سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال پانزدهم / شماره سوم) پاییز ۱۴۰۳
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز، سیویلیکا، گوگل اسکولار
آدرس وب سایت : https://sanad.iau.ir/journal/girs/

مقاله پژوهشی

تهیه نقشه‌های توزیع مکانی آلاینده‌های فلزات سنگین در خاک‌های حوضه سد البرز در استان مازندران

علی چراتی[۱]، بهنوش جعفری[۲] و محمداسماعیل کمالی[۳]

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۸ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۲۲ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷

چکیده

انباشتگی فلزات سنگین در خاک یکی از چالش‌های زیست‌محیطی است که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان‌ها را تهدید می‌نماید؛ لذا در این تحقیق تهیه نقشه‌های پراکنش غلظت فلزات سنگین و ارزیابی وضعیت آلودگی در اراضی زراعی حوزه زیر سد البرز در استان مازندران انجام شد. برای این منظور تعداد ۲۱۵ نمونه خاک مرکب سطحی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه گردید. مقدار عناصر کادمیم، سرب و نیکل کربناتی با عصاره‌گیر Na2EDTA ۰/۰۵ مولار و غلظت مقدار قابل‌جذب عناصر روی، مس، آهن و منگنز با عصاره‌گیر DTPA عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها، نیم تغییرنمای تجربی داده‌ها محاسبه شد. سپس مدل‌های مختلف نیم تغییرنما شامل مدل‌های کروی، گوسی، خطی و نمایی بر آن‌ها برازش شد. بهترین مدل نیم تغییرنما بر اساس کمترین مقدار خطای برازش انتخاب شد. سپس پس از رونددزدایی، نقشه‌های توزیع مکانی به روش کریگینگ معمولی در محیط GIS تهیه شد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده غلظت فلزات سنگین کادمیم، سرب و نیکل در خاک‌های منطقه بیشتر از حد بحرانی سمیت نبود.

بیشترین غلظت فلزات سنگین کادمیم، سرب و نیکل در اراضی زراعی و باغی حاشیه رودخانه سیاهرود، خصوصاً بین شهرستان‌های جویبار و کیاکلا و همچنین قسمت‌های شمالی قائم‌شهر بود؛ اما غلظت مس، آهن و منگنز در منطقه بیش از حد بحرانی موردنیاز گیاه بوده و بیشترین مقدار مس و آهن در خاک‌های مناطق اطراف شهر بابل، کیاکلا و بابلسر و منگنز در اراضی زراعی و باغی حاشیه رودخانه سیاهرود خصوصاً بین شهرستان‌های جویبار و کیاکلا و همچنین قسمت‌های شمالی قائم‌شهر دیده شده است. همبستگی بین سه عنصر کادمیم، سرب و نیکل معنی‌دار و مثبت بوده که این امر بیانگر تأثیر عوامل انسانی ازجمله مصارف کودها و سموم کشاورزی و استفاده از آب‌های آلوده برای آبیاری اراضی است.

علی چراتی[۱](✉)، بهنوش جعفری[۲] و محمداسماعیل کمالی[۳]
۱. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۲. استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران
۳. استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران
DOI: 10.30495/girs.2022.697066
پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: a.cherati@areeo.ac.ir

طرح مسئله و هدف

برای جلوگیری از ورود عناصر سنگین به زنجیره غذایی و گسترش آلودگی، شناسایی مکان‌های آلوده به این عناصر امری ضروری است. یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی، عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط است. بدین منظور باید از راهکار مناسبی جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به کل سطح نمونه‌برداری استفاده کرد. یکی از راهکارها، استفاده از فن‌های نوین، نظیر زمین‌آمار برای مطالعه الگوی توزیع مکانی داده‌ها و تهیه نقشه-های موردنظر است. روش‌های کریگینگ که یکی از روش‌های زمین‌آماری می‌باشد برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک، به‌عنوان روش مناسب برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های آلاینده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از ورود این فلزات به زنجیره غذایی و گسترش آلودگی، شناسایی مکان‌های آلوده (پهنه‌بندی این عناصر در خاک) ضروری است. با توجه به برنامه‌ریزی‌های فراوان در جهت توسعه اقتصادی و اجتماعی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک در اراضی کشاورزی حوزه زیر سد البرز (محدوده بین دو رودخانه بابلرود و سیاهرود) این تحقیق به‌منظور پایش کیفیت خاک از نقطه نظر آلودگی و پهنه‌بندی غلظت کادمیم، سرب، نیکل، روی، مس، منگنز و آهن با استفاده از مناسب‌ترین مدل و روش تخمین‌گر کریگینگ و تعیین عوامل مؤثر در پراکنش این عنصر انجام گرفت.

روش تحقیق

این تحقیق در حوزه آب و خاک البرز، در اراضی زراعی در محدوده رودخانه سیاهرود و بابلرود شامل شهرستان‌های بابل، قائم‌شهر، کیاکلا، بهنمیر و جویبار به مساحت منطقه ۹۵۰۵۶ هکتار صورت گرفت. نمونه خاک مرکب سطحی به صورت شبکه‌ای با فواصل دو کیلومتر (۲ کیلومتر × ۲ کیلومتر) از عمق ۳۰-۰ سانتیمتری تهیه و مشخصات جغرافیائی محل نمونه‌برداری با دستگاه GPS ثبت شد. برای اندازه‌گیری فرم بالقوه قابل‌جذب کادمیم، سرب و نیکل از عصاره‌گیر Na_2EDTA ۰/۰۵ مولار (کادمیم، سرب و نیکل کربناتی) استفاده شد. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین روی، آهن، مس و منگنز در خاک، از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد. آزمون نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ از آماره کلموگروف-اسمیرنف استفاده شد و عناصری که از توزیع نرمال پیروی ننمودند، با روش حذف اعداد پرت از کل نمونه‌ها و گرفتن لگاریتم، نرمال شدند. نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. داده‌ها به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS, Geographic Information System) وارد و سپس پردازش و سازماندهی گردیده و بانک اطلاعاتی (Database) منطقه مورد مطالعه در محیط GIS تشکیل شد.

نتایج و بحث

پراکنش کادمیم در اراضی زراعی حوزه زیر سد البرز نشان می‌دهد که بیشترین غلظت کادمیم در خاک‌های اراضی کشاورزی مناطقی از مرکز تا شمال منطقه و در محدوده شهرستان‌های کیاکلا، بهنمیر و نزدیکی جویبار دیده می‌شود. با توجه به این نکته که حد بحرانی سمیت کادمیم در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد مجاز آن حداکثر ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد، لذا غلظت کادمیم در منطقه به حد بحرانی سمیت نرسیده است. با این حال پراکنش غلظت کادمیم در منطقه، متفاوت بوده و در برخی مناطق غلظت آن تا حد بحرانی سمیت نیز رسیده است. بیشترین غلظت سرب ۲۱/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم می‌باشد. میانگین سرب در منطقه کمتر از حد بحرانی سمیت (حداکثر غلظت مجاز) است و آلودگی به دنبال نداشت. بیشترین غلظت سرب در منطقه، نزدیک کیاکلا و جویبار و در حاشیه رودخانه سیاهرود و مناطقی از جنوب دیده می‌شود. نقشه پراکنش نیکل نشان داد که مناطق مرکزی و در حاشیه رودخانه سیاهرود در منطقه نزدیک کیاکلا، جویبار و نزدیک قائم‌شهر حاوی بیشترین غلظت نیکل می‌باشد. غلظت نیکل نیز در مناطق ذکر شده به بالاتر از حد بحرانی سمیت نرسیده است. درخصوص فلزات سنگین که جنبه تغذیه‌ای برای گیاه دارد می توان به روی، مس، منگنز و آهن اشاره کرد. با توجه به حد بحرانی سمیت روی، میانگین غلظت این عنصر در منطقه بالا نیست و آلودگی به دنبال نداشته و حتی در برخی مناطق به خصوص مناطق مرکزی و همچنین در اراضی زراعی بین شهرستان‌های جویبار و کیاکلا، کمبود این عنصر نیز مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت مس در منطقه به حد آستانه سمیت برای گیاه نرسیده ولیکن در برخی از مناطق، غلظت بالایی از مس می‌تواند ناشی از کشاورزی فشرده در منطقه و استفاده نادرست از کودها، سموم دفع آفات نباتی و فاضلاب‌ها باشد. همانند عناصر دیگر، بیشترین غلظت منگنز در قسمت شرقی منطقه و حاشیه سیاهرود، بین کیاکلا و جویبار مشاهده شد. با توجه به حد بحرانی سمیت منگنز، نتایج این تحقیق نشان

می‌دهد که غلظت این عنصر در منطقه نسبتا بالا است؛ ولی آلودگی به دنبال نداشته و در برخی مناطق به‌صورت پراکنده، غلظت منگنز پایین‌تر از حد بحرانی کمبود است. بیشترین غلظت آهن در منطقه در مناطق مرکزی، اطراف شهرستان‌های کیاکلا، بابلسر و بهنمیر دیده می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین غلظت این عنصر در منطقه بسیار بالاتر از حد بحرانی کمبود آهن در خاک بوده؛ لذا نبایستی با مشکل تغذیه‌ای آهن برای محصولات مختلف زراعی و باغی مواجه باشیم؛ ولی ممکن است از لحاظ فیزیولوژیکی، جذب این عنصر توسط گیاه با مشکلاتی همراه باشد. همبستگی بین عناصر سنگین و برخی ویژگی‌های خاک نشان داد که رس خاک همبستگی مثبت با منگنز، سرب، آهن و مس دارد. بین میزان آهک خاک با غلظت سرب، نیکل و روی خاک ارتباط منفی معنی‌دار وجود دارد. با افزایش آهک خاک، غلظت این عناصر کاهش می‌یابد و موجب رسوب فلزات سنگین در خاک می‌شود.

نتیجه‌گیری

غلظت عناصر فلزات سنگین کادمیم، سرب و نیکل در منطقه، عمدتا به حد بحرانی سمیت نرسیده؛ ولی در برخی مناطق، غلظت کادمیم تا حدودی نزدیک به حد بحرانی سمیت رسیده است. در حاشیه رودخانه بابلرود، آلودگی کمتری دیده شده درحالی‌که در حاشیه رودخانه سیاهرود و مناطق مرکزی بیشترین غلظت این عناصر دیده می‌شود، بدین‌صورت که بیشترین پراکنش عناصر فلزات سنگین کادمیم، سرب و نیکل از مرکز تا شمال منطقه و در محدوده شهرستان‌های کیاکلا، بهنمیر و نزدیکی جویبار می‌باشد. افزایش کادمیم در قسمت‌هایی از منطقه را شاید بتوان تا حدودی به بالا بودن فسفر خاک ناشی از مصرف بی‌رویه کودهای فسفاته آلوده به فلزات عناصر سنگین بخصوص کادمیم مرتبط دانست. در خصوص عناصر فلزات سنگین روی، مس، منگنز و آهن که جنبه تغذیه‌ای نیز در گیاه دارد، غلظت آنها در منطقه نه‌تنها به حد آستانه سمیت برای گیاه نرسیده، بلکه در برخی مناطق به‌خصوص در مناطق مرکزی و همچنین در اراضی زراعی بین شهرستان‌های جویبار و کیاکلا، کمبود عنصر روی و منگنز نیز مشاهده شد. غلظت نسبتا بالای مس در برخی از اراضی کشاورزی این مناطق را می‌توان تا حدودی به کشاورزی فشرده در منطقه، استفاده نادرست از کودها و سموم دفع آفات نباتی و همچنین به استفاده از آب‌های آلوده به فاضلاب رودخانه سیاهرود نسبت داد. هرچند که غلظت آهن در منطقه نسبتا بالا است و ظاهرا نباید با مشکل تغذیه‌ای گیاه از جنبه میزان آهن در خاک مواجه باشیم؛ ولی ممکن است از لحاظ فیزیولوژیکی جذب این عنصر برای برخی گیاهان از جمله محصولات باغبانی با مشکلاتی همراه باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، کیفیت خاک، درون‌یابی، کریگینگ.

