کاربرد تکنیک زمین‌آمار در پیش‌بینی تغییرات مکانی بافت خاک (مطالعه موردی: دشت فراهان– استان مرکزی)

علی افضلی[۱]*، جواد وروانی[۲] و رضا جعفری‌نیا[۳]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

[۲] عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

[۳] عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۱۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۶

چکیده

در این پژوهش، به بررسی تغییرات مکانی بافت خاک در دشت فراهان استان مرکزی، با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ پرداخته شد. ابتدا داده‌های ۵۴ نمونه خاک از منطقه مطالعاتی تهیه شد. سپس آماره‌های توصیفی برای داده‌ها با استفاده از تحلیل‌گر زمین‌آمار نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تعیین گردید. سپس به منظور نمایش تغییرات مکانی، از روش کریجینگ استفاده شد. با توجه به نتایج شاخص‌های ارزیابی، مدل کریجینگ از کارایی قابل قبولی در پهنه‌بندی تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک برخوردار بود. بطوری که مقادیر شاخص‌های ارزیابی نزدیک به یک می‌باشند. از طرفی شدت همبستگی مکانی بالا بود و در همه مدل‌ها کمتر از ۰/۲۵ بدست آمد. طبق نتایج، ویژگی‌های ذاتی خاک، اقلیم و کاربری اراضی در تغییرات بافت خاک دشت فراهان موثر بودند که در این میان، توجه به نوع کاربری در مطالعات خاک و پی پروژه‌های عمرانی مهم‌تر است.

کلید واژه‌ها: تغییرات مکانی، بافت خاک، زمین آمار، شاخص‌های ارزیابی، دشت فراهان

۱– مقدمه

خاک بر اثر تخریب فیزیکی و شیمیایی سنگ‌ها و فعالیت موجودات زنده به‌وجود می‌آید و از ذراتی تشکیل شده است که نحوه آرایش فضایی ذرات نسبت به همدیگر و درصد نسبی اجزای تشکیل دهنده آن، تعیین‌کننده نوع ساختمان و بافت خاک می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹). بافت خاک به درصد وزنی اجزاء کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر (شن، سیلت و رس) در خاک اتلاق می‌شود. درصد شن، سیلت و رس در عملیات میدانی برآورد و

* نویسنده عهده دار مکاتبات: a.afzali@gmail.com

برداشت شده و در آزمایشگاه به روش هیدرومتر یا پیپت اندازه‌گیری می‌شود و سپس با استفاده از مثلث بافت، کلاس‌های بافت تعیین می‌گردد (صفری، ۱۳۹۱).

در فرآیند تشکیل خاک عوامل و فرایندهای مختلفی دخیل هستند که در طول زمان متغیراند و خواص خاک تحت تأثیر آنها شکل می‌گیرد (ژای[1] و همکاران، ۲۰۰۶؛ ادهیکاری[2] و همکاران، ۲۰۰۹). یکی از ویژگی‌های کلیدی خاک تغییرپذیری زمانی و مکانی خاک است. خصوصیات خاک دارای پیوستگی مکانی بوده و همبستگی متقابل بین آنها وجود دارد که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (فاکتورهای تشکیل مواد خاک مانند مواد مادری خاک) و خصوصیات غیرذاتی خاک (مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی، تناوب زراعی و فرسایش) قرار دارند (جلالی و همکاران، ۱۳۹۲). هر چند وجود تغییرات مکانی در خصوصیات خاک امری طبیعی می‌باشد، ولی شناخت این تغییرات به‌منظور برنامه‌ریزی دقیق و مدیریت پروژه‌های عمرانی مرتبط با مباحث فنی خاک و پی امری اجتناب‌ناپذیر است (میلر[3] و همکاران، ۲۰۰۳). از طرفی مدیریت پایدار اکوسیستم مستلزم شناخت و ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در خصوصیات خاک به‌منظور بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع می‌باشد که از مهمترین عوامل مؤثر در مدیریت پایدار اکوسیستم، حفظ کیفیت خاک آن اکوسیستم می‌باشد. لذا شناخت ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک می‌تواند کمک شایانی در نوع تصمیمات مدیریتی و اجرایی پروژه‌های مختلف زیست‌محیطی داشته باشد (چنگ[4] و همکاران، ۲۰۰۶) و یکی از ضروریات برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع زمینی در سطوح محلی و منطقه‌ای می‌باشد (بازگیئر[5] و همکاران، ۲۰۰۸).

برآورد رفتار و طبقه‌بندی خاک، امری مؤثر در جهت ساخت و ساز بهینه است و موجب کاهش خسارات ناشی از زلزله و جنبش‌های شدید آتی می‌شود (کلانتریان، ۱۳۹۲). تغییرپذیری خصوصیات خاک با این فرض که توزیع خصوصیات خاک در عرصه به‌صورت تصادفی است، اغلب توسط روش‌های آماری کلاسیک بیان می‌شود. در این روش‌ها نتایج به‌دست آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها، مستقل از موقعیت مکانی آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. بنابراین مقدار یک کمیت در یک نمونه، هیچ اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نمونه‌های دیگر به فواصل مختلف به‌دست نمی‌دهد (جعفرنیا و اکبرنیا، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه یکی از خصوصیات مشترک عوامل محیطی، تغییرات پیوسته مکانی آنها می‌باشد، به منظور توصیف کمی الگوهای پراکنش چنین متغیرهای محیطی، علاوه بر مقدار تعیین شده ویژگی مورد نظر، بایستی موقعیت جغرافیایی مشاهدات نیز به‌طور همزمان در نظر گرفته شود (بوما[6] و همکاران، ۱۹۹۶). چرا که تغییرات متغیرهای محیطی از نقطه‌ای به نقطه دیگر، به گونه‌ای است که مطالعه آنها به‌وسیله شیوه‌های معمول تجزیه و تحلیل آماری به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد؛ زیرا در بسیاری از روش‌های متداول آمار کلاسیک، موقعیت مکانی نمونه‌های برداشت شده در نظر گرفته نمی‌شود (کایدانی و دلبری، ۱۳۹۱).

