسیار مفید هست (۳). در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی می‌توان گفت زمین‌آمار بدلیل داشتن داده‌های واقعی از صحت بالاتری برخوردار است. محمودآبادی و کریمی (۱۷) برای تهیه نقشه آهک و رس خاک در منطقه پارک چیتگر تهران، از دو روش زمین‌آمار و سنجش از دور استفاده نمودند و در نهایت بیان کردند که روش کریجینگ در مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های رقومی که از نظر هزینه به‌صرفه‌تر هستند، از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند. مشخص شدن توزیع مکانی فلزات سنگین به‌صورت دقیق وقتی که نمونه‌های مورد مطالعه کم باشد، یک امر ضروری است و زمین‌آمار به‌عنوان یک ابزار

قدرتمند می‌تواند در جهت برآورد و کاهش عدم قطعیت و همچنین حداقل نمودن هزینه‌ها به کمک آید (۳ و ۲۱). محققین زیادی با توجه به خطر فلزات سنگین در محیط، به بررسی مقادیر آنها در خاک‌های مناطق مختلف جهان اقدام کرده‌اند:

سودانگو و همکاران (۲۴) در بررسی تغییرات مکانی فلزات سنگین در شهر فوجوی چین، اثر نوع کاربری، شکل زمین و زمین‌شناسی را مورد بررسی قرار دادند. و نتایج نشان داد که بیشترین مقدار کادمیم (۰/۷۴ میلی‌گرم بر گرم) در اراضی کشاورزی، جنگل و سپس در کاربری شهری مشاهده شد. در حالی که بیشترین میزان سرب را ابتدا در کاربری شهر، سپس در کاربری جنگل و کشاورزی مشاهده کردند. آنها سنگ‌های شن و شیل را مهم‌ترین منشا کادمیم برشمردند. یانگ و همکاران (۳۱) در بررسی هفت فلز سنگین در مزارع برنج، عوامل طبیعی را با درصد بالاتری (۳۱/۷۸٪)، مهم‌ترین منبع فلزات سنگین خواندند و منشاء کشاورزی (۲۷/۹٪) و فعالیت‌های صنعتی (۱۵/۴۸٪) را بعنوان پارامترهای بعدی پراکنش فلزات نام بردند. دیاوارا و همکاران (۸)، آلودگی ناشی از جیوه، سرب، کادمیم و آرسنیک را در خاک‌های سطحی پوبلو در کلرادو مطالعه نمودند. نتایج نشان داد که غلظت سرب در چند اجتماع مسکونی، متجاوز از ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم مشاهده شد. شیرانی (۲۲) تغییرات مکانی برخی عناصر سنگین را در خاک‌های سطحی مشهد در سه نوع کاربری کشاورزی، صنعتی و شهری تعیین نمود. نتایج نشان داد که غلظت سرب، روی و نیکل در قسمت‌های زیادی از مناطق شهری و صنعتی افزایش یافته است. نوع مواد مادری و فعالیت‌های صنعتی مهم‌ترین عوامل کنترل غلظت نیکل و روی معرفی شد. هم‌چنین استفاده از کودهای شیمیایی را سبب افزایش غلظت کادمیم کل در خاک منطقه عنوان کرد. متکان و همکاران (۱۸) برای برآورد مقدار کادمیم موجود در خاک‌های منطقه اصفهان و جهت تعیین منطقه آلوده از روش کریجینگ معمولی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که کاربری تأثیر مهمی بر کادمیم کل دارد. به‌گونه‌ای که در کاربری شهری و صنعتی، میانگین این فلز

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: شهرستان شازند در جنوب

غربی استان مرکزی واقع گردیده و مساحت آن بالغ بر ۲۶۴۵ کیلومترمربع هست. منطقه شازند به دلیل ارتفاع زیاد دارای آب و هوای کوهستانی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و خنک هست و در موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۳ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۲ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. این دشت ازجمله دشت‌های حاصلخیز کشور است که عمدتاً به زراعت آبی نباتات یک‌ساله و درخت‌کاری و در حاشیه‌ها به زراعت دیم غلات اختصاص دارند. شهرک صنعتی شازند، جاده اصلی و فعالیت‌های کشاورزی از عوامل اصلی غلظت عناصر سنگین در خاک‌های این منطقه می‌باشند. به استناد آمار موجود در ایستگاه سینوپتیک شازند حداکثر بارندگی سالانه ۷۲۶/۵ میلی‌متر، میانگین دمای گرم‌ترین ماه ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد در تیرماه و میانگین سردترین ماه ۰/۱ درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه هست. رژیم رطوبتی خاک زریک و رژیم حرارتی آن مزیک هست. از نظر زمین‌شناسی واحد شیل و ماسه‌سنگ ژوراسیک حدود ۶۳/۷ درصد، واحد آهک کرتاسه حدود ۶/۶ درصد و واحد پادگانه‌های آبرفتی قدیمی حدود ۳۰/۷ درصد در منطقه گسترش دارند (۴).

مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی: با توجه به وسعت و

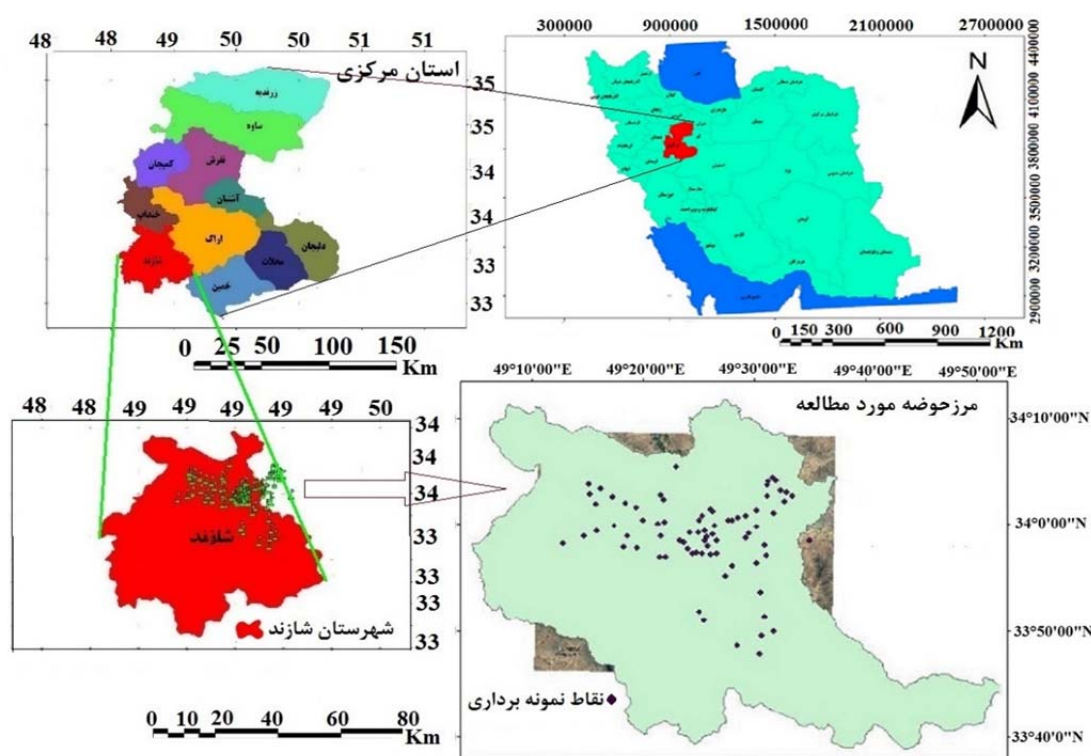
شرایط موجود در این منطقه ۷۶ نقطه به‌صورت کاملاً تصادفی در دشت شازند تعیین گردید. نمونه‌برداری در چندین مرحله در اردیبهشت‌ماه سال ۱۳۹۷ (برابر با می ۲۰۱۸) صورت گرفت. برای بررسی پراکنش نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد نظر، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برابر با تاریخ نمونه‌برداری گفته شده، استفاده شد. مختصات جغرافیایی کلیه نقاط توسط دستگاه موقعیت‌یاب جهانی (GPS) ثبت گردید. شکل ۱ پراکنش نقاط در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نمونه‌برداری سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) در دو کاربری مرتع و کشاورزی صورت گرفت. ۳۹ نقطه نمونه‌برداری در کاربری کشاورزی و ۳۷ نقطه در کاربری مرتع انجام گرفت. قابل توجه

به‌گونه‌ای چشم‌گیر بیشتر از سایر کاربری‌ها بود. تقی‌پور و همکاران (۲۷) تغییرات مکانی سرب و روی را در خاک‌های سطحی اطراف شهر همدان مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحلیل‌های زمین‌آماري نشان‌دهنده این مطلب بود که مدل کروی بهترین مدل برازش شده بر غلظت سرب و روی است. براساس نقشه‌های پراکنش، عامل مؤثر بر روند افزایش این عناصر، نوع کاربری است. باقری و عرفانی‌فرد (۳) برای برآورد توزیع مکانی خشکیدگی درختان بلوط از درون‌یابی کریجینگ معمولی و ساده استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که کریجینگ ساده، دقیق‌ترین روش ارزیابی با مدل نمایی است و همبستگی مکانی را برای خشکیدگی درختان بلوط بدلیل عوامل محیطی، متوسط گزارش کردند. شارما و سود (۲۱) از تکنیک کریجینگ معمولی برای پهنه‌بندی خصوصیات حاصلخیزی خاک در باغات سیب استفاده کردند. و همبستگی مکانی حاصله را برای ازت، فسفر، اسیدپته و کربن آلی قوی و برای پتاسیم و شوری خاک متوسط گزارش نمودند.

با توجه به اینکه منطقه صنعتی شازند از مناطق استراتژیک کشوری و استانی محسوب می‌شود و به دلیل فعالیت‌های صنعتی بسیار بالایی که دارد، می‌تواند منجر به ورود آلاینده‌های بسیاری به اراضی اطراف، بخصوص اراضی کشاورزی گردد، لذا ضرورت دارد غلظت فلزات سنگین در کاربری‌های متفاوت آن موردبررسی قرار بگیرد. دشت شازند از دشت‌های حاصلخیز منطقه است، و به دلیل بارش‌های بسیاری که دارد برای کشت دیم و آبی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. طی تحقیقات محلی و مراکز تحقیقاتی استان، در مناطق کشاورزی شهرستان شازند دو عنصر مس و کادمیوم به‌عنوان عناصر آلاینده موجود در اراضی کشاورزی مورد توجه بودند، لذا برآن شدیم تا با کمک زمین‌آمار جهت تشخیص سریع و توزیع برخی فلزات سنگین دیگر در هر دو کاربری موجود در منطقه (مرتع و کشاورزی) اقدام نمائیم. بنابراین هدف از تحقیق حاضر اثر کاربری کشاورزی و مرتع بر آلودگی خاک به عناصر سنگین و تعیین الگوی توزیع مکانی آنها است.