لطفاً به این مقاله استناد کنید: چراتی، ع.، جعفری ب.، کمالی، م.، ا. تهیه نقشه‌های توزیع مکانی آلاینده‌های فلزات سنگین در خاک‌های حوضه سد البرز در استان مازندران. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۵(۳): ۴۷-۲۵.

مقدمه

کاربرد نادرست برخی از نهاده‌های مهم کشاورزی (آب، کود و سم) ممکن است مشکلات زیست‌محیطی زیادی به دنبال داشته باشد. با ورود برخی فلزات سنگین به زنجیره غذایی و آب‌های زیرزمینی، سلامت انسان و دیگر موجودات زنده به خطر می‌افتد (۹). گیاهان علاوه بر عناصر ضروری، عناصری چون سرب و کادمیم را هم جذب نموده و آن‌ها را در درون بافت‌های خود جمع می‌کنند. این عناصر می‌توانند بدون اینکه دارای پیامدهای سمّی برای گیاه باشند، در اندام‌های آن تجمع یافته و به زنجیره‌های غذایی انسان و حیوان منتقل شوند (۲)؛ بنابراین برای جلوگیری از ورود این فلزات به زنجیره غذایی و گسترش آلودگی، شناسایی مکان‌های آلوده به این عناصر امری ضروری است. یکی از مشکلات اصلی در ارزیابی وضعیت آلودگی، عدم امکان نمونه‌برداری از تمامی نقاط است. بدین منظور باید از راهکار مناسبی جهت تعمیم نتایج حاصل از نقاط اندازه‌گیری شده به کل سطح نمونه‌برداری استفاده کرد. یکی از راهکارها، استفاده از فن‌های نوین، نظیر زمین‌آمار برای مطالعه الگوی توزیع مکانی داده‌ها و تهیه نقشه‌های موردنظر است (۲۲). در این روش، غلظت عنصر موردنظر در مکان‌های نمونه‌برداری نشده به‌صورت نااریب برآورد می‌شود (۱). ژئواستاتیستیک (زمین‌آمار)، شاخه‌ای از علم آمار کاربردی است که با استفاده از اطلاعات حاصله از نقاط نمونه‌برداری، قادر به ارائه مجموعه وسیعی از تخمین‌گرهای آماری برای برآورد خصوصیات موردنظر در نقاطی که نمونه‌برداری نشده‌اند، است. روش‌های کریگینگ که یکی از روش‌های زمین‌آماری است برای تعیین توزیع مکانی فلزات سنگین خاک، پتانسیل بالایی دارند و همچنین به‌عنوان روش مناسب برای درون‌یابی و تهیه نقشه آلاینده‌ها پیشنهاد شده‌اند (۲۹).

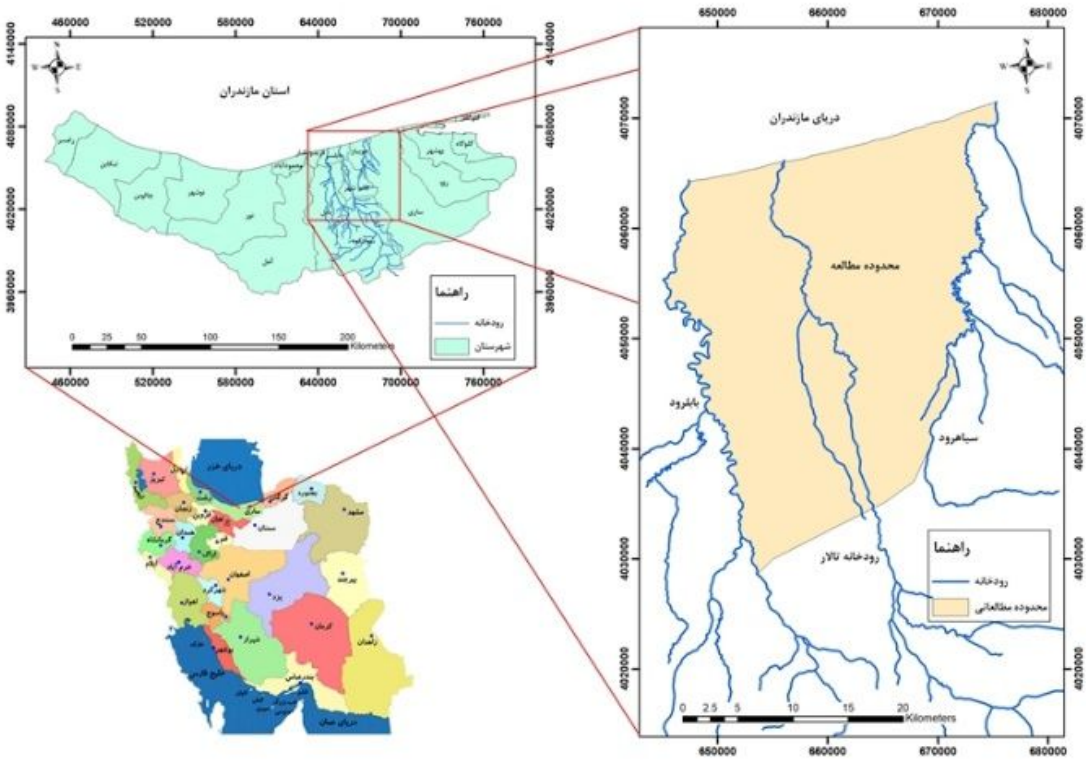
مطالعات زیادی در کشورهای مختلف برای درون‌یابی و پهنه‌بندی غلظت فلزات سنگین در خاک انجام‌شده است. لادو و همکاران (۱۶) مدل‌سازی توزیع هشت فلز سنگین (کادمیم، کروم، مس، نیکل، سرب، آرسنیک، جیوه و روی) را در خاک‌های سطحی اروپا با استفاده از ۱۵۸۸ نمونه و روش کریگینگ – رگرسیون، انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که کریگینگ رگرسیون، صحت بالاتری نسبت به کریگینگ معمولی ندارد. شهبازی و همکاران (۳۰) با تجزیه‌وتحلیل نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین نشان دادند که عناصر کادمیم، مس و سرب منشأ زمین‌شناسی و کشاورزی دارند. در حقیقت این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارند؛ اما فعالیت‌های انسان سبب تجمع بیشتر این فلزات در خاک شده است. دادگر و همکاران (۵) با بررسی روش‌های مختلف میان‌یابی، روش کوکریگینگ را برای بررسی تغییرات مکانی کادمیم مناسب تشخیص داده و طبق نتایج آن‌ها، آلودگی کادمیم در اراضی زراعی نسبت به اراضی غیرزراعی بیشتر بوده است. خداکرمی و همکاران (۱۴) با تهیه نقشه پهنه‌بندی فلزات سنگین با استفاده از روش کریگینگ معمولی نشان دادند که مصرف بیش‌ازحد کودهای شیمیائی باعث افزایش هرچه بیشتر روی و مس در خاک می‌شود. آتیا و دوبوئیس (۱) جهت تعیین پراکنش مکانی عناصر سنگین در سوئیس از تکنیک زمین‌آمار استفاده کرده و نتیجه گرفتند که منشأ اصلی کبالت و نیکل خاک از مواد مادری، سرب از کودهای شیمیایی و کادمیم از فعالیت واحدهای صنعتی است. جیاچون و همکاران (۸) با استفاده از کریگینگ لوگ‌نرمال و معمولی برای پهنه‌بندی عناصر سنگین، به این نتیجه دست یافتند که کادمیم با مدل خطی منطبق بوده و دخالت‌های انسان در طبیعت در قالب کاربرد پساب‌های صنعتی، کودهای شیمیایی و دیگر اعمال مدیریتی، موجب افزایش کادمیم در خاک می‌شود. در مطالعه دیگری، کیشنه و همکاران (۱۵) در خاک‌های جنگلی سوئد برای تهیه نقشه پراکندگی، در مناطقی که غلظت کل کادمیم در آن‌ها بالا است، روش کریگینگ معمولی را پیشنهاد دادند. متکان و همکاران (۲۰) از روش کریگینگ معمولی برای برآورد مقدار عنصر کادمیم موجود در خاک‌های منطقه مرکزی ایران واقع در استان اصفهان استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که کاربری تأثیر مهمی بر روی کادمیم کل موجود در خاک دارد، به‌طوری‌که در کاربری شهری و صنعتی، میانگین این فلز

سنگین به طور معنی‌داری بیشتر از میانگین آن در سایر کاربری‌ها بود. در تحقیقی، نوروزی (۲۵) نقشه‌های توزیع مکانی کادمیم را در دو کاربری کشاورزی و جنگل در حوضه آبریز سیاهرود تهیه نمود. میانگین غلظت کادمیم قابل‌دسترس در کاربری جنگل از کاربری کشاورزی کمتر بوده و مقایسه میانگین بین کاربری کشاورزی و جنگل نشان داد که غلظت کادمیم به طور معنی‌داری در کاربری کشاورزی افزایش نشان داده است. نیکلسون و همکاران (۲٤) در این خصوص، نظر مشابهی دارند و گزارش نموده‌اند که غلظت بالای عناصر سنگین به‌ویژه مس، روی و کادمیم در خاک‌های کشاورزی درنتیجه استفاده از کودهای مایع، کودهای دامی، انواع فاضلاب‌ها و ترکیبات اضافی و یا حتی کودهای غیرآلی است که به خاک اضافه می‌شود. در مطالعه دیگری، وو و زهانگ (۳۳) از زمین‌آمار برای تخمین فلزات سنگین (سرب، کادمیم، نیکل و روی) در نواحی آلوده منطقه هاینینگ چین استفاده نمود و نقشه توزیع آلودگی با استفاده از روش کریگینگ را تهیه نمود. نتایج بیانگر افزایش کادمیم نسبت به گذشته در سطح زمین بود و منشأ این آلودگی تأثیرات آنتروپوژنیک بوده است.

در حال حاضر اکثر رودخانه‌های شمال کشور تحت‌تأثیر فعالیت‌های انسانی هستند که باعث بروز آلودگی‌ها و تغییر و تخریب اکوسیستم رودخانه‌ها شده است. رودخانه سیاهرود نیز به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های شمال کشور از این قاعده مستثنا نیست. همچنین استفاده از رودخانه‌ها در زمین‌های کشاورزی اطراف، یکی از دلایل تجمع فلزات در خاک‌های مذکور است (۱۲). وقتی رودخانه سیاهرود وارد شهرستان قائم‌شهر می‌شود، فاضلاب‌های خانگی و صنعتی ساکنین حاشیه رودخانه و فاضلاب‌ها صنعتی کارخانه نساجی و گونی‌بافی و بیمارستان ولی‌عصر قائم‌شهر وارد این رودخانه می‌شود. از منظری دیگر، بابلرود نیز همچون دیگر رودخانه‌ها وقتی از مسیر شهرها عبور می‌کنند مورد هجوم انواع آلودگی‌ها قرار می‌گیرد و با آبیاری اراضی، موجب آلودگی خاک‌ها می‌شود؛ بنابراین برای جلوگیری از ورود این فلزات به زنجیره غذایی و گسترش آلودگی، شناسایی مکان‌های آلوده (پهنه‌بندی عناصر در خاک) ضروری است. با توجه به برنامه‌ریزی‌های فراوان در جهت توسعه اقتصادی و اجتماعی و بهره‌برداری بهینه از منابع آب و خاک در اراضی کشاورزی حوزه زیر سد البرز (محدوده بین دو رودخانه بابلرود و سیاهرود)، این تحقیق به‌منظور پایش کیفیت خاک از نقطه نظر آلودگی و پهنه‌بندی غلظت کادمیم، سرب، نیکل، روی، مس، منگنز و آهن با استفاده از مناسب‌ترین مدل و روش تخمینگر کریگینگ و تعیین عوامل مؤثر در پراکنش این عنصر انجام گرفت.