[1] Zhai
[2] Adhikari
[3] Miller
[4] Cheng
[5] Bazgeer
[6] Bouma

آگاهی از نحوه پراکنش خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از مهمترین امور در شناسایی، برنامه‌ریزی، مدیریت و بهره‌برداری از منابع آب و خاک است. اما با توجه به مشکلاتی که در اندازه‌گیری مستقیم این پارامترها در عرصه وجود دارد (زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری مستقیم از طریق آزمون‌های صحرایی و آزمایشگاهی)، یافتن راهکاری در تخمین این خصوصیات بسیار ضروری به نظر می‌رسد (کاترجی و ماستروریلی[1]، ۲۰۰۹). امروزه با برخورداری از امکانات رایانه‌ای و نیز با به‌کارگیری فناوری سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، با ایجاد بانک‌های اطلاعاتی می‌توان اطلاعات را جمع‌آوری، طبقه‌بندی و به‌روز نموده و با انجام تحلیل‌های مکانی، اطلاعات سودمندی از وضعیت مکانی عوامل خاکی و روند تغییرات آنها به‌دست آورد و وضعیت این عوامل را به‌صورت نقشه ارائه نمود (نصرت‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). در این زمینه به‌کارگیری سیستم‌های پردازش اطلاعات مکانی مانند زمین‌آمار، نقش مهمی در مدیریت منابع آب و خاک دارد. فناوری و تکنیک زمین‌آمار اغلب موجب کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت در انجام پروژه‌ها می‌گردد (دائم‌پناه و همکاران، ۱۳۹۰). یکی از روش‌های بررسی و ارزیابی مناسب توزیع مکانی خصوصیات خاک در زمین‌آمار، روش کریجینگ می‌باشد. کریجینگ یک درون‌یاب زمین‌آماری و فرایندی تخمینی است که مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار می‌باشد. در طی آن، برای تخمین مقادیر در نقاط نمونه‌برداری نشده، وزن‌هایی را به مقادیر نمونه‌برداری شده اطراف نسبت می‌دهد. این روش، بهترین تخمین‌گر خطی نااریب[2] محسوب می‌شود (کتلر[3] و همکاران، ۲۰۰۱).

در ارتباط با مطالعه‌ی خصوصیات خاک و بررسی تغییرپذیری مکانی و زمانی آن، مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای در دنیا صورت گرفته است. تقی‌پور و همکاران (۱۳۸۹) به کمک زمین‌آمار تغییرات مکانی غلظت نیکل و مس در خاک‌های سطحی اطراف همدان را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. بدین منظور به‌وسیله روش کریجینگ، نقشه پراکنش مکانی عناصر مورد مطالعه ترسیم شد. قربانی و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات خاک مراتع نیمه‌خشک سبلان شرقی با استفاده از تکنیک زمین‌آمار پرداختند. نتایج نشان داد که پارامترهای مورد بررسی دارای ساختار مکانی قوی از طریق درون‌یابی هستند. جعفرنیا و اکبرنیا (۱۳۹۳)، با استفاده از تکنیک زمین‌آمار به بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب در جنگل‌های مانگرو جزیره قشم پرداختند. ارزیابی نتایج بر اساس محاسبه معیارهای RMSE، MAE و R نشان‌دهنده دقت قابل قبول روش کریجینگ در بررسی خصوصیات خاک و آب بود. مطالعات شیرانی و همکاران (۱۳۹٤) برای ارزیابی برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از زمین آمار در منطقه بافت کرمان در ۱۸۳ نقطه و تهیه نقشه‌های کریجینگ، حاکی از ارزیابی قابل قبول این تکنیک در پهنه‌بندی تغییرات کیفی خاک بود. پیری صحراگرد و پیری (۱۳۹۵) با هدف بررسی تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در شهرستان خاش به این نتیجه رسیدند که خصوصیات مرتبط با خاک (درصد شن، رس و سیلت) دارای ساختار مکانی قوی هستند و بالا بودن مقدار خطا و اریب برآوردها نشان می‌دهد که به علت بالا بودن مقدار اثر قطعه‌ای و ضعیف بودن ساختار مکانی، کریجینگ

[1] Katerji and Mastrorilli
[2] Best Linear Unbiased Estimator
[3] Kettler

نتوانسته بر اساس مدل برازش شده برای برخی متغیرها برآورد صحیحی انجام دهد. ژینگ-یای[1] و همکاران (۲۰۰۷)، در شمال چین به بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک با استفاده زمین‌آمار پرداختند. نتایج نشان داد روش کریجینگ به‌طور موفقیت آمیزی توانسته متغیرها را با دقت بالا درون‌یابی کند. وو[2] و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای بر روی پراکنش مقدار ماده آلی در خاک‌های شمال شرق چین ثابت نمودند که روش کریجینگ معمولی می‌تواند توزیع مکانی ماده آلی خاک را به دقت برآورد کند. زیگومر[3] و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات مکانی خصوصیات کانی‌شناسی و فیزیکی خاک‌های مناطقی با تغییر در اشکال چشم‌انداز پرداختند. مشخص شد که هم شناسایی و هم نقشه‌برداری از تغییرات سطح زمین برای فهم تغییرات مکانی خصوصیات خاک‌ها کافی است. علاوه بر این، تغییر در شکل‌گیری چشم‌اندازها باعث تغییرات خصوصیات فیزیکی و کانی‌شناسی خاک‌ها می‌شود. کوبو[4] و همکاران (۲۰۱۰)، در تحقیقی به ادغام روش طیف‌سنجی مادون قرمز میانی و روش زمین‌آمار در ارزیابی تغییرات مکانی خاک پرداختند. نتایج حاکی از توصیف خوب مدل‌های کروی و بیان‌گر دقت قابل قبول آنها بود. زارع چاهوکی و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی کارایی روش‌های کریجینگ، نقطه‌ای وزن‌دهی معکوس فاصله و وزن‌دهی نرمال فاصله نشان دادند که روش کریجینگ نقطه‌ای در مقایسه با دو روش دیگر دقت بالاتری دارد. کوچ[5] و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی ساختار مکانی خصوصیات خاک در یک توده جنگلی راش با استفاده از روش زمین‌آمار به این نتیجه رسیدند که اکثر مشخصه‌های مورد بررسی در لایه‌های سطحی و عمقی خاک دارای مدل‌های خطی می‌باشد. آکومو[6] و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و منطق فازی، به مدل‌سازی بافت خاک در منطقه‌ای از کانادا پرداختند و توانستد نقشه پهنه‌بندی بافت خاک با قدرت تفکیک ۱۰ متر در شش کلاس تهیه کنند.

با توجه به نتایج سوابق تحقیق ملاحظه می شود که در زمینه تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک مطالعات دقیقی انجام شده است. با این حال بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک در دشت فراهان به عنوان یکی از مناطق با پتانسیل بالا در بخش پروژه‌های عمرانی استان مرکزی انجام نشده است. از آنجا که تکنیک زمین آمار در بیشتر مطالعات پروژه‌های مرتبط با خاک تخمین‌گر مناسبی بوده است، لازم است تا مطالعه بافت خاک به عنوان یکی از مهمترین پارامترهای تأثیرگذار در طراحی‌های پی سازه در این منطقه مورد بررسی قرار گیرد.