و آب مقطر با دستگاه pH متر، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره سوسپانسیون ۱:۵ خاک و آب مقطر با دستگاه EC متر، میزان کربن آلی با روش والکی بلک اصلاح شده مورد آزمایش قرار گرفتند. اندازه‌گیری غلظت کل عناصر سنگین با روش اسپوزیتو (۲۵) با کمک اسید نیتریک ۴ نرمال انجام گرفت. سپس نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی قرائت شدند.

است که کاربری مرتع شامل مناطق بایر، مرتع و مناطق اطراف شهرک صنعتی شازند هست. برای انجام مطالعات آزمایشگاهی نمونه‌ها هوا خشک گردیدند و نهایتاً از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. بافت خاک به روش هیدرومتری و بر اساس قانون استوکس، میزان کربنات کلسیم معادل با روش تیتراسیون، ظرفیت تبادل کاتیونی، اسیدیته (pH) خاک در سوسپانسیون ۱:۵ خاک



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقاط نمونه‌برداری بر روی حوزه مورد مطالعه
Fig1. Study area location and sampling points on the studied catchment

توصیف آماری: بعد از تجزیه‌های آزمایشگاهی، به‌منظور توصیف نتایج آزمایش‌ها و به‌دست آوردن خلاصه‌ای از اطلاعات آماری از نرم‌افزار Spss.19 استفاده شد. به‌منظور بررسی وضعیت توزیع فراوانی از میانگین، انحراف معیار، چولگی و کشیدگی استفاده گردید. برای تعیین همبستگی بین ویژگی‌های خاک و غلظت عناصر سنگین از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. نرمال بودن توزیع داده‌ها با کمک نمودارهای فراوانی و توزیع تجمعی، استفاده از پارامترهای

آماري شامل چولگی و ضریب تغییرات، استفاده از آزمون‌های آماری مانند آزمون کولموگروف-اسمیرنوف انجام شد.
تحلیل‌های زمین‌آمار: نقشه‌های پایه مورد استفاده در این تحقیق شامل نقشه‌های ۱/۵۰۰۰۰ کاربری اراضی، و نقشه خاک منطقه مورد مطالعه بود. پس از وارد کردن نقشه منطقه در محیط ArcGIS، رقومی‌سازی نقشه انجام شد و موقعیت کلیه نقاط ثبت شده، بر روی آن مشخص گردید. به منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماري باید نمونه‌ها از توزیع نرمال تبعیت کنند. پس از نرمال‌سازی داده‌ها و بررسی همسانگردی و

ناهمسانگردی تغییرات مکانی متغیرها، الگوهای تغییرنمای سطحی برای متغیرهای مورد نظر در برنامه Variowin 2.2 ترسیم شد. مناسب‌ترین مدل برای متغیرها برازش یافت. تمامی اجزای الگو شامل اثر قطعه‌ای، دامنه تاثیر و حد آستانه نیز بدست آمد. معادلات مورد استفاده برای تعیین تغییرنما در رابطه ۱ و ۲ آورده شده است:

$$\gamma(h) = 1/2 \text{var}[Z(x+h)-Z(x)] \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\gamma(h) = 1/2N(h) \sum [Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$N(h)$ تعداد جفت نمونه‌های جداشده در فاصله گام h ، $Z(x_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در نقطه i و $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده در موقعیت مکانی $i+h$ هست. تداوم و پیوستگی متغیر مورد مطالعه در آهنگ افزایش $\gamma(x)$ نسبت به مقادیر مختلف h منعکس می‌شود. دامنه همبستگی مکانی با کمک نسبت همبستگی مکانی (تقسیم اثر قطعه‌ای به حد آستانه $(C_0/C+C_0)$) محاسبه گردید. بنابراین دامنه همبستگی مکانی متغیر با کمک تغییرنما مشخص می‌شود. هرچقدر متغیر مورد مطالعه دارای تغییرپذیری بیشتری باشد، دامنه همبستگی مکانی آن کاهش خواهد یافت. به نحوی که مقادیر کمتر از ۲۵ درصد به عنوان وابستگی مکانی قوی، بین ۲۵ درصد تا ۷۵ درصد وابستگی متوسط و مقادیر بیشتر از ۷۵ درصد دارای وابستگی مکانی ضعیف هست (۲۰).

ارزیابی اعتبار سنجی: جهت بررسی صحت الگوی برازش داده شده، از معیار آماری میانگین خطای تخمین (MEE) و مجذور میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) استفاده شد (رابطه ۳ و ۴). براساس اینکه میانگین خطای تخمین بایستی برابر صفر و یا نزدیک به صفر باشد و میانگین مربعات خطای تخمین حداقل شود، واریوگرام معتبر برای انجام کریجینگ انتخاب گردید. به منظور بررسی اعتبار تغییرنما، انتخاب پارامترهای مدل به نحوی صورت گرفت که مدل نهایی، دارای حداقل میانگین خطای تخمین باشد:

$$MEE = (1/n) + \sum [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$RMSE = \sqrt{1/n \sum [(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2]} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در آن $Z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده x_i ، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده x_i می‌باشد. و n تعداد داده‌ها می‌باشد. برای بررسی تغییرات مکانی متغیرها از روش کریجینگ معمولی و ساده استفاده شد. نقشه میان‌یابی کریجینگ معمولی و نقشه واریانس تخمین توسط نرم افزار ArcGIS 9.3، برای هر عنصر ترسیم گردید.

نتایج

بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی: جدول ۱

میانگین مقادیر مربوط به برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده را در دو کاربری کشاورزی و مرتع نشان می‌دهد. مواد آلی در منطقه مطالعاتی دارای میانگین ۳/۳۲ درصد با دامنه تغییرات ۱/۶، با بیشترین مقدار ۳/۸۶ درصد و کمترین مقدار ۳/۲۶ درصد هست. بیشترین مقدار کربن آلی، در کاربری کشاورزی با میانگین ۳/۳۸ درصد برآورد شد. به نظر می‌رسد که استفاده از کودهای حیوانی، لجن فاضلاب و بازگشت بقایای گیاهی از مهم‌ترین عوامل افزایش درصد ماده آلی در مناطق کشاورزی باشد. میانگین مقدار رس، سیلت و شن در خاک به ترتیب برابر ۲۶/۱، ۳۱/۹ و ۴۱/۹۹ درصد هست. بر اساس نتایج آزمایشگاهی دامنه تغییرات بافت نمونه‌های خاک منطقه در محدوده لومی-رسی تا لومی قرار می‌گیرند. میانگین pH در منطقه برابر ۶/۹۳ بوده و کاربری کشاورزی دارای بیشترین مقدار pH هست. میانگین مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در خاک ۰/۱۵ دسی‌زیمنس بر متر بود. میانگین آهک در منطقه برابر ۲۹/۶۴ درصد بوده و کاربری کشاورزی دارای مقدار آهک بالاتری نسبت به کاربری مرتع است.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی نقاط نمونه برداری شده در دو کاربری
Table 1. Some physico-chemical properties of sampling points in two landuses

کاربری Land use	ویژگی های خاک Soil pr.	میانگین Mean	ماکزیمم Max.	مینیمم Min.	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تغییرات CV	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis
کشاورزی Agriculture	EC (dSm ⁻¹) شوری	۰/۱۵	۰/۳۹۶	۰/۰۹۶	۰/۰۶	۳۹/۴۶	۲/۲۴	۶/۴۵
	pH اسیدیته	۶/۹۷	۷/۳۹	۶/۵۰	۰/۲۴	۳/۴۶	-۰/۴۲	-۰/۵۱
	CaCO ₃ (%) درصد آهک	۳۰/۱۵	۵۷/۰۰	۱/۰۰	۱۳/۸۷	۴۵/۹۹	-۰/۴۱	-۰/۰۱
	CEC (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) ظرفیت تبادل کاتیونی	۲۱/۸۳	۴۲/۴۷	۴/۲۴	۱۲/۵۲	۴۸/۰۸	-۰/۴۶	-۰/۵۹
	O.C (%) کربن آلی	۳/۳۸	۳/۸۶	۲/۹۲	۰/۳۰	۸/۸۵	-۰/۰۶	-۱/۳۱
	Sand (%) شن	۴۴/۴۷	۷۵/۵۰	۱۶/۰۰	۱۴/۵۱	۳۲/۶۳	-۰/۱۸	-۰/۷۸
	Silt (%) سیلت	۳۰/۵۲	۵۱/۵۰	۱۴/۰۰	۹/۱۷	۳۰/۰۵	-۰/۱۴	-۰/۶۰
	Clay (%) رس	۲۵/۰۰	۴۶/۰۰	۵/۰۰	۱۰/۲۳	۴۰/۹۳	-۰/۰۵	-۰/۳۸
مرتع Rangeland	EC (dSm ⁻¹) شوری	۰/۱۶	۰/۵۳	۰/۰۷	۰/۰۹	۶۱/۲۹	۳/۱۸	۱۰/۶۱
	pH اسیدیته	۶/۸۸	۷/۳۰	۶/۴۷	۰/۲۶	۳/۷۱	۰/۱۱	-۱/۱۹
	CaCO ₃ (%) درصد آهک	۲۹/۱۰	۶۱/۰۰	۲/۵۰	۱۳/۱۸	۴۵/۲۹	-۰/۴۸	۰/۴۱
	CEC (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) ظرفیت تبادل کاتیونی	۲۳/۰۷	۴۵/۸۷	۴/۲۴	۹/۸۹	۴۲/۷۱	-۰/۲۴	-۰/۳۳
	O.C (%) کربن آلی	۳/۲۶	۳/۸۶	۲/۲۶	۰/۳۹	۱۲/۰۲	-۰/۲۹	-۰/۲۵
	Sand (%) شن	۳۹/۳۸	۸۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۸/۲۱	۴۶/۲۴	۰/۶۹	-۰/۳۹
	Silt (%) سیلت	۳۳/۳۶	۵۵/۰۰	۹/۰۰	۱۰/۹۳	۳۲/۷۵	-۰/۵۱	۰/۰۱
	Clay (%) رس	۲۷/۲۷	۴۳/۵۰	۷/۰۰	۱۱/۰۴	۴۰/۵۲	-۰/۵۲	-۱/۰۹
کل Total	EC (dSm ⁻¹) شوری	۰/۱۵	۰/۵۳	۰/۰۷	۰/۰۹	۵۱/۱۰	۳/۱۴	۱۱/۶۹
	pH اسیدیته	۶/۹۳	۷/۳۹	۶/۴۷	۰/۲۵	۳/۶۲	-۰/۱۶	-۱/۰۱
	CaCO ₃ (%) درصد آهک	۲۹/۶۴	۶۱/۰۰	۱/۰۰	۱۳/۴۵	۴۵/۴۰	-۰/۴۱	۰/۱۰
	CEC (cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹) ظرفیت تبادل کاتیونی	۲۲/۴۴	۴۵/۸۷	۴/۲۴	۱۰/۱۶	۴۵/۲۰	۰/۳۴	-۰/۴۴
	O.C (%) کربن آلی	۳/۳۲	۳/۸۶	۲/۲۶	۰/۳۵	۱۰/۵۵	-۰/۳۱	-۰/۲۱
	Sand (%) شن	۴۱/۹۹	۸۲/۰۰	۱۲/۰۰	۱۶/۵۰	۳۹/۳۰	۰/۲۷	-۰/۷۳
	Silt (%) سیلت	۳۱/۹۱	۵۵/۰۰	۹/۰۰	۱۰/۱۰	۳۱/۶۵	۰/۱۷	-۰/۳۹
	Clay (%) رس	۲۶/۱۰	۴۶/۰۰	۵/۰۰	۱۰/۶۲	۴۰/۷۱	-۰/۲۳	-۰/۹۱