روش تحقیق

این تحقیق در حوزه سد البرز و در اراضی زراعی محدوده بین رودخانه سیاهرود و بابلرود شامل شهرستان‌های بابل، قائم‌شهر، کیاکلا، بهنمیر و جویبار صورت گرفت. از لحاظ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در حد فاصل طول‌های جغرافیایی۵۲°۳۶´۱۱" و ۵۲°۵۸´۲۰" شرقی و عرض‌های جغرافیایی۳۶°۱۵´۳۷" و ۳۶°٤٦´۳۹" شمالی قرار دارد و مساحت منطقه ۹۵۰۵٦ هکتار است (شکل ۱). جهت تهیه نمونه‌ها، مکان‌های نمونه‌برداری بر پایه نقشه‌های خاک‌شناسی، نقشه‌های کاربری، پوشش اراضی و نقشه‌های توپوگرافی در مقیاس **۱:۲۵۰۰۰۰** و همچنین اطلاعات کشت محصولات زراعی تعیین شد. در مجموع ۲۱۵ نمونه خاک مرکب به‌صورت شبکه‌ای و با فواصل دو کیلومتر (۲ کیلومتر × ۲ کیلومتر) تهیه شد. در هر یک از مکان‌های نمونه‌برداری در سطح حدود ۵۰ مترمربع، یک نمونه خاک مرکب سطحی از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری تهیه گردیده و مشخصات جغرافیائی محل نمونه‌برداری با دستگاه GPS ثبت شد. انتخاب مکان‌های مطالعاتی و تعداد نمونه به نحوی بوده است که سطح وسیعی از مناطق مورد مطالعه را در بر گرفته و از نظر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک متفاوت بوده است. عمده فعالیت کشاورزی مناطق نمونه‌برداری شده کاشت برنج است و در برخی مناطق سویا و گندم نیز کشت شده است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

Fig 1. The study area

برای اندازه‌گیری مقدار بالقوه قابل‌جذب کادمیم، سرب و نیکل از عصاره‌گیر Na_2EDTA ۰/۰۵ مولار (کادمیم، سرب و نیکل) استفاده شد. توانائی عصاره‌گیر Na_2EDTA برای استخراج فرم بالقوه قابل‌جذب روی در بخش کربناتی توسط چراتی و ملکوتی (٤) گزارش شده است. برای اندازه‌گیری غلظت عناصر سنگین روی، آهن، مس و منگنز در خاک، از عصاره‌گیر DTPA استفاده شد که یک ماده کمپلکس کننده است و عناصر را کمپلکس می‌کند و از خاک استخراج می‌نماید.

پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز شامل لایه‌های خاک و محدوده مطالعاتی به‌صورت داده‌های مکانی و داده‌های توصیفی در محیط GIS تهیه شد. جهت انجام تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آماری، ابتدا داده‌ها با استفاده از افزونه Geospatial Analysis در محیط GIS روندیابی شدند. روندیابی در دو جهت شمالی – جنوبی و شرقی – غربی انجام شد. در صورت مشاهده روند در داده‌ها، درون‌یابی پس از حذف روند انجام شد. جهت انجام آنالیزهای مکانی، مقدار نیم‌تغییرنمای داده‌ها محاسبه شد. نیم‌تغییرنما همبستگی مکانی داده‌ها را به‌صورت زیر بررسی می‌کند.

$$\gamma(h)=\frac{1}{2N(h)}\sum_{i=1}^{N(h)}[Z(x_i)-Z(x_i+h)]^2 \qquad (۱)$$

که در آن $Z(x_i)$ مقدار متغیر مکانی در نقطه x_i، $Z(x_i+h)$ مقدار متغیر مکانی در نقطه x_i+h، $N(h)$ تعداد زوج نقاط به فاصله h و γ مقدار نیم‌تغییرنما است. پس از محاسبه مقادیر نیم‌تغییرنمای داده‌ها، مدل‌های مختلف نیم تغییرنما همچون مدل گوسی، نمایی، کروی و خطی بر آن‌ها برازش شد. باید توجه داشت که یکی از عوامل موثر در انجام تخمین‌های زمین‌آماری، نوع مدل نیم تغییرنما است و درون‌یابی بر اساس

تابع رفتاری مدل‌های نیم‌تغییرنما انجام می‌شود. پس از انتخاب بهترین مدل نیم تغییرنما، جهت انجام آنالیزهای زمین‌آماری ابتدا وجود روند در داده‌ها بررسی شد. اگر روند در داده‌ها وجود داشته باشد، باید ابتدا داده‌ها را روند زدایی[1] کرد و سپس از روش کریگینگ معمولی استفاده کرد. برای این منظور از آنالیز روندیابی نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. به تغییرات تدریجی در داده‌ها، روند گویند (۲۶) که تخمین‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. وقتی‌که روند وجود داشته باشد، نیم‌تغییرنما به یک مقدار ثابت در حدفاصل داده‌ها نمی‌رسد. روند یک مولفه غیرتصادفی است که می‌تواند به‌صورت یک معادله ریاضی بیان شود. اگر روند در داده‌ها وجود داشته باشد، باید از روش کریگینگ عام استفاده کرد یا ابتدا داده‌ها را روندزدایی[2] کرد و سپس برای داده‌های روندزدایی شده (باقی‌مانده)[3] از روش کریگینگ معمولی استفاده کرد (۲۱) افزونه Geospatial در نرم افزار GIS این قابلیت را دارد که بتواند روندها را حذف کند. روندها در دو جهت شمالی – جنوبی و شرقی – غربی مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده از این قابلیت حذف شدند. سپس ناهمسانگردی[4] داده‌ها بررسی شد. ناهمسانگردی به تغییرات دامنه تأثیر و سقف نیم تغییرنما در جهات مختلف گویند. چنانچه نیم تغییرنما در جهات مختلف دارای سقف یکسان ولی دامنه تاثیر متفاوتی باشد، ناهمسانگردی از نوع هندسی است و چنانچه نیم تغییرنما در جهات مختلف دارای آستانه یکسان اما دامنه تأثیر متفاوتی باشد، ناهمسان‌گردی از نوع منطقه‌ای است. برای بررسی وجود ناهمسان‌گردی در داده‌ها نیز نمودار نیم تغییرنما در جهت‌های ۰، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه مورد بررسی قرار گرفت. لازم به ذکر است که برای استفاده از روش‌های زمین‌آماری، داده‌ها باید دارای توزیع نرمال بوده و فرض ایستایی (Stationary) که یعنی میانگین و واریانس در مکان تغییر معنی‌داری نداشته باشند، را نیز دارا باشند. داده‌ها در زمین‌آمار به شکل رابطه ۲ در نظر گرفته می‌شوند.

$$Z(s) = \mu + \xi(s) \qquad (۲)$$

که در آن Z(s) مقدار متغیر در نقطه (s)، μ میانگین متغیر که می‌تواند ثابت یا یک تابع چندجمله‌ای باشد که همان روند قطعی و مؤلفه ساختاری داده است و (s)ξ خطای تصادفی یا مؤلفه تصادفی است که تابعی از فاصله و مستقل از مختصات است (۲۸). تابع توزیع داده‌ها نیز با استفاده از نرم‌افزار SPSS و به روش کولموگروف – اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین برای بررسی همبستگی بین عناصر و بین عناصر با ویژگی‌های خاک، از ضریب همبستگی پیرسون (دارای توزیع نرمال) استفاده شد. برای انجام تجزیه‌وتحلیل خوشه‌ای، دندروگرام آن ترسیم شد. برای رسم آن، از روش وارد (Ward) به‌عنوان یک انتخاب مناسب استفاده شد. درون‌یابی داده‌ها در این تحقیق با استفاده از روش کریگینگ معمولی (معادله زیر) انجام شد.

$$Z(x)^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z(x_i) \qquad (۳)$$

که در این معادله Z(x)* مقدار پیش‌بینی‌شده در نقطه x با استفاده از داده‌های واقعی $Z(x_i)$ در نقطه‌ای با مختصات x_i است و λ_i نیز وزن نسبت داده‌شده به متغیر $Z(x_i)$ است. شایان ذکر است λi به‌گونه‌ای تعیین می‌شوند که میانگین توان دوم خطای پیشگویی حداقل شود. میزان خطای درون‌یابی نیز به روش جک نایف و نمودار ارزیابی متقابل و با استفاده از شاخص‌های RMSE و RMSSE به‌دست آمد.

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left\{Z^*(x_j) - Z(x_j)\right\}^2\right]^{0.5} \qquad (٤)$$

$$RMSSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left\{\frac{Z^*(x_j) - Z(x_j)}{\sigma(x_j)}\right\}^2\right]^{0.5} \qquad (۵)$$

[1] Detrending
[2] Detrending
[3] Detrended (Residual)
[4] Anisotropy

در این معادلات $Z^*(x_j)$ مقدار پیشگویی برای داده $Z(x_j)$ با انحراف معیار $\sigma(x_j)$ است. مقدار RMSE بیان می‌دارد که چقدر مقادیر پیش‌بینی‌شده به مقادیر واقعی نزدیک هستند. هر چقدر مقدار این شاخص به صفر نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. مقدار شاخص RMSSE نیز هرچه به یک نزدیک‌تر باشد، مناسب‌تر است. اگر مقدار آن بیش‌تر از یک باشد، پیش‌بینی‌ها کم برآورد است و اگر کم‌تر از یک باشد، پیش‌بینی‌ها بیش‌برآورد است.

نتایج

توصیف متغیرها

تعیین توزیع داده‌ها، اولین گام در مطالعات آماری است. برای توصیف مشاهدات و نتایج آزمایش‌های انجام شده از آمار کلاسیک استفاده شد. با توجه به این نکته که اکثر روش‌های آماری مستلزم داشتن جامعه‌ای با توزیع نرمال می‌باشند، در این تحقیق برای بررسی تست نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ٪۹۵ از آماره کلموگروف – اسمیرنف استفاده شد (جدول ۱ و شکل ۲). بر طبق این آزمون، عناصر نیکل، منگنز، روی و فسفر از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند؛ ولی بقیه عناصر از توزیع نرمال پیروی می‌کنند.