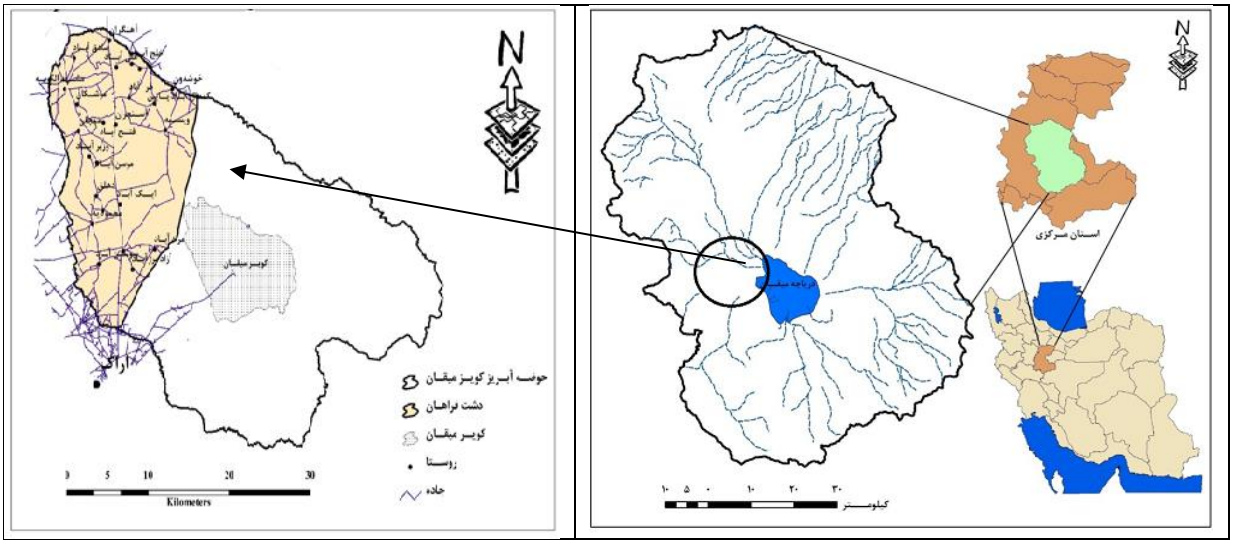
۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت فراهان با مساحتی بالغ بر ۳۵۲۹۷/۸۷ هکتار و مختصات جغرافیایی "۱۹ '۳۵ °۴۹ تا "۲۷ '۴۷ °۴۹ طول شرقی و "۲۴ '۰۸ °۳۳ تا "۱۹ '۲۴ °۳۴ عرض شمالی، بخش نسبتاً وسیعی از حوزه آبخیز کویر میقان را به خود

[1] Xing-Yi
[2] Wu
[3] Zigomar
[4] Cobo
[5] Kooch
[6] Akumua

اختصاص داده است. شیب متوسط منطقه حدود ۱۰/۷ درصد و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۷۵۰ متر است. متوسط بارندگی سالانه و متوسط دمای سالانه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب معادل ٤۹۵ میلی‌متر و ۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین، سطح وسیعی از منطقه دارای بافت خاک لومی رسی و لومی رسی سیلتی است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان

۲-۲- نمونه‌برداری خاک

ابتدا با انجام عملیات صحرایی وسیع در سطح منطقه مورد مطالعه، اقدام به برداشت میدانی و نمونه‌برداری از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری خاک سطحی در تعداد ٥٤ نقطه مختلف گردید. انتخاب و تعیین نقاط نمونه‌برداری ضمن تصادفی بودن، به‌صورتی انجام گرفت که با یک هم‌پوشانی مناسب، کل عرصه مورد مطالعه را در بر بگیرد. علاوه بر این، با استفاده از دستگاه GPS، مختصات UTM (طول و عرض جغرافیایی) نقاط نمونه‌برداری نیز ثبت گردید.

۲-۳- آنالیزهای آزمایشگاهی

با انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه خاک، پارامتر بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری (پارساخو، ۱۳۹۱) اندازه‌گیری شد و مقادیر عددی شن (Sand)، سیلت (Silt) و رس (Clay) بر حسب درصد تعیین گردید.

۲-٤- بررسی نرمال بودن داده‌ها

داده‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی پس از ثبت، نیازمند بررسی کیفی آماری است و بایستی توزیع و صحت داده‌های اخذ شده، مورد ارزیابی و آزمون قرار گیرد (صفری، ۱۳۹۱). شرط استفاده آنالیزهای زمین‌آماری این است که داده‌ها توزیع نرمال داشته باشند و از طرفی میانگین و واریانس آنها خیلی متغیر نباشد. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌های حاصل، مقادیر چولگی و کشیدگی تعیین شد. همچنین با استفاده از آزمون

گرافیکی Q-Q Plot نرمال بودن داده‌ها مجدداً مورد بازبینی قرار گرفت (کلانتریان، ۱۳۹۲). این آزمون به‌منظور مقایسه توزیع نرمال استاندارد داده‌ها استفاده می‌شود (راهنمای تحلیل‌گر زمین‌آماری، ۲۰۱۰).

۲-۵- مدل‌سازی در تکنیک‌های زمین‌آماری

در این مرحله، به‌منظور نمایش گرافیکی تغییرپذیری و توزیع مکانی پارامتر بافت خاک در محدوده مطالعاتی و ارائه نقشه پهنه‌بندی آن، از آنالیزهای زمین‌آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته شد (کلانتریان، ۱۳۹۲). در اولین مرحله از آنالیزهای زمین‌آماری، بانک داده پارامتر مطالعاتی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.3 تهیه و رقومی شد. سپس با ساخت ستون توصیفی، نوع بافت خاک برای هر یک از نقاط نمونه‌برداری در لایه رقومی تعریف شد.

در مرحله اصلی روش کار، با استفاده از بسته الحاقی تحلیل‌گر زمین‌آماری[1] و به کمک روش درون‌یابیکریجینگ، اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی پارامتر بافت خاک محدوده مطالعاتی شد. بدین منظور، الگوریتم مورد استفاده از نوع معمولی[2] و سطح درون‌یابی نقشه پیش‌بینی[3] انتخاب شد. به‌منظور بررسی روابط مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده نیز از مدل‌سازی سمی واریوگرام[4] استفاده گردید.

۲-٦- روش کریجینگ

در روش کریجینگ پس از اندازه‌گیری مقدار متغیر برای نمونه‌های متعدد همراه با در نظر گرفتن موقعیت آنها، مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده نیز با توجه به موقعیت فاصله آنها و فاصله‌ای که با نقاط معلوم دارند برآورد می‌گردد. این امر در عمل با رسم واریوگرام (پراش‌نما یا تغییرنما[5]) که در واقع بیانگر ساختار واریانس نمونه‌های معلوم برداشت شده نسبت به فواصل آنها می‌باشد و ساختار تغییرپذیری نسبت به فاصله مکانی یا زمانی را نشان می‌دهد، صورت می‌گیرد (حسنی پاک، ۱۳۸۹). معادله محاسبه پراش‌نما به‌صورت زیر است:

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

که در آن Z(x) و Z(x+h) مقادیر نمونه‌ها در موقعیت‌های x و x+h و N(h) تعداد زوج مشاهدات در هر فاصله h می‌باشد. در رابطه فوق، γ(h) را سمی واریانس[6] می‌نامند. در عمل این تابع مشخص نبوده و می‌بایستی بر اساس نمونه‌های موجود مقدار تجربی آن به‌دست می‌آید. بنابراین به ازای مقادیر مختلف h باید مقادیری برای γ(h) به‌دست آورد. بدین ترتیب بایستی مدلی را با این مقادیر تجربی وفق داد (استواری و همکاران، ۱۳۹۰). علی‌رغم تمام مزایای این روش، نرم کردن تغییرات در هنگام تخمین سبب می‌شود که واریانس نمونه‌های تخمین زده شده