بررسی غلظت عناصر سنگین مورد مطالعه: خلاصه ای از

آمار توصیفی عناصر سنگین در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین غلظت کادمیم کل در خاک ۲/۰۵ میلی گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۱/۷۷ میلی گرم بر کیلوگرم با حداکثر ۲/۸۷ و حداقل ۱/۱۰ میلی گرم بر کیلوگرم است. کاربری کشاورزی با میانگین ۲/۰۸ میلی گرم بر کیلوگرم بیشترین غلظت کادمیم را در منطقه دارد. دامنه تغییرات غلظت مس کل

در خاک های منطقه ۳۱/۷ میلی گرم بر کیلوگرم با حداکثر ۴۱/۶۳ و حداقل ۹/۹۳ میلی گرم بر کیلوگرم است. بیشترین ضریب تغییرات غلظت مس مربوط به اراضی مرتع می باشد. میانگین غلظت روی کل در منطقه مطالعاتی ۵۴/۱۲ میلی گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن ۱۱/۴۰، با حداکثر ۷۲/۰۱ و حداقل ۳۹/۳۱ میلی گرم بر کیلوگرم است (جدول ۲).

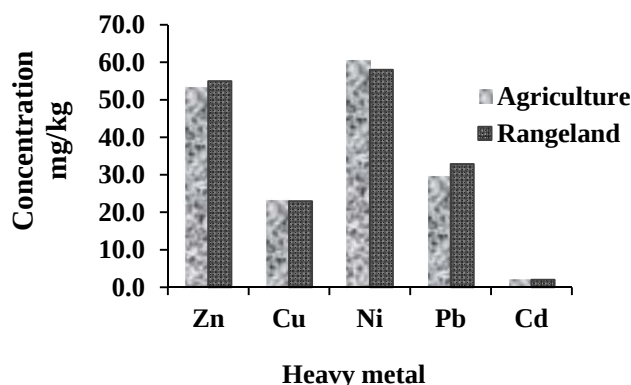
جدول ۲. غلظت عناصر سنگین و خصوصیات آماری آنها در خاک‌های مورد مطالعه

Table 2. Heavy metals concentration and their statistical analyses in the soils studied

عنصر Element	کاربری Land use	تعداد No.	Mean (mg kg ⁻¹)	Max.	Min.	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تغییرات (%)CV	چولگی Skewness	کشییدگی Kurtosis
کادمیم Cd	کشاورزی	۳۹	۲/۰۸	۲/۸۳	۱/۱۶	۰/۳۴	۱۶/۴۴	-۰/۳	۰/۶۹
	مرتع	۳۷	۲/۰۱	۲/۸۷	۱/۱	۰/۴۴	۲۲/۱۳	-۰/۱۹	-۰/۴۵
	کل	۷۶	۲/۰۵	۲/۸۷	۱/۱	۰/۳۹	۱۹/۲۷	-۰/۲۹	۰/۵۴
مس Cu	کشاورزی	۳۹	۲۳/۲۵	۳۱/۰۳	۱۴/۳۵	۳/۹۲	۱۶/۸۷	-۰/۰۵	-۰/۴
	مرتع	۳۷	۲۲/۹۷	۴۱/۶۳	۹/۹۳	۵/۰۴	۲۱/۹۶	۱	۴/۹۸
	کل	۷۶	۲۳/۱۱	۴۱/۶۳	۹/۹۳	۴/۴۷	۱۹/۳۶	-۰/۶۵	۳/۴۳
روی Zn	کشاورزی	۳۹	۵۳/۳۱	۶۳/۹	۴۱	۵	۹/۳۹	-۰/۳۸	۰/۴۲
	مرتع	۳۷	۵۴/۹۸	۷۲	۳۹/۳	۵/۵۱	۱۳/۶۷	۰/۰۴	-۰/۰۹
	کل	۷۶	۵۴/۱۲	۷۲	۳۹/۳	۶/۳۶	۱۱/۷۶	۰/۱	۰/۴۳
سرب Pb	کشاورزی	۳۹	۲۹/۶	۴۵/۹۸	۱۳/۹۲	۵/۷۳	۱۹/۳۶	۰/۲۳	۱/۶۲
	مرتع	۳۷	۳۲/۸۸	۷۷/۸۸	۱۵/۲۳	۱۴/۲۷	۴۳/۴	۱/۷	۳/۱۷
	کل	۷۶	۳۱/۲	۷۷/۸۸	۱۳/۹۲	۱۰/۸۲	۳۴/۶۸	۲/۱۷	۶/۹۶
نیکل Ni	کشاورزی	۳۹	۶۰/۶	۸۶/۷	۴۱/۶۴	۹/۵۴	۱۵/۷۴	۰/۵۸	۰/۶۹
	مرتع	۳۷	۵۸	۸۵/۱	۴۰/۶۵	۱۳/۰۷	۲۲/۵۳	۰/۵	-۰/۷۴
	کل	۷۶	۵۹/۴	۸۶/۷	۴۰/۶۵	۱۱/۰۱	۱۹/۲	۰/۴	-۰/۳

میلی‌گرم بر کیلوگرم بیان شده است، البته حداکثر غلظت مجاز در خاک‌های کشاورزی ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته می‌شود (۱۳). مقایسه میانگین عناصر سنگین نامبرده در شکل ۲ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود عناصر مس، نیکل و کادمیم در کاربری کشاورزی و فلزات روی و سرب در مرتع غلظت بالاتری دارند.

میانگین غلظت سرب کل در منطقه مطالعاتی ۳۱/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم بوده و دامنه تغییرات آن در خاک‌های منطقه حدود ۶۳/۹۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم با کمترین غلظت ۱۳/۹۲ و بیشترین غلظت ۷۷/۸۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم هست (جدول ۲). اراضی کشاورزی با میانگین ۶۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم نسبت به اراضی مرتع بیشترین غلظت نیکل را دارا می‌باشند. حداکثر غلظت مجاز نیکل در اکثر کشورها برابر ۱۰۰



شکل ۲. مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در دو کاربری کشاورزی و مرتع

Fig 2. Comparison mean of heavy metals concentration in agriculture and rangeland use

به منظور کنترل کیفیت نتایج تجزیه فلزات سنگین در نمونه های خاک و سنگ یک نمونه استاندارد موسسه تحقیقات ملی فناوری آمریکا (NST) به نام ۲۷۰۹ San Joaquin # و با مشخصات ارائه شده در جدول ۳ تهیه شده و غلظت عناصر مورد مطالعه در آن اندازه گیری شده است. در مقایسه با جدول مذکور به طور کلی میانگین غلظت عنصر کادمیم در منطقه

مطالعاتی بالاتر از حد استاندارد است. هم چنین مقایسه نتایج با داده های داخل کشور نشان می دهد که میانگین غلظت روی کل در منطقه شازند نسبت به قم و اصفهان بیشتر است. غلظت سرب، نیکل و کادمیم نیز نسبت به تمام شهرهای نامبرده بالاتر بدست آمده است (جدول ۳).

جدول ۳. مقدار فلزات سنگین در یک نمونه استاندارد و شهرهای مختلف ایران (میلی گرم بر کیلوگرم)
Table 3. Value of heavy metals (mg kg⁻¹) in standard sample and different cities of Iran

عنصر Element	روی Zn	سرب Pb	کادمیم Cd	نیکل Ni	مس Cu
San Joaquin# 2709 (استاندارد)	۱۰۶ ± ۳	۱۸/۹ ± ۰/۶	۰/۳۸ ± ۰/۰۱	۸۸ ± ۵	۳۴/۶ ± ۰/۷
همدان ^۱	۷۱/۴	۲۳/۹	۱/۲	۵۶/۶	۳۶/۵
قم ^۲	۴۴/۴	۲۷/۲	۰/۴	۹/۶	-
اصفهان ^۳	۴/۵	۲۵/۶	۱/۷	-	-
مشهد ^۴	۶۶/۸	۹/۵	۱/۲	۵۴/۷	-

1. Taghipoor (2011); 2. Movahedi rad (2008); 3. Amini (2005); 4. Shirani (2007)

همبستگی متغیرها: جدول ۴ نتایج ضریب همبستگی عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک های مورد بررسی در این مطالعه را نشان می دهد. با توجه به جدول ۴ به طور کلی ارتباط قوی معنی داری بین عناصر سنگین با درصد رس مشاهده نشد، اما در کل در تمام عناصر همبستگی مثبت بود. بین عناصر نیکل ($r=0/3$ ، $p < 0/05$) و روی ($r=0/4$ ، $p < 0/01$) با سیلت همبستگی مثبت معنی داری دیده

شد، که برای سایر عناصر رابطه مثبت، اما معنی دار نبود. عنصر نیکل همبستگی معنی دار با pH، CEC، درصد سیلت و شن ($p < 0/05$)، عنصر مس همبستگی معنی دار با آهک، و عنصر روی همبستگی معنی دار با CEC، کربن آلی، آهک، درصد سیلت و شن دارند. هرچه آهک در خاک بیشتر باشد، روی به صورت کربنات روی رسوب می کند و قابلیت دسترسی آن کم می شود.