جدول ۱. توصیف آماری آزمون نرمالیتی برای متغیرها

Table 1. Statistical description of the normality test for the variables

متغیر	کادمیم	نیکل	سرب	روی	مس	منگنز	آهن	رس	کربنات کلسیم	کربن آلی	فسفر
Sig.	۰/۱۵	۰/۰۱	۰/۳۷	۰/۰۰	۰/۴۲	۰/۰۰	۰/۲	۰/۴۵	۰/۰۶	۰/۱۴	۰/۰۰۲

بررسی داده های کادمیم کربناتی

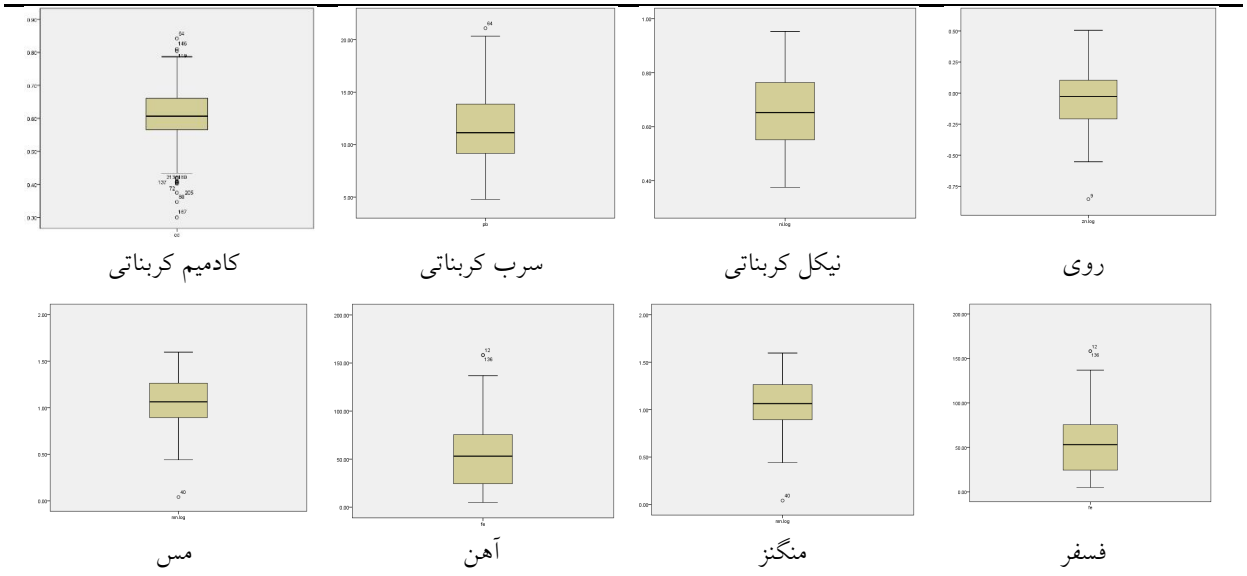
اطلاعات آماری داده‌های مربوط به کادمیم (Na_2EDTA-Cd) در **Error! Reference source not found.** آورده شده است. میانگین کادمیم ۰/۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد. چولگی و کشیدگی برای کادمیم کربناتی ۰/۴۷۳- و ۰/۷۵۲ است که نرمال بودن داده‌ها را تأیید می‌کند. حداقل و حداکثر کادمیم کربناتی به ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۸۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد.

جدول **Error! No text of specified style in document.**۲. توصیف آماری داده‌های مربوط به غلظت فلزات سنگین و فسفر در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود–بابلرود)

Table 2. Statistical description of the data related to the concentration of elements of heavy metals and phosphorus in the lands under the Alborz Dam basin (Siyahrud-Babolrud)

عنصر	میانگین	حداقل	حداکثر	واریانس	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
	میلی‌گرم در کیلوگرم						
کادمیم کربناتی	۰/۶۰۵۳	۰/۳۰	۰/۸۴	۰/۰۰۹	۰/۰۹۲۸۹	۰/۴۷۳-	۰/۷۵۲
سرب کربناتی	۱۱/۵۳۳۶	۴/۷۸	۲۱/۱۰	۱۰/۲۲۰	۳/۱۹۶۹۰	۰/۵۳۳	۰/۱۵۰-
نیکل کربناتی	۴/۹۱	۱/۵۷	۱۰/۰۳	۳/۱۸۲	۱/۷۸۳۷۶	۰/۹۴۵	۰/۲۳۳
روی	۱/۱۳	۰/۱۴	۳/۲۰	۰/۵۳۶	۰/۷۳۲۴۱	۱/۵۰۱	۱/۶۷۰
مس	۳/۸۹	۰/۷۰	۹/۰۲	۳/۴۱۶	۱/۸۴۸۱۲	۰/۴۸۷	۰/۳۳۷-
منگنز	۱۳/۷۹	۱/۱۰	۳۹/۵۰	۷۱/۱۳۱	۸/۴۳۳۹۲	۱/۲۳۱	۱/۰۱۵
آهن	۵۴/۵۷	۴/۹۲	۱۵۸/۴۰	۱۱۸۸/۳۰۸	۳۴/۴۸۱۷۵	۰/۵۸۷	۰/۱۳۴-

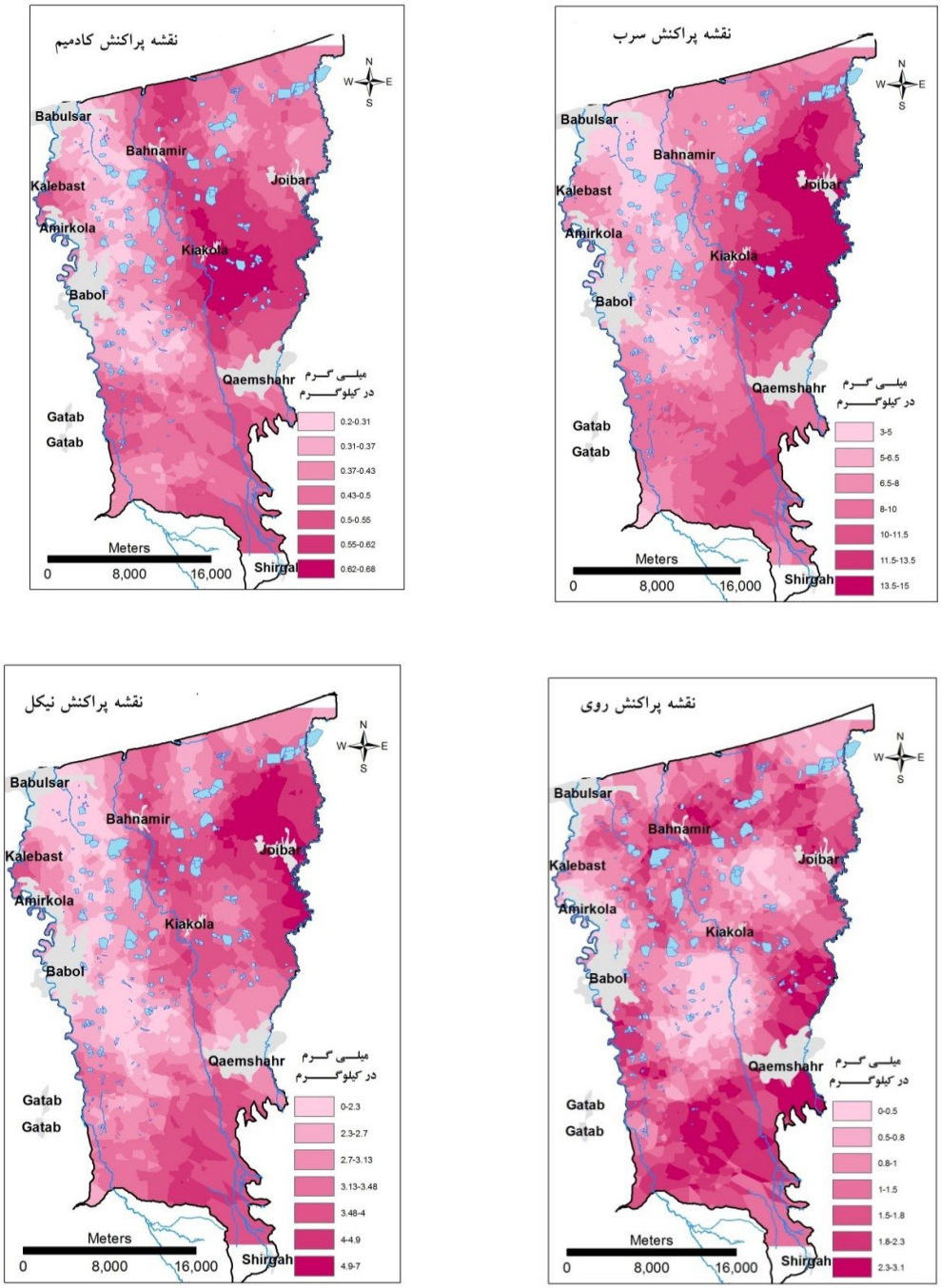
فسفر	روی	نیکل	سرب	کادمیم
۲۵/۲۲	۲/۱٤	۸۰/۷	۳۰٤/۸	۱۷/٤٥



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای غلظت فلزات سنگین در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود–بابلرود)

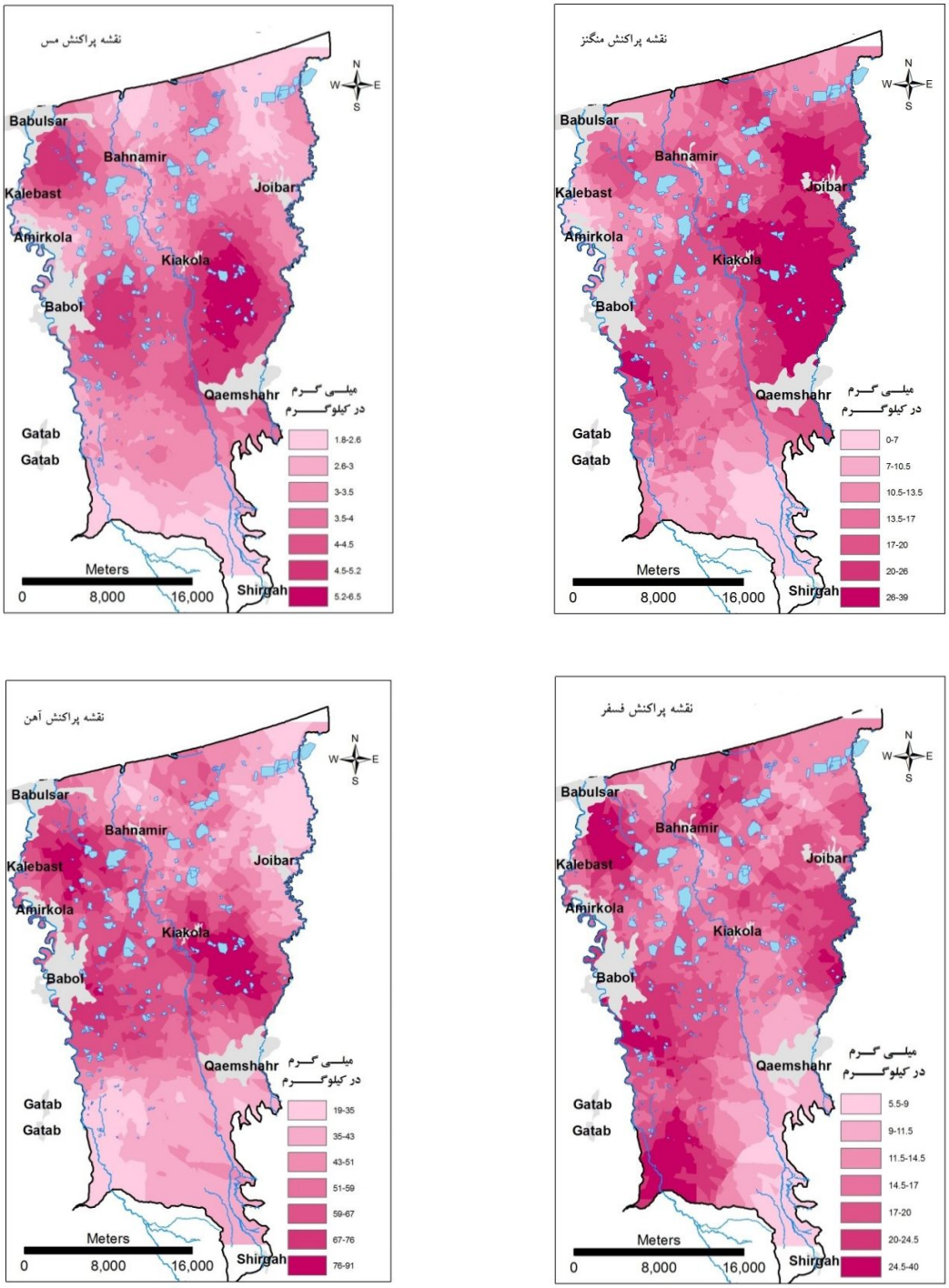
Figure 2. Box diagram of heavy metal concentration in the lands under the Alborz Dam basin (Siyahrud-Babolrud)