[1] Geostatistical Analyst
[2] Ordinary
[3] Prediction Map
[4] Semivariogram
[5] Variogram
[6] Semi-Variance

نسبت به نقاط واقعی تغییرات کمتری داشته باشد؛ بدین معنی که مقدار تغییرات در پیش‌بینی مدل، کمتر از واقعیت می‌باشند (ژو[1] و همکاران، ۲۰۰۶). از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که ساختار فضایی نقاط را در فرآیند تخمین مورد توجه قرار داده و به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را می‌توان محاسبه نمود (حسنی پاک، ۱۳۸۹). این تخمین‌گر که به نام BLUE[2] نیز خوانده می‌شود، دارای ویژگی‌هایی است که عبارتند از (باقری بداغ آبادی و همکاران، ۱۳۸٤):

۱- مقادیر برآوردی برای نقاط نامعلوم، ترکیبی خطی از مقادیر نمونه‌های مجاور آنها است. یعنی:

$$\hat{\mu}_k = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i x_i \qquad (۲)$$

که در آن $\hat{\mu}_k$ تخمین کریجینگ و λ_i بردار اوزان اختصاص داده شده به نمونه‌ها است. به‌عبارت دیگر یک مقدار کریج شده با برآورد شده با نسبت دادن وزن‌های λ_i به مقادیر معلوم اندازه‌گیری شده در نقاط مجاور به‌دست می‌آید.

۲- نااریب است. یعنی امید ریاضی آن برابر میانگین واقعی (μ_w) نمونه‌ها است:

$$E(\hat{\mu}_k - \mu_w) = 0 \qquad (۳)$$

۳- میانگین مربع خطا دارای کمترین مقدار ممکن است. یعنی:

$$E\left[(\hat{\mu}_k - \mu_w)^2\right] = \text{a} \quad \min \qquad (٤)$$

در مرحله آخر ضمن بررسی پراکنش و خطای مقادیر برآوردی، به ارزیابی کارایی مدل سمی واریوگرام بر اساس شاخص‌های آماری توصیفی نظیر Mean و RMSS پرداخته شد و نقشه‌های پهنه بندی پارامترهای سه گانه بافت خاک تهیه گردید.

۳- نتایج

جدول ۱ نتایج شاخص‌های آماری توصیفی داده‌های فیزیکی (درصد رس، سیلت و شن) منطقه مطالعاتی دشت فراهان را نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج در مورد پارامترهای فیزیکی حداقل و حداکثر درصد رس به ترتیب برابر ۳٦ و ٤۳ و میانگین آن ۳۸/۸۷ می‌باشد. حداقل و حداکثر درصد سیلت نیز به ترتیب برابر ۱۵ و ٤۹/۵ و میانگین آن ۳۸ می باشد. همچنین حداقل و حداکثر درصد شن نیز به ترتیب برابر ۱۲ و ٤۷ و میانگین آن ۲۳/۱۵ است.

جدول ۱- شاخص‌های آماری توصیفی پارامترهای فیزیکی خاک

پارامتر		تعداد	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف از معیار
فیزیکی	درصد رس	٥٤	٤۳	۳٦	۳۸/۸۷	۱/۷۹
	درصد سیلت	٥٤	٤۹/٥	۱٥	۳۸	۱۱/۹٦
	درصد شن	٥٤	٤۷	۱۲	۲۳/۱٥	۱۲/۳۸

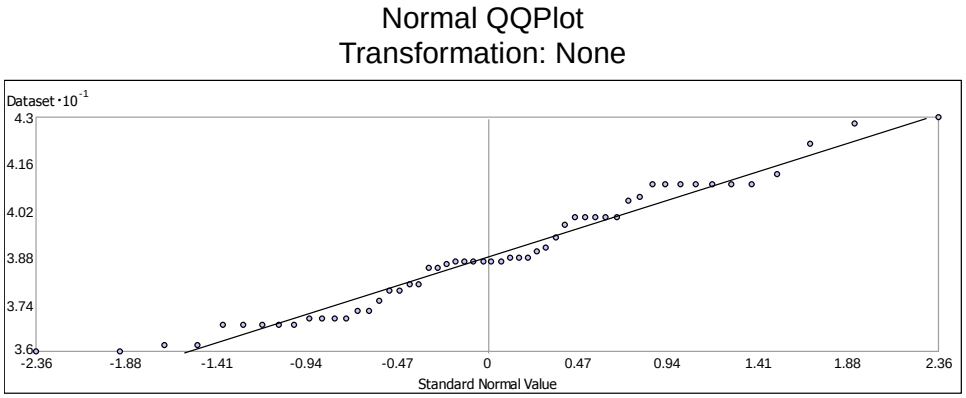
[1] Xu
[2] Best Linear Unbiased Estimator

مطابق با روش کار، قبل از بکارگیری داده‌ها در مدل‌سازی کریجینگ، نرمال بودن داده‌ها بر اساس شاخص چولگی و کشیدگی بررسی شد. جدول ٤-۲ مقادیر چولگی و کشیدگی داده‌ها را نشان می‌دهد. همچنین گراف Q-Q Plot داده‌ها نیز در شکل‌های ٤-۲ تا ٤-٤ تهیه شد.

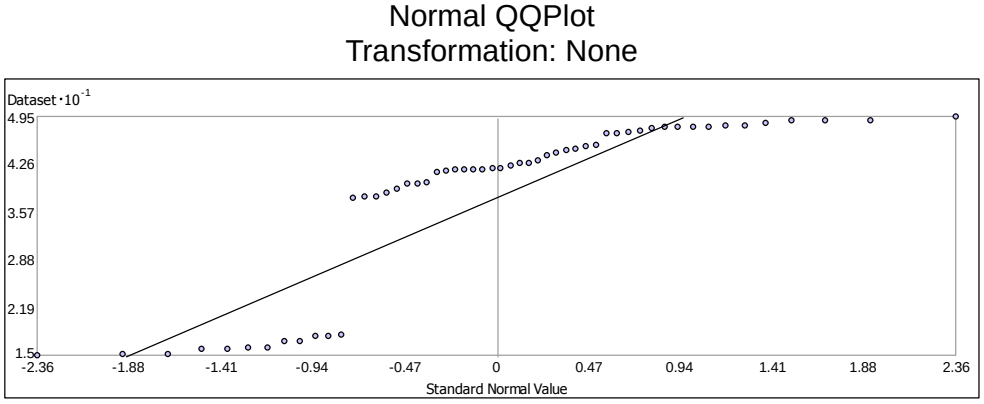
با توجه به نتایج جدول ٤-۲، شاخص چولگی برای همه پارامترهای مطالعاتی در محدوده ۲+ و ۲- است؛ لذا داده‌ها نرمال فرض می‌شوند. همچنین کشیدگی بیشتر داده‌ها در محدوده ۲+ و ۲- می‌باشد. گراف‌های Q-Q Plot نیز نشان می‌دهد که اکثر داده‌ها نزدیک به خط ۱:۱ بوده و نرمال بودن آنها قابل قبول است.