جدول ۴. ضریب همبستگی بین عناصر سنگین و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک
Table 4. Correlation coefficient between heavy metals and soil physicochemical properties

عنصر element	هدایت الکتریکی (dS/m) EC	pH اسیدیته	ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol ₍₊₎ /kg) CEC	کربن آلی %O.C	درصد آهک CaCO ₃ %	درصد رس Clay%	درصد سیلت Silt%	درصد شن Sand%
Ni نیکل	ns -0/۱۳۳	-0/۳*	0/۳*	ns 0/۰۹۸	ns -0/۰۹۶	ns 0/۱۷۲	0/۳*	-0/۳*
Cu مس	ns 0/۰۱۶	ns -0/۱۳	ns 0/۰۱۵	ns 0/۰۹۲	-0/۲۳*	ns 0/۰۶۵	ns 0/۱۲	ns 0/۰۲۷
Zn روی	ns 0/۰۶۶	ns -0/۱۸	0/۳*	0/۲۳*	-0/۳۴**	ns 0/۱۳۱	0/۴**	-0/۳۱**
Pb سرب	ns -0/۱۵۰	-0/۳**	ns 0/۱۸	ns 0/۰۱۶	ns -0/۱۶۵	ns 0/۰۵۷	ns 0/۰۳	ns -0/۰۵۵
Cd کادمیم	ns 0/۰۲۵	ns -0/۱۴	ns 0/۰۰۳	ns 0/۱۶۳	ns 0/۱۱۵	ns 0/۰۵۸	ns 0/۰۹	ns -0/۰۱۸

ns معنی دار نبودن در سطح خطای ۰/۰۵ * معنی دار بودن در سطح خطای ۰/۰۵ ** معنی دار بودن در سطح خطای ۰/۰۱
CEC: Cation Exchange Capacity; EC: Electrical Conductivity

عنصر سرب فقط همبستگی منفی معنی دار با pH ($p < 0/01$) دارد. جدول ۵ همبستگی بین عناصر سنگین را

نشان می دهد. عنصر نیکل ارتباط مثبت و معنی داری با مس ($r=0/41$ ، $p < 0/01$) و روی ($r=0/5$ ، $p < 0/01$) نشان داده

است. هم‌چنین مس نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری با روی ($r = 0.4$, $p < 0.01$) دارد.

جدول ۵. ضریب همبستگی بین عناصر سنگین مورد مطالعه

Table 5. Correlation coefficient within heavy metals studied

عناصر سنگین	نیکل Ni	مس Cu	روی Zn	سرب Pb	کادمیوم Cd
نیکل Ni	۱				
مس Cu	۰/۴۱**	۱			
روی Zn	۰/۵**	۰/۴**	۱		
سرب Pb	ns ۰/۰۴۳	ns ۰/۰۲۶	ns ۰/۱۳۳	۱	
کادمیوم Cd	ns ۰/۰۲۸	ns ۰/۰۵۸	ns ۰/۱۰۶	ns ۰/۱۳۳	۱

ns معنی‌دار نبودن در سطح خطای ۰/۰۵ * معنی‌دار بودن در سطح خطای ۰/۰۵ ** معنی‌دار بودن در سطح خطای ۰/۰۱

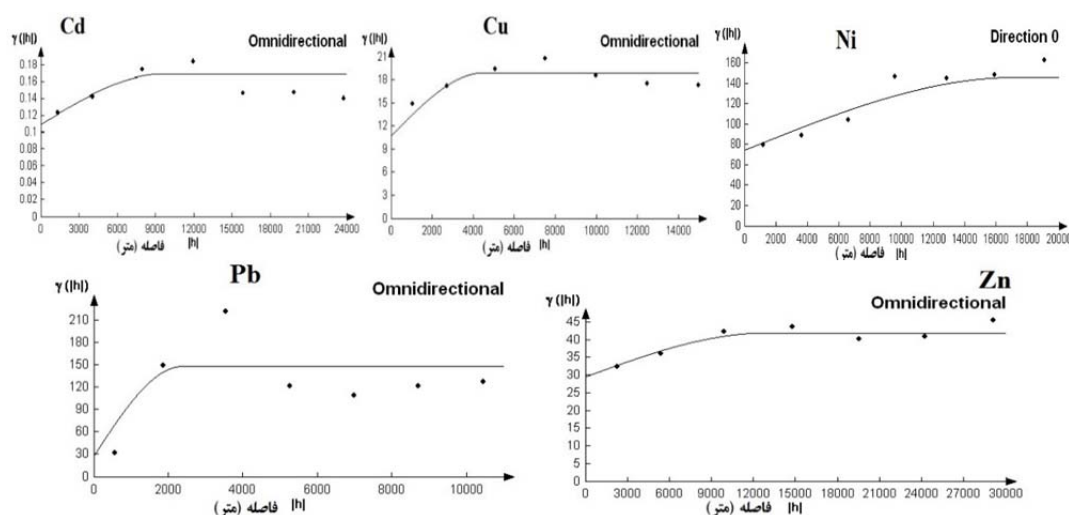
پراکنش مکانی عناصر سنگین

تغییرنماهای سطحی عناصر سنگین موردبررسی، انجام شد و با توجه به تقارن تغییرنماهای سطحی، توزیع متغیرهای روی، سرب، کادمیوم و مس در منطقه همسانگرد بوده و این واقعیت بیانگر این است که تغییرپذیری این متغیرها در جهات مختلف جغرافیایی یکسان است. تغییرنمای همه جهت‌ها برای عناصر روی، مس، کادمیوم و سرب با توجه به همسانگردی آنها رسم گردید (شکل ۳) و هم‌چنین برای عنصر نیکل با توزیع ناهمسانگردی در منطقه، تغییرنمای جهتی (چهار زاویه ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) به‌منظور تعیین جهت و درجه ناهمسانگردی ترسیم گردید. نتایج تغییرنمای عناصر سنگین مورد بررسی به همراه مدل‌های برازش داده‌شده به آنها و کنترل اعتبار تغییرنما در جدول ۶ ارائه‌شده است. تغییرنمای عنصر نیکل در تمامی امتدادها مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس این تغییرنماها، جهت‌های اصلی ناهمسانگردی مشخص شد. بنابراین تغییرنمای عنصر نیکل در جهت ۲۲/۵-۰ با

کمترین خطای تخمین و کمترین میانگین مربعات خطا بدست آمد و از اطلاعات تغییرنمای آن برای تهیه نقشه‌های پراکنش و خطای تخمین استفاده گردید. نتایج جدول ۶ نشان داد که از بین دو روش کریجینگ معمولی و ساده، روش کریجینگ معمولی عملکرد بهتری با توجه به شاخص‌های ارزیابی خطا (RMSE و MEE) و ضریب همبستگی (r^2) بین متغیرهای اندازه‌گیری شده و تخمین زده‌شده، ارائه کرده است. لذا نقشه‌های توزیع مکانی متغیرهای مورد مطالعه، حاصل روش کریجینگ معمولی هست. با توجه به جدول ۶، داده‌های نیمه‌حرفه‌ای عناصر با مدل کروی بهترین برازش را داشته‌اند. بالاترین دامنه تأثیر مربوط به عنصر نیکل با دامنه ۱۷۲۰۰ متر و کمترین دامنه تأثیر برای عنصر سرب برابر با ۲۳۵۴ متر بدست آمد. با توجه به اینکه مقادیر کمتر از ۲۵ درصد برای نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه بیانگر همبستگی قوی مکانی برای متغیر مورد نظر می باشد، عنصر سرب (نسبت ۲۴ درصد اثر قطعه-ای نسبی) در کلاس همبستگی قوی قرار گرفت.

جدول ۶. ویژگی‌های مدل تغییرنمای برازش یافته برای عناصر سنگین
Table 6. The parameters for fitted variogram model for heavy metals

عنصر Element	الگو تغییرنما	اثر قطعه‌ای (C ₀) C ₀	حد آستانه (Sill) (Sill)	C ₀ /C ₀ +C	دامنه تأثیر A(m)	معمولی Ordinary			ساده Simple		
						MEE	RMSE	R ²	MEE	RMSE	R ²
روی Zn	کروی	۲۹/۷	۱۲/۴	۲/۴	۱۲۹۰۰	۰/۰۹۱	۷/۱۰	۰/۴	-۰/۰۲	۶/۲۲	۰/۰۱
کادمیوم Cd	کروی	۰/۱۱	۰/۰۶۹	۱/۶	۹۶۰۰	-۰/۰۱	۰/۴	۰/۲	۰/۰۳	۰/۳۸	۰/۰۳
مس Cu	کروی	۱۰/۸	۸/۲	۱/۳۲	۴۵۰۰	-۰/۲۳	۵/۵	۰/۳۳	-۴/۸۷	۴/۴۴	۰/۰۳
سرب Pb	کروی	۲۸/۸	۱۲۰	۰/۲۴	۲۳۵۴	-۰/۲۰	۱۰/۶۲	۰/۳	-۰/۰۴	۱۰/۱۸	۰/۰۱
نیکل Ni	کروی	۷۵/۲	۷۱/۵	۱/۰۵	۱۷۲۰۰	-۰/۰۴	۱۱/۹	۰/۳	-۰/۰۵	۱۲/۲۸	۰/۲



شکل ۳. تغییرنمای همه جهته فلزات روی، کادمیوم، مس، سرب و نیکل

Fig 3. Variogram of Zn, Cd, Cu, Pb and Ni metals

ناهمسانگردی و جهت جغرافیایی آن نشان‌دهنده جهت روند و عامل ایجادکننده ناهمسانگردی است. عنصر نیکل در جهت شمال شرقی به جنوب غربی دارای ناهمسانگردی هست.

خصوصیات بیضی ناهمسانگردی برای عنصر نیکل در جدول ۷ نشان داده شده است. نسبت ناهمسانگردی شاخصی است برای بیان شدت ناهمسانگردی و هرچه از واحد بیشتر باشد، نشان از ناهمسانگردی بالای آن متغیر دارد. امتداد

جدول ۷. خصوصیات بیضی ناهمسانگردی عنصر نیکل، در منطقه مورد مطالعه

Table 7. Charactrisits of anisotropy elliptical for nikle element in the study area

متغیر	امتداد (درجه)	شعاع بزرگ (m)	شعاع کوچک (m)	جهت جغرافیایی	نسبت ناهمسانگردی
	Extension	Large radius	Small radius	Geographical direcation	Anisotropy ratio
نیکل Ni	۴۴	۱۹۲۰۰	۱۴۰۸۶	NE-SW	۱/۳۶