شکل ۳ پراکنش کادمیم را در اراضی زراعی حوزه زیر سد البرز را نشان می‌دهد. بیشترین غلظت کادمیم در خاک ۰/۸ میلی‌گرم در کیلوگرم بوده است که بیشترین پراکنش آن از مرکز تا شمال منطقه و در محدوده شهرستان‌های کیاکلا، بهنمیر و نزدیکی جویبار است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در حاشیه رودخانه بابلرود آلودگی کمتری دیده می‌شود درحالی‌که در حاشیه سیاهرود و مناطق مرکزی بیشترین غلظت دیده می‌شود. با توجه به این نکته که حد بحرانی سمیت کادمیم در خاک ۱/۵ تا ۲/۵ میلی‌گرم در کیلوگرم و حد مجاز آن حداکثر ۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است (۲۸)، لذا غلظت کادمیم در منطقه به حد بحرانی سمیت نرسیده است. با این حال پراکنش غلظت کادمیم در منطقه، متفاوت بوده و در برخی مناطق غلظت آن نزدیک به حد بحرانی سمیت نیز رسیده است؛ لذا در صورت استمرار آلودگی از منابع مختلف ممکن است در آینده مشکلاتی را به دنبال داشته باشد. از طرفی دیگر با توجه به نقشه پراکندگی فسفر (شکل ٤)، احتمال می‌رود به علت مصرف نادرست کودهای شیمیایی، به‌خصوص کودهای فسفاته که معمولا حاوی فلزات سنگین از جمله کادمیم هستند، افزایش کادمیم در قسمت‌هایی از منطقه را شاید بتوان تا حدودی به بالابودن فسفر خاک مرتبط دانست. جیاکن و همکاران (۸)، طی تحقیق بر روی توزیع مکانی فلزات سنگین به این نتیجه رسیدند که غلظت عنصر کادمیم تحت‌تأثیر عوامل انسانی و طبیعی است. در تحقیقی، نوروزی (۲٦)، نقشه‌های توزیع مکانی کادمیم را در دو کاربری کشاورزی و جنگل در حوضه آبریز سیاهرود استان گیلان، تهیه نمود. مقایسه میانگین بین کاربری کشاورزی و جنگل نشان داد که غلظت کادمیم به طور معنی‌داری در کاربری کشاورزی افزایش نشان داد. زارعی و همکاران (۳٤) با بررسی توزیع مکانی برخی فلزات سنگین در خاک‌های سطحی بخشی از شهرستان شازند نشان دادند که سرب و کادمیم بیشترین آلودگی را به ترتیب در کاربری مرتع و کشاورزی داشتند.



شکل ۳. پراکنش غلظت فلزات سنگین (کادمیم، سرب، نیکل و روی) در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود–بابلرود)

Figure 3. Distribution of heavy metals (cadmium, lead, nickel and zinc) in the lands under the Alborz Dam basin (Siyahrud-Babolrud)



شکل ٤. پراکنش غلظت فسفر و فلزات سنگین (مس، منگنز و آهن) در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود-بابلرود)

Figure 4. Distribution of phosphorus and heavy metals (copper, manganese and iron) in the under the Alborz Dam basin (Siyharoud-Babolrud)

بررسی داده‌های سرب

میانگین غلظت سرب (Na_2EDTA-Pb) ۱۱/٤ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آمد (جدول ۲). چولگی و کشیدگی برای سرب ۰/۵۳۳ و ۰/۱۵۰- است که نرمال بودن داده‌ها را تأیید می‌کند. شکل ۳ نقشه پراکنش سرب را در منطقه نشان می‌دهد. بیشترین غلظت سرب ۲۱/۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است. بیشترین غلظت در منطقه، نزدیک شهرستان‌های کیاکلا و جویبار و در حاشیه رودخانه سیاهرود و مناطقی از جنوب دیده شد. با توجه به اینکه حد بحرانی سمیت سرب در خاک ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۲۸)، میانگین سرب در منطقه کمتر از حد بحرانی سمیت (حداکثر غلظت مجاز) است و آلودگی به دنبال ندارد، اما در برخی مناطق (نزدیک شهرستان‌های کیاکلا و جویبار و در حاشیه رودخانه سیاهرود) غلظت آن نزدیک به حد بحرانی سمیت نیز رسیده است. تغییرات سرب در منطقه در دامنه طبیعی قرار دارد که احتمال می‌رود میزان سرب در منطقه منشأ طبیعی داشته باشد. البته نباید تأثیر آلایندگی سوخت بنزین در افزایش سرب حاشیه جاده‌ها را نادیده گرفت. هانی و همکاران (۷)، منبع ورودی عناصر سنگین را در شهرک صنعتی کاوه مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که کادمیم، روی و سرب از یک منشأ بوده و از مواد مادری منشأ می‌گیرند. در واقع این فلزات به طور طبیعی در خاک وجود دارد؛ اما فعالیت انسانی موجب افزایش بیشتر آنها می‌شوند.

بررسی داده‌های نیکل

توصیف آماری مربوط به عنصر نیکل (Na_2EDTA-Ni) در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانگین غلظت نیکل در منطقه ٤/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم است که بین ۱/۵۷ و ۱۰/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. چولگی آن ۰/۹٤۵ و کشیدگی آن ۰/۲۳۳ است که نشان‌دهنده غیرنرمال بودن توزیع آن است. نقشه پراکنش نیکل در شکل ۳ نشان داده شده است. در تهیه نقشه نیکل کل در منطقه از روش لاگ کریگینگ استفاده شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مناطق مرکزی و در حاشیه رودخانه سیاهرود در منطقه نزدیک شهرستان‌های کیاکلا، جویبار و نزدیک قائم‌شهر حاوی بیشترین غلظت نیکل است. با توجه به اینکه حد بحرانی سمیت غلظت نیکل ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است (۲۸)، غلظت نیکل در مناطق ذکر شده به بالاتر از این حد نرسیده است. چن و همکاران (۳)، در خاک‌های سطحی در چین نشان دادند که کروم، نیکل و کبالت توسط مواد مادری کنترل می‌شوند. تقی‌پور و همکاران (۳۲)، در بررسی تغییرات مکانی غلظت کل نیکل و مس در خاک‌های سطحی همدان به این نتیجه رسیدند که مواد مادری از عوامل اصلی افزایش نیکل در منطقه به شمار می‌رود.

بررسی داده‌های روی

طبق آزمون کلموگروف اسمیرنف، روی قابل‌جذب (DTPA-Zn) از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. نتایج آماری روی در جدول ۲ نمایش داده شده است. میانگین روی قابل‌جذب ۱/۱۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم و حداقل ۰/۱٤ و حداکثر ۳/۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم به‌دست آمده است. نقشه پراکنش غلظت روی در شکل ۳ نشان داده شده است. ازآنجایی‌که عنصر روی جزو عناصر کم‌مصرف ضروری موردنیاز گیاه محسوب می‌شود، لذا بررسی غلظت آن در خاک از لحاظ تغذیه‌ای از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. لیندسی و نورول (۱۷) حد بحرانی کمبود روی قابل‌جذب را در خاک ۰/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده‌اند. با توجه به حد بحرانی سمیت روی، میانگین غلظت این عنصر در منطقه بالا نیست و آلودگی به دنبال ندارد و در برخی مناطق و به‌صورت پراکنده، غلظت آن پایین‌تر از حد بحرانی کمبود است. کمبود روی عمدتا در مناطق مرکزی و همچنین در اراضی زراعی بین شهرستان‌های جویبار و کیاکلا مشاهده شد. تقی‌پور و همکاران (۳۲)، با بررسی تغییرات مکانی غلظت سرب و روی در خاک‌های بخشی از همدان، میانگین غلظت روی را ۲/۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نموده و pH بالا و آهکی بودن خاک را از دلایل عمده تثبیت روی در خاک دانسته‌اند. سرمدیان و

تقی‌زاده (۲۹)، میانگین روی را در منطقه ۰/٦۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به دست آوردند و گزارش آنها مبنی بر عدم وجود آلودگی در منطقه بوده است.

بررسی داده‌های مس

توصیف آماری مربوط به عنصر مس قابل‌جذب (DTPA-Cu) در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود میانگین غلظت مس در منطقه ۳/۸۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است که بین ۰/۷۰ و ۹/۰۲ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. چولگی برای مس ۰/٤۸۷ و کشیدگی آن ۰/۳۳۷- است که نشان‌دهنده توزیع نرمال آن است. نقشه پراکنش مس خاک منطقه مطالعاتی در شکل ٤ نشان داده شده است. بیشترین غلظت مس در اراضی کشاورزی محدوده شهرهای بابلسر، بابل و همچنین در اراضی بین شهرهای قائم‌شهر و کیاکلا مشاهده شده است. ملکوتی و همکاران (۱۹) حد بحرانی کمبود مس قابل‌جذب را در خاک ۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که غلظت مس در منطقه به حد آستانه سمیت برای گیاه نرسیده ولیکن در برخی مناطق، غلظت مس نسبتا بالا است که می‌تواند ناشی از کشاورزی فشرده در منطقه به‌دلیل استفاده نادرست از کودها، سموم دفع آفات نباتی و فاضلاب‌ها باشد که در صورت توجه‌نکردن به این مسئله ممکن است در آینده مشکلاتی را به دنبال داشته باشد. رودریگوئز – مارتین و همکاران (۲۷) در بررسی فاکتورهای کنترل‌کننده غلظت مس در خاک‌های کشاورزی شمال اسپانیا نشان دادند که هر دو منبع مواد مادری و انسانی در کنترل غلظت مس در خاک‌های موردمطالعه مؤثر است. ملکوتی و همکاران (۱۸)، میانگین غلظت مس را ۰/۹۱ میلی‌گرم در کیلوگرم به دست آوردند و بیان نمودند غلظت مس که بیشتر از سموم دفع آفات و نیز علف‌کش‌ها به خاک وارد می‌شود، در حد ایجاد آلودگی برای محیط‌زیست و مسمومیت برای گیاه نمی‌باشد.

بررسی داده‌های منگنز

طبق آزمون کلموگروف اسمیرنف، منگنز قابل‌جذب (DTPA-Mn) از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. اطلاعات آماری منگنز قابل‌جذب در جدول ۲ نشان داده شده است. میانگین غلظت منگنز قابل‌جذب در منطقه ۱۳/۷۹ میلی‌گرم در کیلوگرم است که بین ۱/۱۰ و ۳۹/۵۰ میلی‌گرم در کیلوگرم تغییر می‌کند. چولگی برای منگنز ۱/۲۳۱ و کشیدگی آن ۱/۰۱۵ است. در شکل ٤ نقشه پراکنش منگنز نمایش داده شده است. همانند عناصر دیگر در قسمت شرقی منطقه و حاشیه سیاهرود، بین شهرستان‌های کیاکلا و جویبار بیشترین غلظت منگنز مشاهده شد. ملکوتی و همکاران (۱۹) حد بحرانی کمبود منگنز قابل‌جذب را در خاک، ۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده‌اند. با توجه به حد بحرانی سمیت منگنز، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با وجود اینکه میانگین غلظت این عنصر در منطقه نسبتا بالا است؛ ولی آلودگی به دنبال نداشته و در برخی مناطق به‌صورت پراکنده، غلظت منگنز کمتر از حد بحرانی کمبود است. کرباسی و همکاران (۱۱)، در بررسی فلزات سنگین رسوبات رودخانه سیاهرود استان مازندران، فعالیت‌های انسانی را در انتشار عنصر منگنز مؤثر دانسته‌اند.