جدول ۲- آزمون نرمال بودن داده‌های فیزیکی خاک

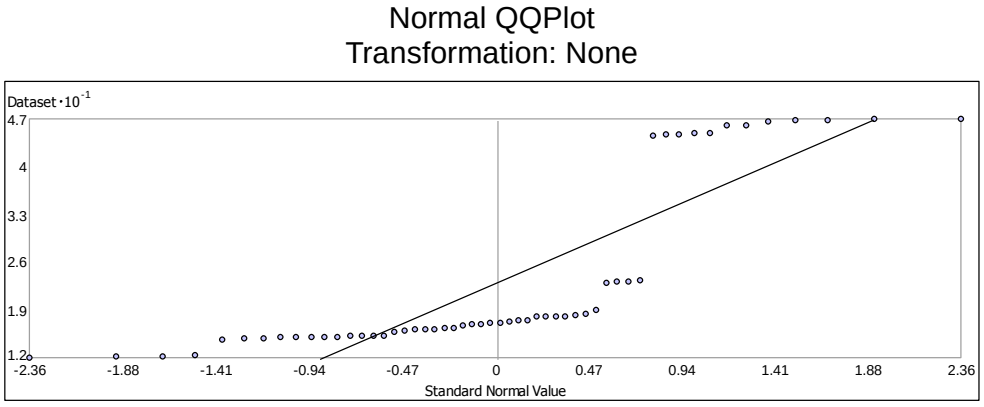
پارامتر		چولگی	کشیدگی
فیزیکی	درصد رس	۰/۳۱	۲/۲۸
	درصد سیلت	-۱/۰۹	۲/٥٤
	درصد شن	۱/۲۲	۲/٦٥



شکل ۲- گراف Q-Q Plot برای داده‌های درصد رس

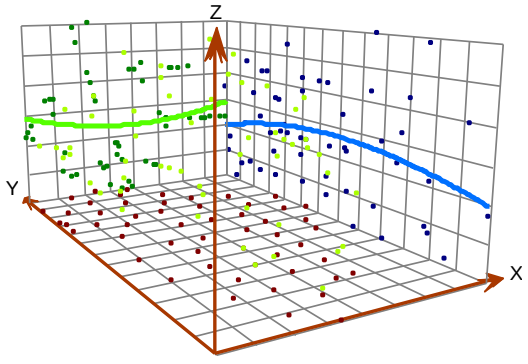


شکل ۳- گراف Q-Q Plot برای داده‌های درصد سیلت

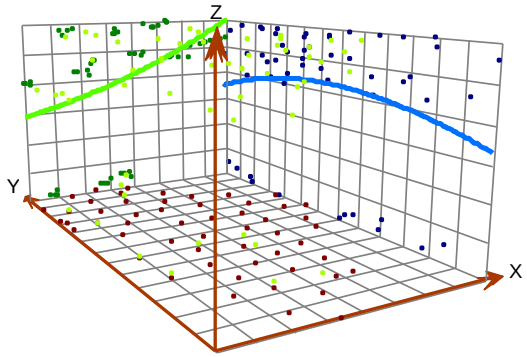


شکل ٤- گراف Q-Q Plot برای داده‌های درصد شن

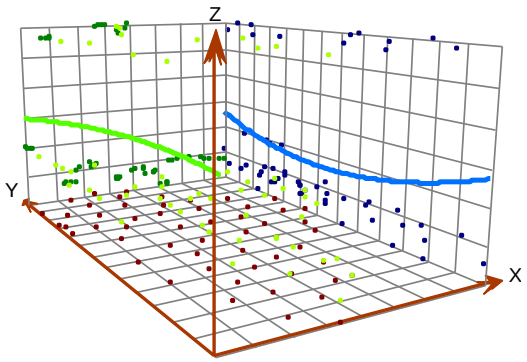
شکل‌های ۵ تا ۷ روند تغییرات مکانی پارامترهای فیزیکوشیمیایی خاک در دشت فراهان را نشان می‌دهد. در مورد پارامتر درصد رس، خط روند در راستای محور X نشان می دهد که مقادیر در منتهی الیه محور (غرب منطقه) دچار نوسان زیادی نیست و تا حدودی در میانه منطقه مقدار آن کاهش می‌یابد. لذا خط این روند بصورت کمانی شکل مقعر می‌باشد. اما خط روند در راستای محور Y، کمانی شکل محدب است؛ بطوری که این پارامتر از منتهی الیه محور (جنوب منطقه) دارای روند افزایشی تا میانه منطقه بوده و از آن به بعد کاهش جزئی را نشان می‌دهد. در مورد پارامتر سیلت، روند غربی- شرقی، حاکی از افزایش درصد سیلت در قسمت شرق منطقه می‌باشد؛ اما در راستای جنوب به شمال روند همانند پارامتر رس بصورت کمان محدب شکل است. در مورد پارامتر درصد شن نتایج کاملاً عکس پارامتر درصد سیلت است؛ بطوری که با حرکت به سمت شرق منطقه از درصد شن کم می‌شود. همچنین حداقل مقادیر شن در میانه منطقه دیده می‌شود.



شکل ۵- روند تغییرات مکانی درصد رس خاک

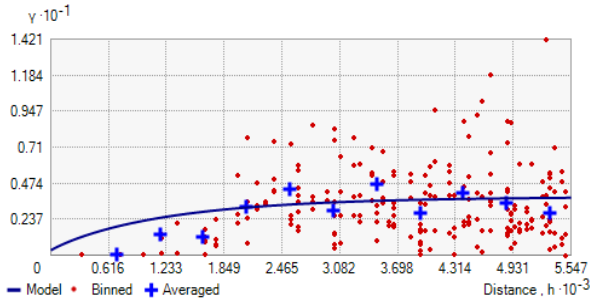


شکل ٦- روند تغییرات مکانی درصد سیلت خاک

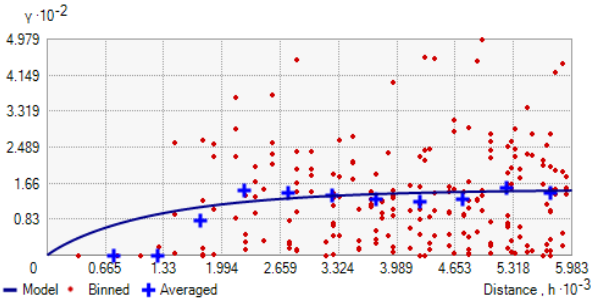


شکل ۷- روند تغییرات مکانی درصد شن خاک

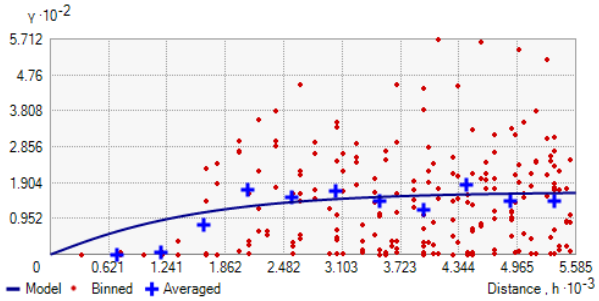
مدل سمی واریوگرام برای داده‌های فیزیکوشیمایی خاک دشت فراهان در شکل‌های ۸ تا ۱۰ آمده است. همچنین در جدول ۳ مولفه‌های مدل سمی واریوگرام آمده است. با توجه به این نتایج نسبت اثر قطعه ای به آستانه جزئی در همه مدل‌ها کمتر از ۰/۲۵ می باشد. در بحث ارزیابی متقابل، مقادیر شاخص‌های ارزیابی شامل Mean و RMSS در جدول ٤ آمده است. مشاهده می‌شود که خطای Mean برای هر سه پارامتر کمتر از یک می‌باشد. همچنین خطای RMSS نیز نزدیک به یک می‌باشد.