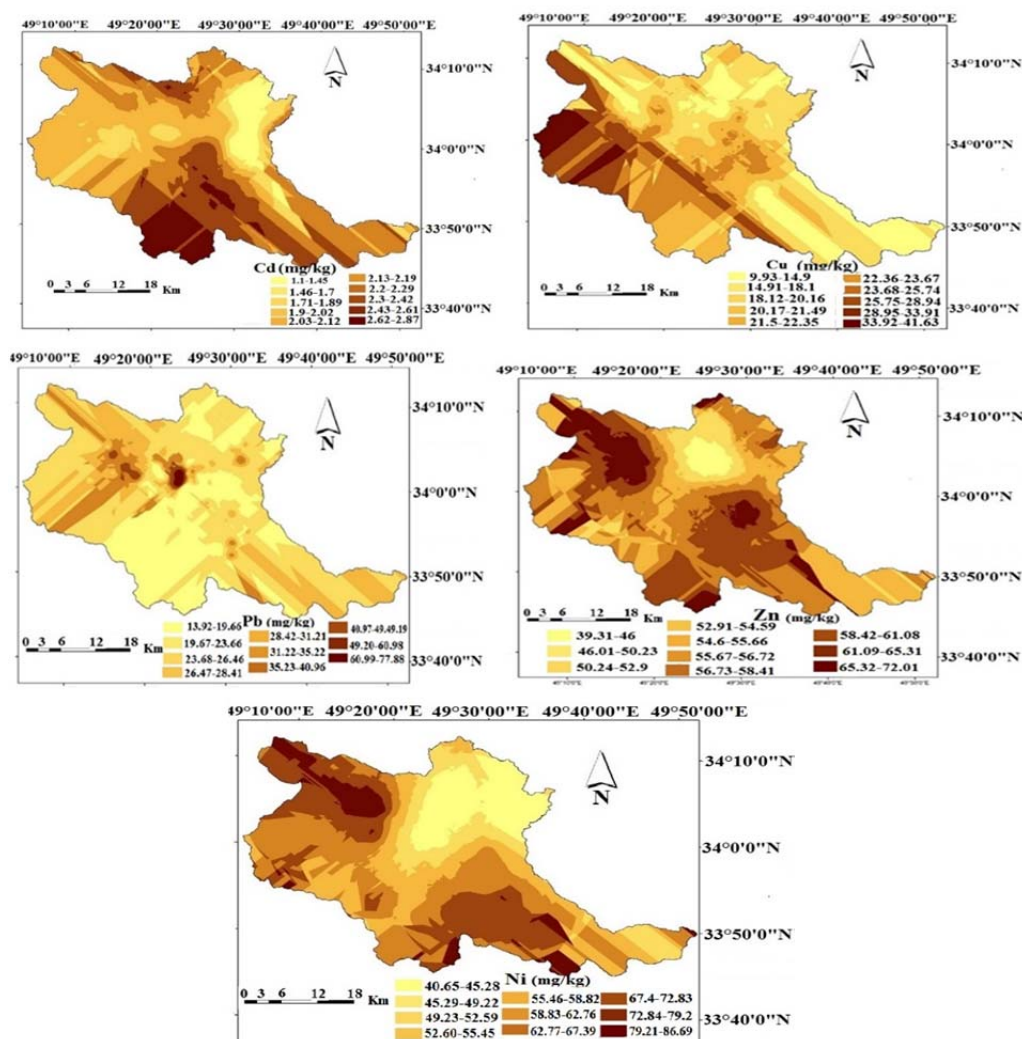
پهنه‌بندی عناصر سنگین با کمک درون‌یابی: در این مطالعه کریجینگ به شکل بلوکی برای متغیرهای موردبررسی، استفاده شد. در حالت تخمین بلوکی، یک بلوک به‌وسیله تخمین تعداد زیادی نقطه و سپس محاسبه انتگرال آن‌ها شبیه‌سازی می‌شود. در ادامه با استفاده از اطلاعات حاصل از محاسبات نیمه-تغییرنما، کریجینگ معمولی به شکل بلوکی برای عناصر مورد مطالعه، انجام گرفت. ترسیم نقشه‌ها در محیط ArcGIS انجام شد. شکل ۴، پهنه‌بندی حاصله برای ۵ عنصر مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نقشه پراکنش مکانی عنصر کادمیم که از کریجینگ بلوکی حاصل‌شده، نشان می‌دهد که، بیشترین غلظت‌های عنصر کادمیم در جنوب نقشه و با توجه به تصاویر ماهواره‌ای منطقه (لندست ۸)، پشت منطقه پتروشیمی شازند به سمت شهر شازند است. این مناطق مساحت بیشتری از اراضی کشاورزی را شامل می‌شود. همچنین مناطق شهری شهرستان شازند و اراضی کشاورزی نزدیک به منطقه صنعتی شازند نیز حاوی غلظت بالای کادمیم می‌باشند. لذا از نظر سلامتی می‌توان گفت در مرز هشدار قرار دارند. در شکل ۴ مشاهده می‌شود، که نقاطی با کاربری کشاورزی غلظت مس بیشتری را نسبت به مرتع دارا هستند. بیشترین پراکنش غلظت مس در غرب و جنوب غربی منطقه مشاهده شد. نقشه پهنه‌بندی روی، بیشترین میزان غلظت را در جنوب شرق، شمال غرب و غرب منطقه نمایش داده است. پراکنش غلظت بالای روی در

مساحت بیشتری از نقشه به چشم می‌خورد (شکل ۴). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، پراکنش نقاط در منطقه نشان می‌دهد که منطقه صنعتی شازند بیشترین درصد غلظت سرب را در بردارند. شهرک صنعتی شازند در مرکز نقشه بیشترین غلظت سرب را نمایش داد. جدول ۸، نتایج مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ سرب با داده‌های واقعی را بعنوان نمونه نشان می‌دهد. ضریب پیرسون محاسبه‌شده بین مقدار واقعی داده‌ها و مقدار تخمینی در کریجینگ برابر ۰/۳ و در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار هست. در تخمین غلظت سرب کل، کریجینگ اثر پیرایشی داشته و انحراف معیار مقادیر تخمینی ۵/۵۴ را نسبت به مقدار واقعی کاهش نشان می‌دهد. بیشترین غلظت نیکل را شهر شازند (جنوب شرق) و شمال غرب منطقه در برداشته‌اند (شکل ۴). جدول ۹ نتایج مقایسه تخمین‌های حاصل از کریجینگ بلوکی نیکل با داده‌های واقعی را نشان می‌دهد. ضریب پیرسون محاسبه‌شده بین مقدار واقعی داده‌ها و مقدار تخمینی در کریجینگ برابر ۰/۳۲ و در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار شد. در تخمین غلظت نیکل نیز، کریجینگ اثر پیرایشی داشته و انحراف معیار مقادیر تخمینی ۲/۷ نسبت به مقدار واقعی کاهش نشان داد. همچنین مقدار حداکثر تخمین به‌اندازه ۸/۱۶ واحد و مقدار حداقل تخمین به‌اندازه ۰/۰۷ واحد نسبت به داده‌های واقعی تفاوت دارد.

جدول ۸. تخمین‌های حاصل از کریجینگ سرب با داده‌های واقعی

Table 8. Estimates of lead kriging with real data

معیار	داده‌های استفاده شده در تخمین	کریجینگ بلوکی
تعداد Value	۷۶	۷۶
میانگین Mean	۳۱/۲۰	۳۱/۰۰۲
انحراف معیار Standard deviation	۱۰/۸	۵/۲۸۰
میان middle	۲۹/۴	۳۰/۹۳
حداقل Min.	۱۳/۹	۱۸/۹۹
حداکثر Max.	۷۷/۸	۶۰/۲۳
میانگین خطا Error Mean	-	-۰/۲۰
مجموعه مربعات میانگین خطا EMSS	-	۱۰/۶۲
ضریب همبستگی Correlation	۰/۳*	
Coefficient		



شکل ۴. نقشه پراکنش مکانی عناصر سنگین (mg kg^{-1}) حاصل از کریجینگ معمولی در منطقه مورد مطالعه
Fig 4. Spatial distribution maps of heavy metals obtained from ordinary Kriging in the study area

جدول ۹. تخمین‌های حاصل از کریجینگ نیکل با داده‌های واقعی

Table 9. Estimates of Nikle kriging with real data

کریجینگ بلوکی	داده‌های استفاده‌شده در تخمین	معیار
۷۶	۷۶	تعداد Value
۵۹/۳۱۸	۵۹/۳۶	میانگین Mean
۸/۷۱۲	۱۱/۴۰	انحراف معیار Standard deviation
۵۸/۰۳۹	۵۸/۰۶	میان Middle
۴۰/۵۸۷	۴۰/۶۵	حداقل Min.
۷۸/۵۰۶	۸۶/۶۹	حداکثر Max.
-۰/۰۴	-	میانگین خطا Error Mean
۱۱/۹۱	-	مجموعه مربعات میانگین خطا EMSS
۰/۳۲**	-	ضریب همبستگی پیرسون Correlation Coefficient

نقشه‌های واریانس تخمین کریجینگ بلوکی متغیرهای مورد بررسی ترسیم شدند و پهنه‌بندی حاصل نشان داد که حاشیه نقشه‌ها دارای واریانس تخمین بیشتری نسبت به سایر نواحی می‌باشند. علت این امر عدم وجود نمونه در این قسمت‌ها هست. علاوه بر این در حاشیه‌ها تنها نقاط موجود در یک طرف نمونه در تخمین آن به کار می‌روند. لذا تخمین اریب می‌شود و خطای تخمین بالا می‌رود.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از تقارن تغییرنماهای سطحی متغیرهای روی، کادمیم، مس و سرب در منطقه نشانگر توزیع همسانگرد آنها بوده و بیانگر این واقعیت است که تغییرپذیری این متغیرها در جهات مختلف یکسان است. اما تغییرنمای عنصر نیکل دارای توزیع ناهمسانگردی بوده و لذا برای تعیین درجه و جهت ناهمسانگردی در چهار جهت تغییرنمای آن ترسیم شد. تغییرنماهای جهتی ترسیم شده برای نیکل در امتدادهای مختلف نشان داد که منطقه مورد مطالعه برای این متغیر دارای ناهمسانگردی هندسی بوده و نسبت ناهمسانگردی برای نیکل کل برابر $1/36$ هست. تقی‌پور و همکاران (۲۷) در بررسی‌های خود در مورد خاک‌های همدان پی بردند که توزیع متغیرهای سرب کل و قابل جذب و روی کل در منطقه دارای همسانگردی و توزیع مس کل، نیکل کل و قابل جذب دارای توزیع ناهمسانگردی بوده و نسبت ناهمسانگردی را به ترتیب $4/8$ ، $5/8$ و $5/1$ عنوان کردند. نتایج مطالعه حاضر گویای آن است که داده‌های نیمه‌تغییرنمای عناصر نامبرده با مدل کروی برازش بهتری دارند (۱۰، ۱۷، ۲۲، ۲۴، ۳۰ و ۳۲). بیشترین دامنه تأثیر 17200 متر و کمترین آن 2354 متر به ترتیب مربوط به عنصر نیکل و سرب بدست آمد. دامنه تأثیر فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و آن‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر محسوب نمود. چنین فاصله‌ای حد همبستگی خصوصیت موردنظر را مشخص ساخته و اطلاعاتی را در رابطه با فاصله مجاز نمونه‌برداری نیز ارائه می‌کند. نسبت اثر قطعه‌ای بدست آمده نشان داد که عناصر مس، کادمیم، روی