بررسی داده‌های آهن

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میانگین غلظت آهن قابل‌جذب (DTPA-Fe) در منطقه ٥٤/٥۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. حداقل و حداکثر آهن قابل‌جذب به ترتیب ٤/۹۲ و ۱٥۸/٤۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. چولگی و کشیدگی آهن ۰/٥۸۷ و ۰/۱۳٤- به‌دست آمد که نشانه نرمال بودن داده‌ها است. نقشه پراکنش آهن در شکل ٤ نشان داده شده است. بیشترین غلظت آهن در منطقه در مناطق مرکزی، اطراف شهرستان های کیاکلا، بابلسر و بهنمیر دیده می‌شود. ملکوتی و همکاران (۱۹) حد بحرانی کمبود آهن قابل‌جذب را در خاک ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم تعیین کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که میانگین و حداکثر غلظت این عنصر بسیار بالاتر از حد بحرانی کمبود آهن در خاک بوده، لذا

ظاهرا نبایستی با مشکل تغذیه‌ای آهن برای محصولات مختلف زراعی و باغی مواجه باشیم؛ ولی ممکن است از لحاظ فیزیولوژیکی، جذب این عنصر توسط گیاه با مشکلاتی همراه باشد.

بررسی داده‌های فسفر قابل‌جذب

اطلاعات آماری مربوط به فسفر قابل‌جذب (NaHCO3-P) در جدول ۲ آورده شده است. میانگین فسفر در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود – بابلرود) ۲۵/۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و بین ۲/۱ تا ۸۰/۷ میلی‌گرم در کیلوگرم است. چولگی ۱/۷ و کشیدگی آن ۱/۳۷ برآورد شده است. بررسی آزمون کلموگروف اسمیرنف نشان داد، فسفر از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند. با توجه به نقش کودهای فسفردار بر افزایش غلظت فلزات عناصر سنگین خاک و همچنین تداخل آن بر جذب عناصر ریزمغذی، نقشه پراکنش فسفر در منطقه در شکل ٤ نمایش داده شده است. غلظت فسفر در بسیاری از این مناطق، به دلیل مصرف بی‌رویه کودهای شیمیایی فسفاته در سال های گذشته، بسیار بالا است. با توجه به وجود عناصر فلزات سنگین در کودهای شیمیایی فسفاته وارداتی، می‌توان تا حدود زیادی عامل افزایش فلزات عناصر سنگین از جمله کادمیم در خاک‌های منطقه را به مصرف کودهای شیمیایی فسفاته ارتباط داد.

بررسی داده‌های درصد کربن آلی خاک (O.C)

اطلاعات آماری مربوط به کربن آلی در جدول ۳ آمده است. میانگین کربن آلی در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود–بابلرود) ۱/۸۳ درصد و بین ۰/۰۲ تا ۳/۵۵ است. چولگی آن ۰/۳۸۵ و کشیدگی ۰/۰۵۹ برآورد شده است. استفاده از کودهای حیوانی، لجن فاضلاب از مهم‌ترین عوامل افزایش ماده آلی در زمین‌های کشاورزی است.

بررسی داده‌های آهک (TNV)

خلاصه‌ای از اطلاعات آماری مربوط به آهک در منطقه در جدول ۳ آمده است. میزان آهک در منطقه دارای میانگین ۱۰/۷٤، حداقل ۰/۵۰ و حداکثر ۳٤/۷٦ درصد می‌باشد. چولگی و کشیدگی آن نشان از نرمال بودن آهک است.

جدول **.Error! No text of specified style in document**۳. توصیف آماری داده های مربوط به میزان کربن آلی، آهک، رس، سیلت و شن در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود–بابلرود)

Table 3. Statistical description of the data related to the amount of organic carbon, lime, clay, silt and sand in the lands under the Alborz dam basin (Siyahrud-Babolrud)

پارامتر خاک	میانگین	حداقل	حداکثر	واریانس	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
	درصد						
کربن آلی	۱/۸۳	۰/۲	۳/۵۵	۰/٤۰۰	۰/٦۳۲۱	۰/۳۸۵	۰/۰۵۹
آهک	۱۰/۷٤	۰/۵۰	۳٤/۷٦	۵۹/۸۰۱	۷/۷۳۳۱٤	۰/۷۱۵	۰/۱٤۱
رس	۳۵/٤۹	٤/۰۰	٦۵/۰۰	۱٤۱/٤	۱۱/۸۹۲	-۰/۰۱۵	۰/۰٦۵
شن	۲۳/۲۳	٦/۰۰	۸۸/۰۰	۲۵۳/۱	۱۵/۹۳	۲/۰۱	٤/۹
سیلت	٤۱/۲۸	٦/۰۰	٦۹/۰۰	۱۱۱/۲	۱۱/۳	-۱/۲۲	۱/۹۸

بررسی داده‌های مربوط به میزان رس، سیلت و شن

اطلاعات آماری مربوط به میزان رس، سیلت و شن در خاک منطقه در جدول ۳ ارائه شده است. میانگین رس، سیلت و شن به ترتیب برابر با ۳۵/٤۹، ٤۱/۲۸ و۲۳/۲۳ درصد می‌باشد. بر طبق این داده‌ها، بافت خاک منطقه مطالعاتی اغلب از نوع رسی–لومی و رسی است.

همبستگی بین متغیرها

همبستگی بین عناصر فلزات سنگین و فسفر مورد مطالعه و برخی خصوصیات خاک در جدول ٤ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که بین اکثر عناصر مورد مطالعه همبستگی معنی‌دار وجود دارد. نیکل با کادمیم و سرب و همچنین فسفر با کادمیم همبستگی بالاتری نشان می‌دهند. این موضوع بیانگر آن است که احتمالا منشأ نیکل، کادمیم و سرب یکسان است. بیشترین همبستگی بین مس و آهن دیده شده است. جواکوئیم و همکاران (۸) نیز همبستگی بین فلزات سنگین را با استفاده از روش همبستگی پیرسون محاسبه و به این نتیجه رسیدند، فلزاتی که همبستگی قوی با هم دارند احتمالا منابع آلاینده یکسانی دارند. جدول ۵ همبستگی بین عناصر سنگین مورد مطالعه و خصوصیات خاک را نشان می‌دهد. رس خاک در سطح ۱ درصد با سرب، آهن و مس و در سطح ۵ درصد با منگنز ارتباط معنی‌دار دارد. تحقیقات نشان داد که بخش ذرات ریز خاک به‌دلیل سطح ویژه بالا، تمایل بیشتری برای جذب عناصر سنگین در مقایسه با بخش ذرات درشت خاک نشان می‌دهند. دراگویک و همکاران (٦) همبستگی کروم، روی و سرب با ذرات رس خاک را گزارش کردند. بین کربن آلی خاک با سرب، نیکل، آهن، منگنز و مس ارتباط معنی‌دار و مثبت مشاهده شده و ارتباط کربن آلی با منگنز خاک منفی است. تقی‌پور و همکاران (۳۱)، ارتباط مثبت و معنی‌داری بین ماده آلی خاک با غلظت نیکل، کروم، کبالت، مس، روی و سرب را گزارش کردند. بین درصد آهک با سرب، نیکل و روی ارتباط منفی و معنی‌دار وجود دارد. با افزایش آهک، تحرک این عناصر به‌شدت کاهش یافته و موجب افزایش رسوب این عناصر در خاک می‌شوند. کرمی و همکاران (۱۰) ارتباط معنی‌دار و منفی بین روی، مس و آهن در خاک با میزان کربنات کلسیم خاک گزارش کردند. خیرآبادی و همکاران (۱۳) بین درصد آهک با غلظت کروم، نیکل و مس ارتباط منفی و معنی‌داری مشاهده کردند.

جدول ٤. ضریب همبستگی عناصر سنگین و فسفر مورد مطالعه

Table 4. Correlation coefficient of heavy metals and phosphorus

متغیر	کادمیم	سرب	نیکل	آهن	روی	منگنز	مس	فسفر
کادمیم	۱							
سرب	۰/۰۵۵^{ns}	۱						
نیکل	-۰/٤۳**	۰/٤۸**	۱					
آهن	۰/۲۸**	۰/۲۰*	−۰/۱٤۸^{ns}	۱				
روی	−۰/۰۷۸^{ns}	۰/۱۳۷^{ns}	۰/۱۵٦^{ns}	−۰/۰۰٤^{ns}	۱			
منگنز	۰/۰۷٦^{ns}	۰/۳**	۰/۰۸۸^{ns}	۰/۳۲**	۰/۳**	۱		
مس	۰/۳۲**	۰/۳**	-۰/۲٤**	۰/٦۸**	−۰/۰۸۷^{ns}	۰/۳۳**	۱	
فسفر	۰/٤۲**	۰/۲۱**	۰/۱۵۳^{ns}	۰/۲۵**	۰/٤۳**	۰/۱۳۸^{ns}	۰/۰٦۷^{ns}	۱

* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد و ns غیر معنی‌دار

جدول ۵. ضریب همبستگی بین عناصر سنگین و خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 5. Correlation coefficient between heavy metals and soil properties in the studied region

متغیر	کربن آلی	درصد آهک	رس خاک
کادمیم کل	۰/۱۱۷^{ns}	۰/٤۷**	۰/۱۲۸^{ns}
سرب کل	۰/۲۵**	-۰/۳۸**	۰/۳**
نیکل کل	۰/۱۸۱*	-۰/٤۵**	۰/۰۷۹^{ns}
آهن	۰/۲**	۰/۰۲۱^{ns}	۰/۲**
روی	۰/۱۲۸^{ns}	-۰/۱٦٦*	−۰/۰۵۱^{ns}
منگنز	-۰/۱٦٦*	−۰/۱۱۹^{ns}	۰/۱۵*
مس	۰/۳۸**	−۰/۰۰۹^{ns}	۰/٤٤**

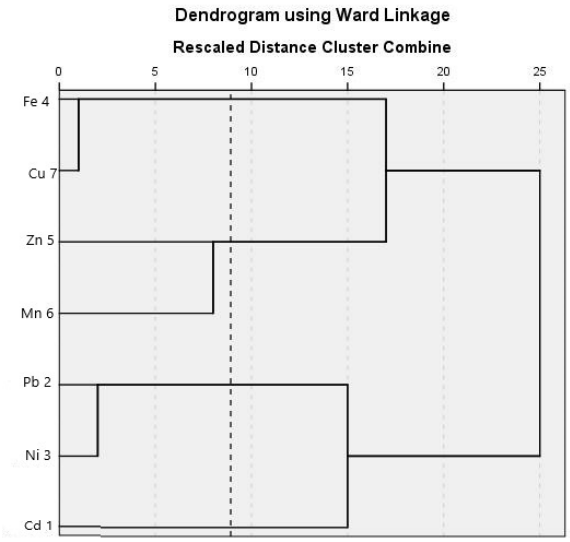
* و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح ۵ و ۱درصد و ns غیرمعنی‌دار

تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

شکل ۵ دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای فلزات سنگین مورد مطالعه را نشان می‌دهد. فاصله خوشه‌ها نشان‌دهنده فاصله بین عناصر است. فاصله کم بیانگر ارتباط قوی و فاصله زیاد، بیانگر ارتباط ضعیف بین متغیرها است. این نتایج مشابه نتایج حاصل از همبستگی بین عناصر است. طبق نتایج آنالیز خوشه‌ای، فلزات سنگین در ٤ گروه قرار می‌گیرند. گروه اول شامل عناصر آهن و مس است که با هم همبستگی قوی دارند. گروه دوم شامل عناصر روی و منگنز، گروه سوم شامل سرب و نیکل و در گروه چهارم کادمیم تشکیل یک خوشه مستقل را می‌دهد. هر گروه به نظر می‌رسد دارای منشأ مشترک هستند. احتمال می‌رود نیکل و سرب منشأ زمین‌شناسی و طبیعی داشته باشند. کادمیم با فاکتورهای انسانی نظیر استفاده از کودهای شیمیایی در مزارع کنترل می‌شود.