شکل ۸- مدل سمی واریوگرام پارامتر درصد رس



شکل ۹- مدل سمی واریوگرام پارامتر درصد سیلت



شکل ۱۰- مدل سمی واریوگرام پارامتر درصد شن

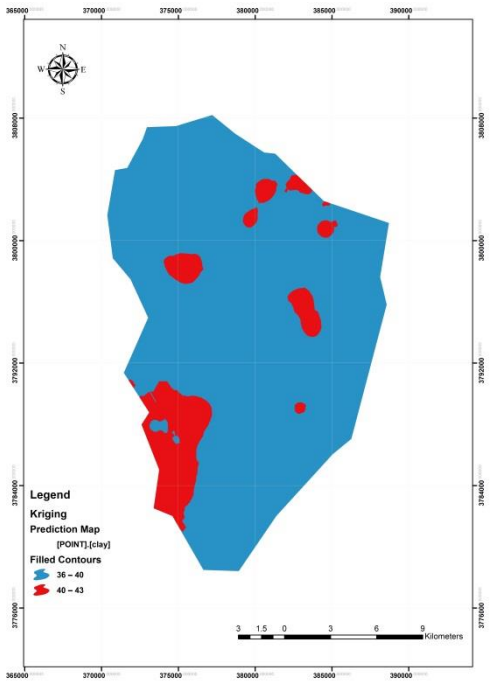
جدول ٤- مولفه‌های مدل سمی واریوگرام پارامترهای فیزیکی خاک

پارامتر		اثر قطعه ای (Nugget=C_0)	آستانه جزئی (Sill=C_0+C)	شدت همبستگی مکانی Nugget/ Sill
فیزیکی	درصد رس	۰/۳۲٤	۳/۵۲۲	۰/۰۹
	درصد سیلت	۰	۱۵۱/۷	۰
	درصد شن	۰	۱/۰۷	۰

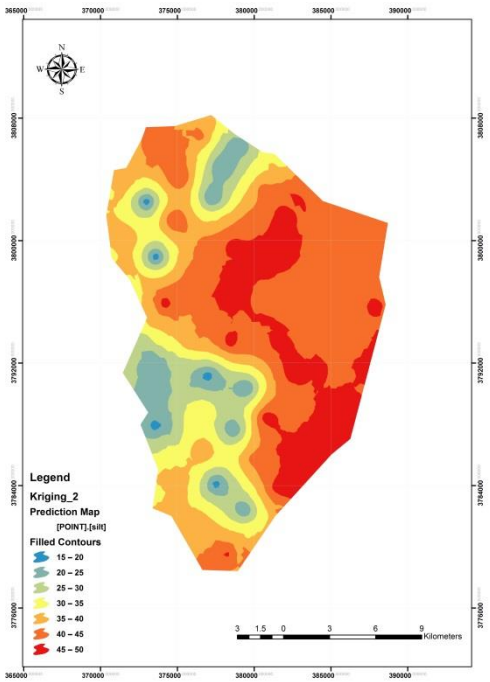
جدول ٤- مقادیر شاخص‌های ارزیابی در مدل زمین آمار برآورد پارامترهای فیزیکی خاک

پارامتر		Mean	RMSS
فیزیکی	درصد رس	-۰/۳٦	۱
	درصد سیلت	-۰/۰۸۹	۰/۹۹
	درصد شن	۰/۰۹۱	۱

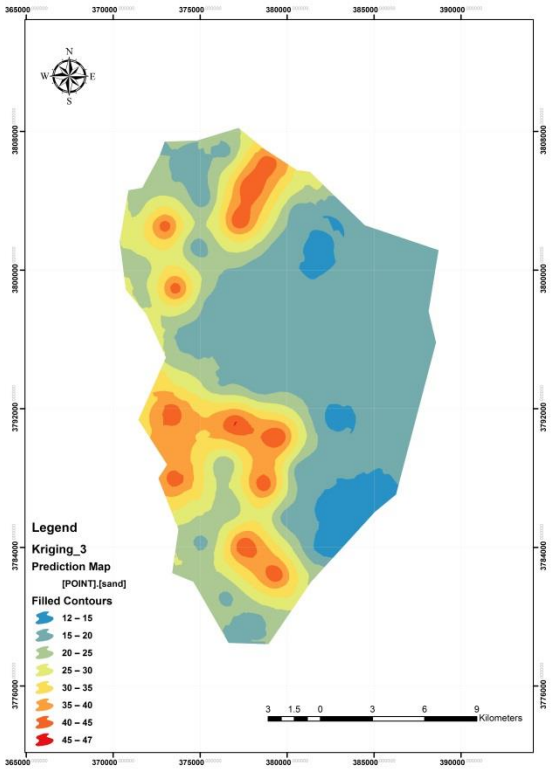
با توجه به نتایج مراحل قبلی، در مرحله آخر نقشه پهنه بندی پارامترهای فیزیکوشیمایی خاک تهیه گردید (شکل‌های ۱۱ تا ۱۳). با توجه به این نتایج ملاحظه می‌شود که درصد رس منطقه در دو کلاس ۳۵ تا ٤۰ درصد و ٤۰ تا ٤۵ درصد قرار گرفته است و بیشتر سطح محدوده مطالعاتی را کلاس ۳۵ تا ٤۰ درصد تشکیل می‌دهد. در مورد درصد سیلت نتایج نشان می‌دهد که هفت کلاس وجود دارد که مقادیر در دامنه ۱۵ تا ۵۰ درصد متغیر می‌باشند و بیشتر سطح منطقه در کلاس ٤۰ تا ٤۵ درصد سیلت می‌باشد. همچنین درصد شن نیز در هشت کلاس طبقه‌بندی شده است که در دامنه ۱۲ تا ٤۷ درصد قرار دارند و بیشتر سطح منطقه در کلاس ۱۵ تا ۲۰ درصد می‌باشد.