و نیکل دارای نسبت بالاتر از $0/75$ می‌باشند، لذا دارای همبستگی مکانی ضعیف هستند. و عنصر سرب با داشتن نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه کمتر از $0/25$ دارای همبستگی قوی است. لذا این نسبت می‌تواند بیان کند که فاکتورهای بیرونی مانند فعالیت شرکت پتروشیمی و عوامل حمل و نقل بر روی این همبستگی موثر هستند (۱۱). یانگ و همکاران (۳۰) برای متغیرهای مس و سرب دامنه تأثیر به ترتیب $7/37$ و $3/42$ کیلومتر را گزارش نمودند. هانی و همکاران (۱۱)، نشان دادند که مدل کروی برای عنصر آهن، مدل گوسی برای منگنز و برای کادمیم مدل نمایی برازش بهتری دارد. آنان گزارش دادند که برای تمام عناصر مطالعه شده بجز منگنز، دامنه تأثیر کمتر از یک کیلومتر بوده، بطوری که همبستگی مکانی قوی برای عناصر مشاهده نکردند و همبستگی مکانی را متوسط بدست آوردند. گو و همکاران (۱۰) مدل نمایی را برای عنصر نیکل و آرسنیک با همبستگی بالاتر از $0/8$ ، و برای عناصر مس، سرب، کادمیم، روی و کروم با همبستگی بالاتر از $0/5$ در اراضی کشاورزی، گزارش کردند، ایشان دامنه تأثیر را از 8400 تا 77100 متر و همبستگی مکانی متوسطی برای آرسنیک، کروم، مس و نیکل محاسبه کردند. لینیک و همکاران (۱۶) نیز نسبت همبستگی مکانی را برای عناصر روی، مس، سرب و کادمیم بین 31 تا 38 درصد گزارش دادند، ایشان جهت پهنه‌بندی عناصر، از کریجینگ معمولی استفاده کردند. با توجه به نتایج حاصله از تغییرنمای عناصر سنگین، شاخص همبستگی و خطای محاسبه شده مشخص شد که کریجینگ معمولی دارای عملکرد بهتری برای تخمین عناصر موردنظر هست (۳، ۱۶، ۱۸ و ۲۱). لذا نقشه پراکنش مکانی عناصر سنگین با استفاده از مدل کروی و درونیابی معمولی ترسیم شد. این نتایج با نتایج بسیاری از محققان در زمینه بهترین مدل و روش درونیابی مطابقت داشت (۱۰، ۱۱، ۱۶، ۳۰ و ۳۲). نتایج پراکنش مکانی واریانس تخمین در مورد عناصر نشان داد که حاشیه‌های نقشه‌های ایجادشده، دارای واریانس تخمین بالاتری است و می‌توان نتیجه گرفت که نوع و تعداد نمونه‌برداری در ایجاد نقشه‌های توزیع مکانی نقش مهمی دارند. لذا توصیه می‌گردد

در انجام تحقیقات بعدی نمونه برداری با تعداد بسیار بالاتر و با پراکنش اصولی بهتری همراه باشد. تقی پور و همکاران (۲۷) نقشه های واریانس تخمین کریجینگ بلوکی برای متغیرهای سرب، نیکل، مس و روی را انجام دادند و اظهار داشتند که حاشیه نقشه و قسمت هایی از منطقه به علت وجود رخنمون سنگی و عدم وجود نمونه برداری دارای واریانس تخمین بالایی است.

نتایج همبستگی بین ویژگی های خاک با عناصر سنگین نشان داد که اسیدپته، آهنک و میزان ظرفیت تبادل کاتیونی، با اینکه در برخی موارد همبستگی معنی داری نشان ندادند، اما همبستگی منفی و مثبتی دارند که در پراکنش عناصر موثرند. بطوری که با افزایش اسیدپته خاک میزان قابلیت دسترسی عناصر سنگین کاهش (۱۲) و با افزایش ظرفیت تبادل کاتیونی میزان این قابلیت بیشتر خواهد بود. مقایسه میانگین غلظت کادمیم در کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که کاربری کشاورزی غلظت کادمیم بیشتری را داراست. بر اساس حد استاندارد تعیین شده برای عنصر کادمیم توسط مؤسسه تحقیقات ملی و فن آوری آمریکا، که ۰/۳۸ میلی گرم بر کیلوگرم هست، آلودگی به عنصر کادمیم در منطقه مطالعاتی بسیار بالاست. براساس نقشه کریجینگ بلوکی بدست آمده در مناطق کشاورزی نیز، می توان گفت فعالیت های انسانی باعث افزایش غلظت کادمیم در منطقه می باشند (۱۰). افزوده شدن کادمیم به خاک در اثر کاربرد کودها (۲۲)، قارچ کش ها و سایر حاصلخیز کننده ها را می توان از مهم ترین عوامل غلظت بالای آن در مناطق با کاربری کشاورزی به شمار آورد (۲ و ۱۲). کودهای فسفره یکی از مهم ترین کودهای شیمیایی هستند که در زمین های کشاورزی به میزان قابل توجهی مصرف می شوند (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی). هو و همکاران (۱۲) در مطالعه خود نشان دادند که بیشترین آلودگی کادمیم و آرسنیک در اراضی کشاورزی تحت تاثیر کودهای شیمیائی مانند فسفات ها می باشند. کودهای دامی نیز حاوی مقادیر کمی کادمیم بوده و مصرف بیش از حد آنها منجر به انباشت این فلز در خاک می شود (۲۳). نتایج سایر تحقیقات در

گذشته بر روی پراکنش کادمیم در مناطق آلوده شده مشابه این تحقیق بوده است (۲، ۱۰، ۱۲، ۲۳، ۲۴ و ۳۱). مقایسه میانگین غلظت مس در کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که کاربری کشاورزی غلظت مس بیشتری را دارا است. میانگین غلظت مس کل در منطقه مطالعاتی ۲۳/۱۱ میلی گرم بر کیلوگرم بود. فعالیت های انسانی به خصوص فعالیت های ناشی از عملیات کشاورزی مانند مبارزه با آفات و بیماری ها و استفاده از سموم شیمیایی (منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی) باعث افزایش غلظت مس کل در کاربری کشاورزی شده است. علاوه بر این، نقشه پهنه بندی فلز مس حاصل از کریجینگ بلوکی، افزایش غلظت این عنصر را در غرب، جنوب غربی و جنوب شرقی منطقه، نشان داد که می توان علت آن را وجود مواد مادری شیل با غلظت بالای مس نیز دانست (۶، ۲۰ و ۲۲). از نظر زمین شناسی واحد شیل و ماسه سنگ ژوراسیک حدود ۶۳/۷ درصد، در منطقه گسترش دارند (اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مرکزی)، که می تواند بعنوان یکی از پارامترهای افزایش میزان مس در منطقه باشد (۵، ۲۰، ۲۴ و ۲۷). فاروخ اکبر و همکاران (۹) در بررسی خاک های اطراف جاده ها در انگلستان، دامنه غلظت مس کل را بین ۱۵/۵ تا ۲۴۰ میلی گرم بر کیلوگرم با میانگین ۸۷/۳ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. بنابراین محدوده مس کل در بیشتر قسمت های منطقه مطالعاتی در دامنه طبیعی قرار دارد، و در مرز هشدار نیست. مقایسه میانگین غلظت نیکل در دو کاربری کشاورزی و مرتع نشان داد که غلظت این عنصر در کاربری کشاورزی بیشتر از مرتع است. می کو و همکاران (۱۹) میانگین غلظت نیکل کل را در اسپانیا ۲۰/۹ میلی گرم بر کیلوگرم با حداکثر غلظت ۳۲ و حداقل ۱۱/۴ میلی گرم بر کیلوگرم گزارش کردند. بیشترین مقدار نیکل با توجه به نقشه پهنه بندی در جنوب شرق و شمال غرب منطقه مشاهده شد. فعالیت های انسانی بر غلظت نیکل در منطقه مطالعاتی تأثیر داشته است (۲۴). هرچند عوامل دیگری از جمله سنگ مادر (۱۰، ۲۴ و ۳۱) نیز می تواند در این زمینه اثرگذار باشد، اما در مرز هشدار قرار نگرفت. مقایسه میانگین برای غلظت روی در کاربری مرتع و کشاورزی در

منطقه نشان داد که اراضی مرتع از غلظت روی بالاتری نسبت به اراضی کشاورزی برخوردار هستند. فعالیت‌های صنعتی، ترافیک و آلودگی ناشی از عبور وسایل نقلیه در جاده‌ها از عوامل افزایش روی در منطقه هستند (۱۰، ۱۴ و ۲۴). طبق تحقیقات، دامنه تغییرات روی کل در خاک ۱۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش شده است (۱). بنابراین محدوده روی کل در خاک‌های منطقه مطالعاتی در دامنه طبیعی قرار دارد. اما مقایسه نتایج با برخی تحقیقات داخلی نشان داد که میانگین غلظت روی کل در شازند، نسبت به قم و اصفهان (۲) بیشتر است. مطالعات شیرانی (۲۲) نشان داد که غلظت روی در منطقه مشهد- چناران دارای تفاوت معنی‌داری بین کاربری شهری با کاربری کشاورزی و بایر است، درحالی‌که تفاوت معنی‌داری بین کاربری کشاورزی و بایر مشاهده نشد. نتایج همبستگی بین عناصر سنگین بیان‌کننده ارتباط مثبت و معنی‌داری بین عنصر نیکل با مس ($p < 0/01$) و روی ($p < 0/01$) است. همچنین مس همبستگی مثبت و معنی‌داری با روی نشان داد (۲ و ۲۶). با توجه به همبستگی بین عناصر سنگین نیکل، مس و روی، می‌توان بیان نمود که منشاء سه عنصر در منطقه مطالعاتی یکسان بوده است (۲ و ۲۶). سان و همکاران (۲۶) در بررسی توزیع مکانی فلزات سنگین در خاک‌های اطراف معادن مس استان ژيجيانگ چین نشان دادند که ارتباط متقابل بسیار قوی بین فلزات روی-مس، مس-نیکل، مس-سرب، روی-نیکل، روی-سرب و نیکل-سرب وجود دارد. آن‌ها فعالیت‌های انسانی معدن‌کاوی واقع در منطقه مورد مطالعه را منبع مشترک کنترل‌کننده این عناصر بیان کردند. مقایسه میانگین غلظت سرب کل در کاربری کشاورزی و مرتع نیز نشان داد که کاربری مرتع دارای میزان سرب بالاتری نسبت به کاربری کشاورزی است. بر اساس حد استاندارد تعیین‌شده برای عنصر سرب توسط مؤسسه تحقیقات ملی و فن‌آوری آمریکا، و حدود استاندارد داخلی (۲ و ۲۲) آلودگی به عنصر سرب در منطقه مطالعاتی وجود دارد. با توجه به نقشه کریجینگ بلوکی حاصله، محدوده‌هایی از شمال، مرکز و غرب منطقه دارای غلظت سرب بیشتری هست. همبستگی مکانی

(نسبت اثر قطعه‌ای کمتر از ۲۵ درصد) قوی بدست آمده برای این عنصر نیز نشان دهنده فاکتور بیرونی (فعالیت صنعتی از جمله مجتمع پتروشیمی شازند و حمل و نقل جاده‌ای) موثر در این همبستگی می‌باشد (۲، ۷، ۱۱، ۲۴ و ۲۸). دن‌کوب (۷) میانگین غلظت سرب کل در منطقه اصفهان را ۱۳۹/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش کرد و بیان نمود که ۸۴/۱ درصد از نمونه‌های مورد مطالعه غلظتی بیشتر از حداکثر غلظت قابل‌قبول سرب، را دارند و عامل اصلی را فعالیت صنعتی برشمردند. سودانگو و همکاران (۲۴) نیز فعالیت‌های شدید انسانی را در مرکز شهر فوجوی چین عامل فلزات سنگین سرب، و روی دانستند.