ارزیابی روش درون‌یابی

جهت بررسی صحت روش درون‌یابی به کار رفته، میزان خطای درون‌یابی به‌صورت جدول ٦ با استفاده از شاخص‌های میانگین خطا (MEE)، میانگین ، میانگین مجذور خطای کاهش یافته (RMSS) و میانگین مربعات خطا (RMSE) بدست آمد. نتایج بدست آمده نشان داد که نقشه‌های تهیه شده دارای دقت مناسب در تعیین توزیع مکانی کیفیت خاک‌های منطقه مورد مطالعه هستند.



شکل ۵. دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه ای فلزات سنگین مورد مطالعه

Figure 5. Dendrogram resulting from the cluster analysis of the studied heavy metals

جدول ٦. نتایج ارزیابی روش کریگینگ فلزات سنگین مورد مطالعه

Table 6. Evaluation results of kriging method of the studied heavy metals

متغیر	MEE	MSE	RMSS
کادمیم کربناتی	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۹۵۰
سرب کربناتی	۰/۰۳۰	۰/۰۱۰	۱/۰۰٦
نیکل کربناتی	۰/۰۰۲	۰/۰۱٤	۰/۹٤۰
مس	۰/۰۳۳	۰/۰۱۰	۰/۹۷۰
آهن	۰/۳۰۰	۰/۰۱۰	۰/۹۷۰
منگنز	۰/۰۰۵	۰/۰۲۰	۱/۰٤۰
روی	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۱/۰۵۸

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پراکنش غلظت کادمیم در منطقه متفاوت بوده و عمدتاً به حد بحرانی سمیت نرسیده ولی در برخی مناطق، غلظت آن تا حدود زیادی به حد بحرانی سمیت نزدیک است. بیشترین پراکنش غلظت کادمیم از مرکز تا شمال منطقه و در محدوده شهرستان‌های کیاکلا، بهنمیر و نزدیکی جویبار است؛ لذا در صورت استمرار آلودگی از منابع مختلف ممکن است در آینده مشکلاتی را به دنبال بیاورد. در حاشیه رودخانه بابلرود، کمترین غلظت کادمیم، درحالی‌که در حاشیه رودخانه سیاهرود و مناطق مرکزی بیشترین غلظت کادمیم دیده شده است.

سرب بیشترین غلظت را در مناطق نزدیک شهرستان‌های کیاکلا و جویبار و در حاشیه رودخانه سیاهرود نشان داد. میانگین غلظت سرب در منطقه عمدتا کمتر از حد بحرانی سمیت است، ولی در برخی مناطق، غلظت آن تا حدودی نزدیک به حد بحرانی سمیت است. میزان سرب در منطقه عمدتاً منشأ طبیعی دارد. البته نباید تأثیر آلایندگی سوخت بنزین در مسیر جاده‌ها را نادیده گرفت. بیشترین غلظت نیکل، در مناطق مرکزی و در حاشیه رودخانه سیاهرود و در مناطق نزدیک به شهرستان‌های کیاکلا، جویبار و قائم‌شهر مشاهده گردید.

نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت روی در منطقه نه‌تنها به حد آستانه سمیت برای گیاه نرسیده، بلکه در برخی مناطق به‌خصوص در مناطق مرکزی و همچنین در اراضی زراعی بین شهرستان‌های جویبار و کیاکلا کمبود این عنصر نیز مشاهده گردید. بیشترین غلظت مس در اراضی کشاورزی محدوده شهرستان‌های بابلسر، بابل و همچنین در اراضی بین شهرهای قائم‌شهر و کیاکلا مشاهده گردید. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت مس در منطقه به حد آستانه سمیت برای گیاه نرسیده، با این‌حال در برخی از مناطق، غلظت بالایی از مس مشاهده شد که این امر می‌تواند ناشی از کشاورزی فشرده در منطقه، استفاده نادرست از کودها، سموم دفع آفات نباتی و همچنین فاضلاب باشد.

بیشترین غلظت آهن در مناطق مرکزی و همچنین در شهرستان‌های کیاکلا، بابلسر و بهنمیر مشاهده گردید. میانگین غلظت آهن بسیار بالاتر از حد بحرانی تعیین شده برای کمبود این عنصر برای گیاه است، بنابراین نبایستی با مشکل تغذیه‌ای برای محصولات مختلف زراعی و باغی مواجه باشیم، با این‌حال در برخی محصولات باغی، کمبود این عنصر گزارش شده است. غلظت منگنز در منطقه به حد آستانه سمیت برای گیاه نرسیده، ولی میانگین غلظت منگنز در منطقه نسبتا بالا است. میزان آهک در منطقه دارای میانگین ۱۰/۷٤ درصد، حداقل ۰/۵۰ و حداکثر ۳٤/۷٦ درصد می‌باشد. میانگین میزان

کربن آلی در محدوده اراضی حوزه زیر سد البرز (سیاهرود- بابلرود) ۱/۸۳ درصد که حداقل ۰/۲ و حداکثر ۳/۵ درصد متغیر است.

همبستگی بین عناصر و ویژگی‌های خاک نشان داد که رس خاک همبستگی مثبت با منگنز، سرب، آهن و مس دارد. بین کربن آلی خاک با سرب، نیکل، آهن و مس ارتباط معنی‌دار و مثبت مشاهده شده در حالی‌که ارتباط کربن آلی خاک با منگنز منفی است. بین درصد آهک با سرب، نیکل و روی ارتباط منفی و معنی‌دار وجود دارد. با افزایش آهک، غلظت این عناصر کاهش می‌یابد و موجب رسوب فلزات سنگین در خاک می‌شوند. همبستگی بین عناصر نشان داد که بین عناصر مس و آهن بیشترین ارتباط مثبت وجود داشته؛ ولی در مناطقی که از لحاظ مس و آهن غلظت زیادی دارند، روی کمتری مشاهده شده است.

نتایج آنالیز خوشه‌ای نشان داد که نیکل، کادمیم و سرب در یک خوشه قرار گرفته و احتمالا کلیه این عناصر از یک منشأ که می‌تواند عامل انسانی باشد منشأ گرفته‌اند. در ارزیابی صحت روش میان‌یابی کریگینگ معمولی، نتایج آنالیز آماره‌های خطای تخمین (MEE)، میانگین مجذور خطای تعدیل شده (RMSS) و میانگین مربعات خطا (MSE) نشان داد، به‌غیر از آهن، این روش برای سایر عناصر مناسب بوده و از دقت و صحت قابل قبولی برخوردار است. در مجموع در مناطق مورد مطالعه، روستای کیاکلا دارای بیشترین غلظت عناصر در منطقه بوده که احتمالا به دلیل استفاده از کشاورزی فشرده در منطقه و کاربرد نادرست کودها، سموم و آبیاری با آب آلوده است.

سپاسگزاری

این تحقیق با اعتبار پژوهشی سازمان جهاد کشاورزی مازندران و با شماره مصوب ۹۰۰۳۶-۱۰-۶۰-٤ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی انجام شده است که بدین‌وسیله از تأمین اعتبار سازمان جهاد کشاورزی مازندران و مساعی مؤسسه تحقیقات خاک و آب در تصویب پروژه و اجرای آن در بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران تشکر می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Atteia O, and Dubois JP. 1994. Geostatistical analysis of soil contamination in the Swiss Jura. Env. Pollution. 86: 315-327. doi:10.1016/0269-7491(94)90172-4
2. Brown RE. 1975. Significance of trace-metals and nitrate in sludge Soil. J. Water Pollution Control Federation. 47(12): 2863-2875.
3. Chen T, Liu X, Zhu M, Zhao K, Wu J, and Huang P. 2008. Identification of trace element sources and associated risk assessment in vegetable soils of the urban rural transitional area of Hangzhou, China. Environ. Poll. 151: 67-78. doi: 10.1016/j.envpol.2007.03.004
4. Cherati A, and Malekoti MJ. 2009. Investigating the chemical forms of zinc residue resulting from the application of zinc sulfate in some soils of Mazandaran. Soil and Water Sciences. 23(2):181-189. doi:10.22092/IJSR.2010.126948 (In Persian)
5. Dadger M, Shaheswar A, and Yusufzadeh A. 2010. Investigation of changes of cadmium in Absard plain of Tehran. International Conference on Plant, Water, Soil and Air Modeling, Shahid Bahonar University of Kerman, page 9. (In Persian)
6. Dragovic S, Mihailovic N, and Gajic B. 2008. Heavy metals in soils: Distribution, relationship with soil characteristics and radionuclide's and multivariate assessment of contamination sources. Chemosphere. 72:491–495. doi: 10.1016/j.chemosphere.2008.02.063
7. Hani A, Pazira E, Manshouri M, Babaie Kafaky S, and Ghahroudi Tali M. 2010. Spatial distribution and mapping of risk elements pollution in agricultural soils of southern Tehran, Iran. Plant, Soil and Environment. 56(6):288-296. doi: 10.17221/16/2010-PSE
8. Jiachun S, Haizhen W, Jianming X, Jianjun W, Xingmei L, and Haiping Z. 2007. Spatial distribution of heavy metal in soil: A case study of changing, China. Environ. Geol. 52:1-10. doi: 10.1007/S00254-006-0443-6
9. Kabata-Pendias A, and Mukherjee AB. 2007. Trace Elements from Soil to Human. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. 550 pages. 23.http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-32714-1

10. Karami M, Afyuni M, Khoshgoftarmanesh AH, Paritz A, and Schulin R. 2009. Grain zinc, iron, and copper concentrations of wheat grown in central Iran and their relationships with soil and climate variables. J. Agric. Food Chem. 57: 10876–10882. doi: 10.1021/jf902074f.
11. Karbasi A, Nabi G, Ghadban F, and Kokbi Sh. 2010. Chemical partitioning and pollution intensity of heavy metals in Siahrud river sediment. Journal of Environment. 53:11-20. doi:20.1001.1.10258620.1389.36.53.2.5 (In Persian)
12. Kazemi Z. 1996. Investigating the pollution of Syahrud river. Master thesis, Faculty of Environment, University of Tehran, 180 pages. (In Persian)
13. Khairabadi, H. 2010. Kheirabadi H, Afyuni M, Ayoubi S, Soffianian A. 2016. Risk assessment of heavy metals in soils and major food crops in the province of Hamadan. Journal of Water and Soil Science. 19 (74) :27-38. doi:20.1001.1.24763594.1394.19.74.3.7
14. Khodakarmi L, Sufianian A, Mirghafari N, Afioni M, and Gulshahi A. 2011. Zonation of heavy metal concentrations of chromium, cobalt and nickel in the soils of three sub-watersheds of Hamadan province. Agricultural sciences and techniques and natural resources. Water and Soil Sciences. 58:243-250. doi: 20.1001.1.24763594.1390.15.58.8.2 (In Persian)
15. Kishne AS, Bringmark E, Bringmark L, and Alriksson A. 2006. Comparison of ordinary and lognormal kriging on skewed data of total cadmium in forest soils of Sweden. Evironmental Monitoring and Assessment. 84:243-263. doi: 10.1023/a:1023326314184.
16. Lado LR, Hengl T, and Reuter HI. 2008. Heavy metals in European soils: A geostatistical analysis of the FOREGS geochemical database. Geoderma. 148:189-199. doi:10.1016/J.GEODERMA.2008.09.020
17. Lindsay WL, and Norwell. 1978. W.A. Development of DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. Soil Sci. Soc. Amre. Proc. 42(3):421-428. doi:10.2136/sssaj1978.03615995004200030009x
18. Malekoti, MJ, Khavazi K, and Noorzadeh M. 2009. Investigation and zoning of heavy metal concentration (zinc, iron and copper) in agricultural lands of Hamadan province. Geology and Environmental Engineering Conference. Tarbiat Modares University. Page 1209-1216. (In Persian)
19. Malekoti MJ, Mosheiri F, Ghaibi M, and Molavi P., 2005. The optimum concentration of nutrients in soil and some agricultural and horticultural crops. Technical No. 406, Sana Publications, Tehran. 65 pages (In Persian)
20. Matkan AA, Kazemi A, Gili MR, and Ashurlo D. 2008. Investigating the spatial distribution of cadmium and determining endangered vegetation in the central region of Iran located in Isfahan province using GIS and RS. Journal of Environmental Sciences. 2: 65-76. (In Persian)
21. Matheron G. 1969. Le krigeage universel (Universal kriging) Vol. 1. Cahiers du Centre de Morphologie Mathematique, Ecole des Mines de Paris, Fontainebleau, 83 p.https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2003.08.018.
22. Mohammadi J. 2001. A review of the basics of geostatic and its application in soil science. Journal of Soil and Water Sciences. 1:90-121. (In Persian)
23. Mohammadi J. 2000. Evaluation and mapping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjunctive kriging. Journal of Agricultural Research. 25(6): 45-57. doi: 10.22099/IAR.2000.4310
24. Nicholson FA, Smith SR, Alloway BJ, Carlton-Smith C, and Chambers BJ. 2003. An inventory of heavy metal input to agricultural soil in England and Wales. Science Total Environ. 311:205-219. doi:10.1016/S0048-9697(03)00139-6.
25. Nowrozi A, Qutbrazmjo SH, and Charkhabi AH. 2009. Evaluation of the spatial distribution of cadmium in some agricultural and forest soils in the Gilan plain, 11th Iran Soil Science Congress, Gorgan, page 2292. (In Persian)
26. Oliver MA, and Webster R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. Journal of Catena. 113: 56-69.
27. Rodriguez Martin JA, Arias ML, and Grau Corbi JM. 2006. Heavy metals contents in agricultural topsoils in the Ebro basin (Spain). Application of the multivariate geoestatistical methods to study spatial variations. Environ. Pollut. 144:101–1012. doi: 10.1016/j.envpol.2006.01.045
28. SAEFL (Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape). 2001. Commentary on the ordinance of 1 July. 1998. Relating to impacts on the soil.
29. Sarmadyan F, and Taghizadeh Mehrjooi R. 2009. Investigating the effectiveness of geostatistical methods for the purpose of zoning some soil characteristics in Akhtarabad region. Pasture and Watershed Journal (Iranian Natural Resources Journal). 62(3): 377-388. (In Persian)
30. Shahbazi A, Soffianian AR, Afraz R, and Khodakarami L. 2011. The spatial distribution of heave metals cadmium, copper and lead in soil and sources of these metals (Case study: Nahavand city). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 2(2): 97-109. (In Persian)