شکل ٤-۱۹- پهنه بندی درصد رس خاک دشت فراهان



شکل ٤-۲۰- پهنه بندی درصد سیلت خاک دشت فراهان



شکل ٤-۲۱- پهنه بندی درصد شن خاک دشت فراهان

بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق با نمونه برداری از ٥٤ نقطه از محدوده‌ای از شرق دشت فراهان، داده‌های سه گانه بافت خاک شامل درصد رس، درصد سیلت و درصد شن به عنوان پارامترهای فیزیکی جمع‌آوری گردید و به منظور تهیه مدل زمین آمار و نقشه‌های پهنه‌بندی بکار گرفته شد. در ابتدا، شاخص‌های آماری توصیفی داده‌ها بررسی شد. با توجه به نتایج، میانگین درصد رس ۳۸/۸۷ میانگین درصد سیلت ۳۸ و میانگین درصد شن ۲۳/۱۵ است. نتایج به وضوح نشان می‌دهد که بیشتر بافت خاک محدوده مطالعاتی در محدوده رسی لومی می‌باشد و جزء بافت‌های خاک سنگین می‌باشد. خاک‌های سنگین یا رسی محتوی بیش از ۲۸ درصد رس بوده و چسبندگی آنها زیاد است. بنابراین در پروژه‌های عمرانی که نیازمند مسلح‌سازی و بهسازی خاک پی‌سازه در این منطقه می‌باشد، نوع روش تسلیح خاک بایستی متناسب با بافت خاک سنگین منطقه نیز باشد.

طبق روش کار در این تحقیق از روش کریجینگ معمولی به منظور پیش‌بینی و پهنه‌بندی پارامترهای فیزیکی خاک دشت فراهان بهره گرفته شد. طبق نتایج، مقادیر Mean کمتر از یک بوده و مقادیر RMSS نیز نزدیک به یک می‌باشند. از طرفی شدت همبستگی مکانی یا نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه جزئی در مورد همه پارامترها کمتر از ۰/۲۵ است. با توجه به اینکه نسبت مذکور در مقدار کمتر از ۰/۲۵ بیانگر شدت همبستگی بالای مدل زمین آمار می‌باشد، بر این اساس نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه در این تحقیق، بیانگر کارایی قابل قبول مدل زمین آمار می‌باشد.

در مورد پارامتر درصد رس، نتایج نشان داد که مقادیر درصد رس در غرب منطقه کمتر بوده و با حرکت در راستای شرق منطقه، افزایش جزئی دارند. به همین نحو افزایش جزئی این پارامتر از جنوب منطقه به سمت شمال

بیشتر در میانه منطقه دیده می‌شود و سپس روند کاهشی به خود می‌گیرد. با توجه به نقشه پهنه‌بندی بافت خاک مشخص می‌شود که دو کلاس ۳۵ تا ٤٠ درصد و ٤٠ تا ٤٥ درصد رس در منطقه وجود دارد که البته با توجه به نقشه پهنه‌بندی، بیشتر سطح منطقه در کلاس ۳۵ تا ٤٠ درصد است. در مورد درصد سیلت نتایج نشان می‌دهد که هفت کلاس وجود دارد که مقادیر در دامنه ۱۵ تا ۵۰ درصد متغیر می‌باشند. طبق نتایج بیشتر سطح منطقه در کلاس ٤٠ تا ٤٥ درصد سیلت می‌باشد که در شرق محدوده مطالعاتی و مجاورت تالاب میقان است. همچنین درصد شن نیز در هشت کلاس طبقه‌بندی شده است که در دامنه ۱۲ تا ٤٧ درصد قرار دارند و بیشتر سطح منطقه در کلاس ۱۵ تا ۲۰ درصد بوده که در شرق منطقه مطالعاتی است.

برآیند ارزیابی شاخص‌های مذکور موید این مطلب است که زمین آمار توانسته است خصوصیات فیزیکی خاک محدوده مطالعاتی دشت فراهان را با دقت و صحت بالایی مدل‌سازی کند. به نظر می‌رسد میزان دقت و صحت مدل برآوردی از زمین آمار در ارتباط با کیفیت داده‌های اندازه‌گیری شده باشد. چرا که تعداد داده‌ها با توجه به وسعت منطقه مناسب و قابل قبول می‌باشد. در نهایت می‌توان به این نکته اشاره کرد که تکنیک زمین آمار کریجینگ توانسته در برآورد پارامترهای فیزیکی خاک منطقه مطالعاتی عملکرد خوبی داشته باشد که با نتایج تحقیقات اکثر محققین از جمله قربانی و همکاران (۱۳۹۱)، جعفرنیا و اکبرنیا (۱۳۹۳) و کوبو (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

در کل با توجه به نتایجی که حاصل گردید، مشخص شد که مدل‌سازی زمین آماری به خوبی می‌تواند تغییرات پیوسته پارامترهای خاک را به نمایش در آورد. با توجه به مطالعات میدانی مشخص شد که تغییرات کیفی و کمی خاک در ارتباط با نوع مواد مادری، اقلیم و کاربری پایه بوده که این عوامل می‌تواند در هنگام عملیات زیرسازی و پی‌سازی پروژه‌های عمرانی و اقدامات جانبی نظیر مسلح سازی و بهسازی خاک در انتخاب نوع روش تأثیرگذار باشد. با این حال پیشنهاد می‌شود پژوهشی در مورد بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر خصوصیات خاک در منطقه مطالعاتی انجام شود.

منابع

۱. احمدی، حسن، و محمدی، علی اصغر، ۱۳۸۹. بررسی تخمین رسوب با استفاده از مدل‌های تجربی با تأثیر عوامل ژئومورفولوژی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ده‌نمک). فصل‌نامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران، دوره ۱۷، شماره ۳، ص ۳٤۰-۳۵۲.

۲. استواری، یاسر، بیگی هرچگانی، حبیب اله، و داودیان، علیرضا. ۱۳۹۰. ارزیابی بررسی تغییرات مکانی و پهنه-بندی برخی از شاخص‌های کیفی آب برای کاربرد در طراحی آبیاری قطره‌ای در دشت لردگان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۲، شماره ۵، ص ۲٤۲-۲۵٤.

۳. پارساخو، آیدین. ۱۳۹۱. بررسی میزان هدررفت خاک و رواناب بخش‌های مختلف ساختمان جاده جنگلی با استفاده از شبیه‌ساز باران. رساله دکتری، گروه مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی ساری، ۱٦۹ص.

٤. پیری صحراگرد، حسین، و پیری، جمشید. ١٣٩٥. تحلیل ساختار مکانی برخی از خصوصیات خاک با استفاده از روش زمین آمار (مطالعه موردی: مراتع غرب تفتان، شهرستان خاش)، نشریه علمی پژوهشی مرتع، دوره ١٠، شماره ٢، ص ٢٢٤-٢٣٦.

٥. تقی‌پور، مرضیه، ایوبی، شمس اله، و خادمی، حسین. ١٣٨٩. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی غلظت کل نیکل و مس در خاک‌های سطحی اطراف همدان به روش زمین‌آمار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ١٧، شماره ٢، ص ٦٩-٨٧.