با توجه به نتایج بیان شده بین دو کاربری کشاورزی و مرتع، می‌توان گفت نوع کاربری در پراکنش عناصر سنگین موثر بوده است. متکان و همکاران (۱۸) نشان دادند که کاربری تأثیر مهمی بر کادمیم کل دارد. به‌گونه‌ای که در کاربری شهری و صنعتی، میانگین این فلز را به‌گونه‌ای چشم‌گیر بیشتر از سایر کاربری‌ها نشان دادند. همچنین امینی و همکاران (۲) در مطالعات خود نشان دادند که غلظت کادمیم کل در کاربری شهری نسبت به مناطق با کاربری کشاورزی و بایر بیشتر است. در مطالعاتی در منطقه فوجوی چین نیز نشان داده شد که ۳۴ درصد از تغییرپذیری کادمیم تحت اثر نوع کاربری و زمین-شناسی منطقه است، به‌گونه‌ای که کاربری کشاورزی، جنگل و سپس کاربری شهر بالاترین میزان کادمیم و برعکس سرب بیشترین غلظت را در کاربری شهر، جنگل و سپس کشاورزی نشان داد (۲۴). با توجه به تمامی نتایج، می‌توان گفت در کنار نوع کاربری (۲۴ و ۲۷)، زمین‌شناسی و نوع مواد مادری (۱۶ و ۳۱)، فعالیت‌های انسانی شامل فعالیت‌های کشاورزی (۲۴ و ۳۱) و فعالیت‌های صنعتی (۱۶ و ۳۱) نقش مهمی را در پراکنش مکانی فلزات سنگین در منطقه داشته است. با توجه به پهنه‌بندی‌های صورت گرفته و داده‌های آماری بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که، آلودگی عناصر مس، روی و نیکل به طور جدی در منطقه مشاهده نشده است. اما افزایش آلودگی عنصر کادمیم در کاربری کشاورزی با منشاء فعالیت‌های

شیمیائی تا حد امکان با اصول صحیح زیست محیطی استفاده شده یا محدودتر شوند و از اصلاح کننده های مانند بیوچار و آهک جهت کاهش قابلیت دسترسی عناصر سنگین استفاده شود. اراضی کشاورزی نزدیک به منطقه صنعتی پتروشیمی شازند بیشترین خطر آلودگی سرب و کادمیم را برای سلامتی به همراه داشته و لذا بایستی راه کارهای مناسب جهت کنترل آلودگی در این مناطق و ممانعت از پیشرفت آن اتخاذ شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل پایان نامه ی با عنوان مطالعه توزیع برخی عناصر سنگین در اراضی شازند با استفاده از GIS، در مقطع کارشناسی ارشد است و با حمایت مالی دانشگاه ملایر اجرا شده است. که بدین وسیله از آن دانشگاه قدردانی می شود.

کشاورزی (۳۱) و مواد مادری (۱۶ و ۳۱) و افزایش آلودگی فلز سرب در کاربری مرتع، تحت تاثیر فعالیت های صنعتی و حمل و نقل جاده ای (۱۴، ۲۸ و ۳۱) بوده اند. بدلیل عدم نمونه برداری کافی در حاشیه منطقه و صرف هزینه بالا جهت روش زمین آمار، می توان از روشهای کریجینگ و سنجش از دور بطور تلفیقی استفاده نمود تا هم هزینه کاهش یابد و هم دقت عمل لازم با داده های واقعی منطقه، وجود داشته باشد. با توجه به بالا بودن غلظت کادمیم نسبت به حد استاندارد در برخی نقاط منطقه بخصوص اراضی زارعی نزدیک به منطقه صنعتی شازند، به نظر می رسد که منطقه پتانسیل لازم جهت پیشروی به سمت آلودگی بیشتری را دارد، لذا توصیه می شود جهت کاهش حد کادمیم در کاربری زراعی که به طور غیرمستقیم در سلامت انسان اثرگذار است، اقدامات مدیریتی لازم صورت بگیرد. به گونه ای که استفاده از قارچ کش ها، علف کش ها و کودهای

منابع مورد استفاده

1. Agarwal SK. 2009. Heavy Metal Pollution. APH Publishing Corp, New Delhi.
2. Amini M, Khademi H, Afyuni M, Abbaspour KC. 2005. Variability of available cadmium in relation to soil properties and land use in an arid region in central Iran. Water Air Soil Pollution, 162: 205-218. doi:https://doi.org/10.1007/s11270-005-6273-4.
3. Bagheri R, Erfanifard SY. 2020. Spatial distribution of persian Oak decline using a combination of geostatistical techniques and remote sensing (Case study: Barm plain, Fars province). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 11(1): 104-120. (In Persian).
4. Banaei MH. 1998. Soil moisture and temperature regimes map of Iran. Soil and Water Research institute of Iran. <http://www.swri.ir/en-US/DouranPortal/1/page/Home>.
5. Chen TB, Zheng YM, Lei M, Huang ZC, Wu HT. 2005. Assessment of heavy metal pollution in surface soils of urban parks in Beijing, China. Chemosphere, 60(4): 542-551. doi:https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.12.072.
6. Chen T, Liu X, Zhu M, Zhao K, Wu J, Xu J, Huang P. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban-rural transitional area of Hangzhou, China. Environment Pollution, 151: 67-78. doi:https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.03.004.
7. Dankoub Z, Ayoubi S, Khademi H, Lu SG. 2012. Spatial distribution of magnetic properties and selected heavy metals in calcareous soils as affected by land use in the Isfahan region, central Iran. Pedosphere, 22: 33-47. doi:https://doi.org/10.1016/S1002-0160(11)60189-6.
8. Diawara M, Litt JS, Unis D, Alfonso N, Martinez L, Crock JG, Smith DB, Carsella J. 2006. Arsenic, Cadmium, lead, and mercury in surface soils, Pueblo, Colorado: implications for population health risk. Environment Geochemistry Health, 28: 297-315. doi:https://doi.org/10.1007/s10653-005-9000-6.
9. Farooq Akbar K, Hale WHG, Headley AD, Athar M. 2006. Heavy metal contamination of road side soils of northern England. Soil Water Research, 1: 158-163. doi:https://doi.org/10.17221/6517-SWR.
10. Guo W, Wu T, Jiang G, Pu L, Zhang J, Xu F, Yu H, Xie X. 2021. Spatial distribution, environmental risk and safe utilization zoning of soil heavy metals in farmland, subtropical China. Land, 10: 569. doi:https://doi.org/10.3390/land10060569.
11. Hani A, Sinae N, Gholami A. 2014. Spatial variability of heavy metals in the soil of Ahwaz using geostatistical methods. International Journal of Environment Science and Development, 5(3):

- 294-298.
doi:<https://doi.org/10.7763/IJESD.2014.V5.495>.
12. Hu Sh, Chen X, Jing F, Liu W, Wen X. 2020. An assessment of spatial distribution and source identification of five toxic heavy metals in Nanjing, China. *Environment Engineering Research*, 26(3): 200135. doi: <https://doi.org/10.4491/eer.2020.135>.
13. Kabata-Pendias A, Pendias H. 2001. Trace elements in soils and plants. Third Ed. CRC Press, Boca raton: London. 413 Pages. <http://base.dnsgb.com.ua>.
14. Li F, Fan Z, Xiao P, Oh K, Ma X, Hou W. 2009. Contamination, chemical speciation and vertical distribution of heavy metals in soils of an old and large industrial zone in northeast China. *Environment Geology*, 57:1815-1823. doi:<https://doi.org/10.1007/s00254-008-1469-8>.
15. Li J, He M, Ha W, Gu Y. 2009. Analysis and assessment on heavy metal sources in the coastal soils developed from alluvial deposits using multivariate statistical methods. *Journal Hazardous Materials*, 164: 976-981. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.08.112>.
16. Linnik VG, Bauer TV, Minkina TM, Mandzhieva SS, Mazarji M. 2022. Spatial distribution of heavy metals in soils of the flood plain of the Seversky Donets River (Russia) based on geostatistical methods. *Environmental Geochemistry and Health*, 44: 319-333. doi:<https://doi.org/10.1007/s10653-020-00688-y>.
17. Mahmoudabadi E, Karimi Karouyeh A. 2015. Mapping of calcium carbonate equivalent and clay content of surface soil using geostatistical methods (Case study: Chitgar park, Tehran). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(3): 73-85. (In Persian).
18. Matkan AA, Kazemi A, Gilly MR, Ashourloo D. 2009. Using RS and GIS for considering cadmium distribution and polluted vegetation in Esfahan province. *Environmental Sciences*, 6(2): 65-77. https://envs.sbu.ac.ir/article_95511.html. (In Persian).
19. Mico C, Recatala L, Peri, M, Sanchez J. 2006. Assessing heavy metal sources in agricultural soils of an European Mediterranean area by multivariate analysis. *Chemosphere*, 65: 863-872. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.016>.
20. Rodriguez Martin JA, Lopez Aria M, Grau Corbi JM. 2006. Heavy metal contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geostatistical methods to study spatial variations. *Environment Pollution*, 144: 1001-1012. doi:<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.01.045>.
21. Sharma R, Sood K. 2020. Characterization of spatial variability of soil parameters in Apple orchards of Himalayan region using geostatistical analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, (8):1065-1077. doi: <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1744637>.
22. Shirani M. 2007. Spatial variability of Pb, Cd, Ni and Zn in some agricultur and urban soils around Mashhad-Chenara high way. MSc thesis of Soil Science, Ferdosi Uneversity, Mashhad, Iran. (In Persian).
23. Singh BR, Steinnes E. 1994. Soil and water contamination by heavy metals. p. 233-271. In Lai R, Stewart BA (Eds), *Soil Processes and Water Quality*. Lewis Pub: London.
24. Sodango TH, Li X, Sh J, Shang J, Bao Z. 2021. Sources, spatial distribution and extent of heavy metals in relation to land use, lithology and landform in Fuzhou city, China. *Minerals*, 11: 1325. doi:<https://doi.org/10.3390/min11121325>.
25. Sposito G, Lund LJ, Chang AC. 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 Science Society American Journal*, 46: 260-264. doi:<https://doi.org/10.2136/sssaj1982.03615995004600020009x>.
26. Sun H, Li J, Mao X. 2012. Heavy metals spatial distribution characteristics in a copper mining area of Zhejiang Province. *Journal Geogr Inf System*, 4: 46-54. doi:<https://doi.org/10.4236/jgis.2012.41007>.
27. Taghipour M, Ayoubi Sh, Khademi H. 2011. Contribution of lithologic and anthropogenic factors to surface soils heavy metals in western Iran using multivariate geostatistical analysis. *Soil and Sediment Contamination*, 20: 921-937. doi:<https://doi.org/10.1080/15320383.2011.620045>.
28. Viard B, Pihan F, Protneyrat S, Pihan JC. 2004. Integrated assessment of heavy metal (Pb, Zn, Cd) highway pollution: bioaccumulation in soil, Graminacea and lands nails. *Chemosphere*, 55: 1349-1359. doi:<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.01.003>.
29. Wang J, Re H, Zhang X. 2006. Distribution patterns of lead in urban soil and dust in Shenyang city, northeast China. *Environmental Geochemistry and health*, 28: 53-59. doi:<https://doi.org/10.1007/s10653-005-9011-3>.
30. Yang P, Mao R, Sha H, Gao Y. 2009. An investigation on the distribution of eight hazardous heavy metals in the suburban farmland of China. *Journal of Hazardous Materials*, 15(67): 1246-1251. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.127>.