31. Taghipour M. 2009. Spatial changes of some heavy metals in the surface soils of a part of Hamadan province. Master's Thesis in Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. 98 pages. (In Persian).
32. Taghipour M, Ayoubi S, and Khademi H. 2011. Spatial variability of total Ni and Cu concentration in surface soils surrounding the Hamadan city using geostatistic technique. Water and Soil Conservation. 17(2), 69-87 magiran.com/p937991
33. Wu C, and Zhang L. 2009. Heavy metal concentrations and their possible source in paddy soils of a modern agricultural zone, southeastern China, J. Environ. Earth Sci. 60(1):45-56. doi 10.1007/s12665-009-0168-4
34. Zarei L, Hashemi SS, and Najafi M. 2022. Spatial distribution of some heavy metals in two agriculture and rangeland uses (a case study: Shahzand industrial city, Arak). Journal of RS and GIS for Natural Resources, in press. (In Persian)

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 15/ Issue 3) Autumn 2024
Indexed by ISC, SID, Magiran, Noormags, Civilica, Google Scholar
journal homepage : https://sanad.iau.ir/journal/girs/

Original paper

Spatial distribution mapping of heavy metal pollutants in soils of different areas of Alborz Dam basin in Mazandaran

Ali Cherati[1], Behnosh Jafari[2] and Mohammad Ismaeil Kamali[3]

Received: 2022-08-30 / Accepted: 2022-11-13 / Published: 2025-01-16

Abstract

Soil pollution and heavy metal accumulation is one of the most important environmental problems to plants, animals and human health. Because the lack of heavy metal distribution map in Mazandaran, the objective of this research is to provide map of heavy metal (Cd, Pb, Ni, Zn, Fe, Mn and Cu) distribution and evaluate pollution pattern in arable land of the Alborz Dam downstream basin. Composite soil samples with systematic sampling scheme in 2-Km regular grid were provided. Carbonate Cd, Pb and Ni content by 0.05M Na2EDTA and exchangeable Zn, Fe, Mn and Cu content with DTPA extractant by means of AAS. The data normality were assessed, and then standardized if necessary. Spatial distribution maps were drawn using the ordinary kriging method. The best interpolator were monitored with respect to some statistics such as mean error, mean square error and root mean square standardized. Results show that carbonates Cd, Ni and Pb don't have high content in soil. Soil contamination of Cd, Ni and Pb was mainly derived from anthropic activities like agricultural practices, irrigate with contaminated water. Cu and Fe with high correlation coefficient have high content around Babol, Kiakola and Babolsar. Zn content is normal in the area and in some places is less than normal content but rather is suitable for plants. Evaluating kriging method showed that, ordinary kriging is the best way of estimating not sampled areas, but not for Fe. In maps, the most contaminated area was near Siahrod river in east, especially between Joibar and Kiakola and near Ghaemshahr.

Extended Abstract

Background and objectives

In order to prevent the entry of heavy elements into the food chain and the spread of contamination, it is necessary to identify the places contaminated with these elements. One of the main problems in the evaluation of the pollution situation is the impossibility of sampling from all the points. For this purpose, a suitable solution should be used to generalize the results obtained from the measured points to the entire sampling surface. One of the solutions is to use new techniques, such as

Ali Cherati[1](✉), Behnosh Jafari[2] and Mohammad Ismaeil Kamali[3]

1. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.
2. Assistant Professor, Soil Protection and Watershed Management Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.
3. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran.

DOI: 10.30495/girs.2022.697066

e-mail: a.cherati@areeo.ac.ir

geostatistics, to study the spatial distribution pattern of data and prepare the desired maps. Kriging methods, which are one of the geostatistical methods, are used to determine the spatial distribution of heavy metals in the soil, as a suitable method for interpolation and preparation of pollutant maps. In order to prevent the entry of these metals into the food chain and the spread of contamination, it is necessary to identify the contaminated places (zonation of these elements in the soil). Considering the many plans for economic and social development and optimal use of water and soil resources in the agricultural lands below the Alborz Dam (the area between the Babolrud and Siahroud rivers. This research was carried out in order to monitor soil quality from the point of view of pollution and zoning of cadmium, lead, nickel, zinc, copper, manganese and iron concentrations using the most suitable model and kriging estimator method and to determine the effective factors in the distribution of this element.

Methodology

This research was carried out in the water and soil area of Alborz, in agricultural lands in the area of Siahroud and Babolrud rivers, including the cities of Babol, Ghaemshahr, Kiakola, Behnemir and Joibar, with an area of 95056 hectares. The surface composite soil sample was collected in grid form with two kilometers intervals (2 kilometers x 2 kilometers) from a depth of 0-30 cm and the geographical characteristics of the sampling site were recorded with a GPS device. 0.05 M Na2EDTA extractant (carbonate form of cadmium, lead and nickel) was used to measure the potentially available form of cadmium, lead and nickel. DTPA extractant was used to measure the concentration of heavy elements zinc, iron, copper and manganese in soil. The data normality test was used at the 95% confidence level of the Kolmogorov-Smirnov statistic, and the elements that did not follow the normal distribution were normalized by removing outliers from all samples and taking the logarithm. The results were statistically analyzed using SPSS software. The data was entered into the geographic information system environment (GIS) and then processed and organized, and the database of the studied area was formed in the GIS environment for georeferencing. Finally, the required information layers were digitized.

Results and discussion

The distribution of cadmium in the agricultural lands of Alborz Dam basin shows that the highest distribution of cadmium is from the center to the north of the region and in the area of Kiakola, Behnemir and near Joibar. Considering the point that the critical limit of cadmium toxicity in soil is 1.5 to 2.5 mg/kg and its maximum limit is 1 mg/kg, therefore the concentration of cadmium in the region has not reached the critical limit of toxicity. However, the distribution of cadmium concentration in the region is different and in some regions its concentration has reached to critical level. The highest concentration of lead is 21.10 mg/kg. The highest concentration of lead can be seen in the region, near Kiakola and Joibar, on the banks of the Siahroud River, and in areas in the south. The distribution map of nickel shows that the central areas and along the Siahroud River in the area near Kiakola, Joibar and near Qarmshahr contain the highest concentration of nickel. The concentration of nickel has not reached above the critical level of toxicity in the mentioned areas. Regarding the heavy metals that have a nutritional aspect for the plant, we can mention zinc, copper, manganese and iron. According to the critical limit of zinc toxicity, the average concentration of this element in the region is not high and there is no pollution, and in some areas, especially the central areas, as well as in the agricultural lands between Joibar and Kiakola cities, the deficiency of this element was also observed. The results of this research show that the concentration of copper in the region has not reached the threshold of toxicity for plants, but in some regions, a high concentration of copper can be caused by intensive agriculture in the region and improper use of fertilizers, poisons, and sewage. As other elements, the highest concentration of manganese observed in the eastern part of the region and on the edge of Siahroud, between Kiakola and Joibar. Regarding the critical limit of manganese toxicity, the results of this research show that the concentration of this element in the region is relatively high, but pollution does not follow, and in some areas, the concentration of manganese is at the critical limit of deficiency. The highest concentration of iron in the region can be seen in the central areas, around the cities of Kiakola, Babolsar and Bahnemir. The results of this research show that the average concentration of this element in the region is much higher than the critical level of iron deficiency in the soil, so it seems that we should not face the nutritional problem of iron for various agricultural

and horticultural products but the absorption of this element by the plant may be limited physiologically. The correlation between heavy elements and some soil characteristics showed that soil clay has a positive correlation with manganese, lead, iron and copper. There is a significant negative relationship between the amount of lime and the concentration of lead, nickel and zinc in the soil. With the increase of lime, the concentration of these elements decreases and causes the precipitation of heavy metals in the soil.

Conclusion

The concentration of heavy metal elements cadmium, lead and nickel in the region has not reached the critical level of toxicity, but in some areas, the concentration of cadmium has reached the critical level of toxicity. On the banks of the Babolrud river, less pollution is seen, while on the banks of the Siahroud river and in the central areas, the highest concentration of these elements is seen, so that the highest distribution of the heavy metal elements cadmium, lead and nickel is from the center to the north of the region and in the limits of Kiakola, Bahnemir and near Joibar. The increase of cadmium in some parts of the region may be related to the high level of soil phosphorus caused by the use of phosphate fertilizers containing heavy metals, especially cadmium. Regarding the elements of heavy metals which have a nutritional aspect on the plant, the concentration of elements zinc, copper, manganese and iron in the region has not only not reached the threshold of toxicity for the plant, but also in some areas, especially in the central areas, as well as in the agricultural lands between the cities of Joibar. And Kiakola, deficiency of zinc and manganese was also observed. The relatively high concentration of copper in some agricultural lands of these regions can be attributed to some extent to intensive agriculture in the region, improper use of fertilizers and poisons, and also to the use of water polluted by the sewage of the Siahroud River. Although the concentration of iron in the region is relatively high and apparently we should not face a nutritional problem for the plant in terms of the amount of iron in the soil, but the absorption of this element may be associated with problems for the plant from a physiological point of view.

Keywords: pollution, soil quality, interpolation, kriging

Please cite this article as: Cherati A, Jafari B, Ismaeil Kamali M. Spatial distribution mapping of heavy metal pollutants in soils of different areas of Alborz Dam basin in Mazandaran. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 15(3): 25-47