31. Yang Z, Jing F, Chen X, Liu W, Liu B, Lin G, Huang R, Liu W. 2018. Spatial distribution and sources of seven available heavy metals in the paddy soil of red region in Hunan Province of China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190: 611. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6995-6>.
32. Zhao K, Fu W, Ye Z, Zhang C. 2015. Contamination and spatial variation of heavy metals in the soil-rice system in Nanxun County, Southeastern China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 12: 1577-1594. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph120201577>.



Spatial distribution of some heavy metals in two agriculture and rangeland uses (A case study: Shahzand industrial city, Arak)

Leila Zarei¹, Soheila sadat Hashemi^{*2}, Mahdi Najafi Ghiri³

Received: 2021-12-13 / Accepted: 2022-03-06 / Published: 2023-03-21

Abstract

Soil serves as a fundamental environment for plant growth, and due to its critical importance, the examination of heavy metal distribution is essential for monitoring soil contamination and maintaining environmental quality. This study aimed to investigate the spatial variability of specific heavy metals in surface soils of Shazand City. A total of 76 surface soil samples were randomly collected from a depth of 0-30 cm within the study area. Following sample preparation, various physicochemical characteristics, as well as the total concentrations of lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), zinc (Zn), and copper (Cu), were measured. The mean concentrations of Pb, Cd, Ni, Zn, and Cu were found to be 31.20, 54.12, 23.11, 2.05, and 59.36 mg kg⁻¹, respectively. Significant correlations were identified between Ni and Cu ($r = 0.41$, $p < 0.01$) and between Ni and Zn ($r = 0.50$, $p < 0.01$).

Additionally, a significant correlation was observed between Cu and Zn ($r = 0.40$, $p < 0.01$). The spatial variability of these variables was assessed using variogram models and ordinary kriging. The results of the geostatistical analysis indicated that the spherical model was the most suitable for describing the spatial variability of all studied elements. A strong spatial dependence (with a nugget-to-sill ratio of less than 0.25) was observed for lead. According to established standards, Pb and Cd exhibited the highest levels of pollution in rangeland and agricultural land use, respectively, within the study area. It is recommended to enhance soil quality and mitigate degradation from pollutants through the implementation of appropriate environmental practices.

Statement of the Problem: Soil serves as a fundamental environment for plant growth, and its significance necessitates the investigation of heavy metal distribution for the purposes of monitoring soil contamination and maintaining environmental quality. Given the widespread nature of polluted areas and the associated challenges in soil sample collection, the application of geostatistical methods proves to be highly beneficial. Among these methods, Kriging stands out as a geostatistical technique with considerable potential for assessing the spatial distribution of heavy metals in soil. The spatial distribution of heavy metal pollution can be analyzed using Geographic Information System (GIS) technology in conjunction with geostatistical methods. Given the rise in pollutant levels surrounding industrial

Leila Zarei¹, Soheila sadat Hashemi²✉, Mahdi Najafi Ghiri³

1. MSc. of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

2. Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran

3. Soil Science Department, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Iran

DOI: 10.30495/girs.2023.689614

e-mail: hashemy558@yahoo.com

centers and their subsequent dispersion into agricultural lands and pastures, an effort was made to identify an industrial region that significantly impacts both animal and human populations.

Purpose: This investigation was conducted to examine the spatial variability of certain heavy metals in surface soils of Shazand City, with the aim of improving the prediction of sources of soil contamination.

Methodology: The primary land uses in the Shazand region include agricultural (both irrigated and rainfed), rangeland, industrial, and urban areas. A total of 76 surface soil samples were randomly collected from a depth of 0–30 cm within the study area. Following the preparation of these samples, various physicochemical characteristics were assessed, along with the total concentrations of lead (Pb), cadmium (Cd), nickel (Ni), zinc (Zn), and copper (Cu). Data analysis and mean comparisons were conducted using SPSS version 19. The anisotropy of the data was examined through a surface variable; subsequently, the degree of anisotropy was determined, and a directional variance was plotted for the elements under investigation. Upon identifying the most suitable model, kriging interpolation maps and estimation variance maps were generated for each element using ArcGIS software.

Results and discussion: The mean concentrations of Pb, Cd, Ni, Zn and Cu were measured at 31.20, 54.12, 23.11, 2.05, and 59.36 mg kg⁻¹, respectively. Nickel exhibited a significant correlation with pH, cation exchange capacity (CEC), as well as silt and sand content ($p < 0.05$). Cu content demonstrated a significant correlation with lime content, while Zn content showed significant correlations with CEC, organic carbon, lime, silt, and sand content. Additionally, lead displayed a significant negative correlation with pH ($p < 0.01$). Significant correlations were identified between Ni and Cu with a correlation coefficient of $r = 0.41$ ($p < 0.01$), as well as between Ni and Zn with a correlation coefficient of $r = 0.50$ ($p < 0.01$). Additionally, a significant correlation was observed between Cu and Zn, with a correlation coefficient of $r = 0.40$ ($p < 0.01$). The spatial variability of the heavy metals under investigation was analyzed. The symmetry of the spatial variables indicated that the distribution of Zn, Pb, Cd and Cu in the region was isotropic, suggesting that the variability of these elements is consistent across different geographical directions. In contrast, Ni exhibited an anisotropic distribution within the region. To assess the direction and degree of anisotropy, a directional variance analysis was conducted at four angles: 0, 45, 90, and 135 degrees. The analysis of directional variables for Ni across various lengths indicated the presence of geometric anisotropy within the study area, with an anisotropy ratio of 1.36 for total Ni. Furthermore, the comparison of heavy metal variations revealed that the conventional kriging method outperformed both

ordinary and simple kriging techniques, as evidenced by superior error evaluation indices and a higher coefficient of correlation (r^2) between the measured and estimated variables. The findings from the statistical analysis indicate that the spherical model provides the best fit for the concentration of the elements under investigation. The maximum and minimum impact ranges were observed to be 17,200 meters and 2,354 meters, corresponding to Ni and Pb, respectively. A strong spatial dependence was identified for Pb, as evidenced by a nugget-to-sill ratio of less than 0.25. The comparison of total Cd concentrations in agricultural and rangeland indicates that agricultural lands exhibit a higher concentration of Cd. The level of Cd contamination in the study area is notably elevated, measuring 0.38 mg kg⁻¹, which exceeds the standard range for Cd established by the National Institute of Research and Technology. The spatial distribution map of Cd generated through blocky kriging indicated that the highest concentrations of Cd were located in the southern part of the region, particularly in the vicinity of the Shazand Petrochemical area and extending towards Shazand city, which poses a significant risk. Furthermore, a comparative analysis of Cu concentrations revealed that agricultural land exhibited higher levels of Cu compared to rangeland. The findings revealed an elevation in the Cu concentration in the western, southwestern, and southeastern areas of the region, which can be ascribed to the presence of shale parent materials characterized by elevated Cu content. A comparative analysis of Ni concentration between agricultural lands and rangelands demonstrated that the Ni concentration in agricultural lands was significantly higher than that in rangelands. Furthermore, the findings revealed an elevation in the concentration of this element in the northwestern and southeastern regions, which may be ascribed to the presence of shale parent materials characterized by elevated Ni content. A comparative analysis of Zn concentrations in rangeland versus agricultural lands within the study area demonstrated that rangelands exhibited higher Zn concentrations than their agricultural counterparts. The results indicated that the regions adjacent to the Shazand Petrochemical Power facility and its periphery exhibited the highest concentrations of Zn. The blocky kriging map revealed that the northern, southern, and western areas of the region recorded the highest Pb concentrations, which can be attributed to industrial activities, vehicular traffic, and other anthropogenic influences. Furthermore, the blocky kriging estimation variance maps for the variables under investigation demonstrated that the margins of the region exhibited a higher estimation variance compared to other areas, likely due to a scarcity of sampling in these locations.

Conclusions: The findings indicate that agricultural practices characterized by elevated concentrations of Cu, Cd, and Ni, as well as rangeland utilization, exhibited the highest levels of Zn and Pb. According to the American National Institutes of Standards and

Technology (NIST), Pb and Cd present the greatest pollution risk within the study area. According to the zoning results, the primary source of Cd contamination in the region is attributed to agricultural activities, whereas the predominant source of Pb due to its significant spatial dependence, can be linked to industrial activities, specifically the Shazand Petrochemical facility, as well as road transport. The elevated concentrations of Cd in certain areas of the region, which exceed established standards, suggest that the study area is at risk of being classified as polluted and may

exhibit symptoms of environmental degradation. Consequently, it is imperative to manage the sources of pollution effectively to avert the emergence of severe environmental hazards. It is recommended that adequate protective measures be implemented to enhance soil quality and mitigate soil degradation.

Keywords: Pollutant, Geostatistics, Lead, Cadmium, Kriging