٦. جعفرنیا، شهرام، و اکبرنیا، مسلم. ١٣٩٣. بررسی توزیع مکانی برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و آب جنگل‌های مانگرو جزیره قشم با استفاده از زمین‌آمار. فصل‌نامه علمی- پژوهشی تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، دوره ٢٢، شماره ٤، ص ٦٧٣-٦٨٦.

٧. جلالی، قباد، طهرانی، محمد مهدی، برومند، ناصر، و سنجری، صالح. ١٣٩٢. مقایسه روش‌های زمین‌آمار در تهیه نقشه پراکنش مکانی برخی عناصر غذایی در شرق استان مازندران. مجله پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، دوره ٢٧، شماره ٢، ص ١٩٥-٢٠٤.

٨. شیرانی، حسین، حبیبی، مطهره، کمالی، اردوان، اسفندیارپور بروجنی، عیسی. ١٣٩٤. ارزیابی برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک با استفاده از سنجش از دور و زمین آمار در منطقه بافت کرمان، مجله الکترونیک مدیریت خاک و تولید پایدار، دوره ٥، شماره ١، ص ١٥٩-١٧٢.

٩. حسنی پاک، علی اصغر. ١٣٨٩. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). انتشارات داتشگاه تهران، ٣١٤ ص.

١٠. دائم‌پناه، راضیه، حق‌نیا، غلامحسیم، علیزاده، امین، و کریکی کارویه، علیرضا. ١٣٩٠. تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین‌آماری در جنوب شهرستان مه ولات. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، دوره ٢٥، شماره ٣، ص ٤٩٨-٥٠٨.

١١. صفری، عطا. ١٣٩١. اندازه‌گیری رواناب و هدررفت خاک در جاده‌های جنگلی دارابکلا. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ٩٧ ص.

١٢. قربانی، ارودان، زارع، بهمن، امیدی، علی، و حسنی، حسین. ١٣٩١. ارزیابی تغییرات پوشش تاجی گونه ovina Festuca با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در دامنه‌های جنوب شرقی سبلان. اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار)، ١٠ ص.

١٣. کایدانی، مهدی، و دلبری، معصومه. ١٣٩١. پهنه‌بندی شوری خاک و ارزیابی ریسک شوری در منطقه میانکنگی (سیستان) با استفاده از روش‌های زمین‌آماری. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، دوره ٣٥، شماره ١، ٤٩-٥٩.

١٤. کلانتریان، معصومه. ١٣٩٢. پهنه‌بندی و تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری در منطقه چزان (خنداب). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک، ٨٧ ص.

۱۵. نصرت‌پور، سمیه، اردلان، محمد، فرج‌نیا، اصغر، و اسمعلی عوری، اباذر. ۱۳۸۹. بررسی توزیع مکانی برخی عناصر غذایی و عوامل مؤثر بر حاصلخیزی خاک در اراضی شهرستان مراغه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۸۷، ص ۲-۱۱.

16. Adhikari, Kishalay, Guadagnini, Alberto, Toth, Geo, Hermann, Tamar, 2009. Geostatistical analysis of surface soil texture from Zala County in western Hungary. Proceeding of International Symposium on Environment, Energy and Water in Nepal: Recent Researches and Direction for Future. 31March to 1 April, Kathmandu, Nepal.
17. Akumua, Clement, Johnsona, John, Etheridgeb, Dio, Uhliga, Piter, Woodsc, Mac, Pittd, David. McMurraye, Samir, 2015. GIS-fuzzy logic based approach in modeling soil texture: Using parts of the Clay Belt and Hornepayne region in Ontario Canada as a case study. Geoderma: Vol 239–240:13–24.
18. Bazgeer, Pitt, Sharma, Neelam, Mahey, Peter, Hudal, Suan, and Sood, Asua. 2008. Assessment of land use changes using remote sensing and GIS and their implications on climatic variability for Balachaur watershed in Punjab, India. DESERT, Vol 12: 139-147.
19. Bouma, Juan, Booltink, Hazar, Finke, Paul, 1996. Use of soil survey data for modeling solute transport in the Vadoze. J. Environ. Qual. Vol 25: 519-526.
20. Cheng, Xa, AN, Seo, Chen, Jio, Li, Ben, 2006. Spatial relationships among species aboveground biomass, N and P in degraded grassland in ordos Plateau. Journal of Arid Environment, Vol 3(1): 75-88.
21. Cobo, Juan Guillermo, Dercon, Gerd, Yekeye, Tsitsi, Chapungu, Lazarus, Kadzere, Chengetai, Murwira, Amon, Delve Robert, and Cadisch, Georg. 2010. Integration of mid-infrared spectroscopy and geostatistics in the assessment of soil spatial variability at landscape level. Geoderma, Vol 158: 398-411.
22. Geostatistical Analyst Tutorial. 2010. Copyright © 1995-2010 Esri All rights reserved.
23. Katerji, Nader, and Mastrorilli, Marcello, 2009. The effect of soil texture on the water use efficiency of irrigated crops: results of multi-year experiment carried out in the Mediterranean region. European Journal of Agronomy, Vol 30: 95-100.
24. Kettler, T.A., Doran, John, Gilbert, T.L. 2001. Simplified method for soil particle-size determination to accompany soil-quality analyses. Soil Science Society of America Journal, Vol 65: 849-852.
25. Kooch, Yahya, Hosseini, Mohsen, Mohammadi, Jahangard, & Hojjati, Mohammad. 2012. An Investigation in to Spatial Structure of Soil Characteristics in a Beech Forest Stand Using Geostatistical Approach. J.Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour. Water and Soil Sci, Vol 16(60): 239-250.
26. Miller, Michelle, Singer, Michael, Nielson, Donald. 2003. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. Soil Science Society of American Journal, 52(1): 1133-1141.
27. Wu, Jianbing, Boucher, Alexandre, Zhang, Tuanfeng, 2008. A SGeMS code for pattern simulation of continuous and categorical variables: FILTERSIM. Computers & Geosciences, Vol 4(12): 1863-1876.
28. Xing-Yi, Zhang, Yue-Yu', Sui, Xu Dong, Zhang, Kai, Meng, and Herbert, S.J. 2007. Spatial Variability of Nutrient Properties in Black Soil of Northeast China. Pedosphere, Vol 17(1): 19-29.
29. Xu, Chong-yu, Gong, Lebing, Jiang, Tong, Chen, Deliang, Singh, V.P. 2006. Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. Journal of Hydrology, Vol 327: 81-93.
30. Zare Chahouki, Mohammad Ali, Zare Ernani, Mohammad, Zare Chahouki, Asghar, Khalasi Ahvazi, Leyla. 2010. Application of spatial statistical methods in predictive models of plant species habitat. Journal of Arid Biom Scientific and Research, Vol 1(1): 13-23.
31. Zhai, Yushun, Thomasson, Alex, Boggess, Julian, and Sui, Ruixiu, 2006. Soil texture classification with artificial neural networks operating on remote sensing data. Computers and Electronics in Agriculture, Vol 54: 53-68.

32. Zigomar, Menezes, Jose, Marques, Gener, T.P Tadeu, 2009. Spatial variability of the physical and mineralogical properties of the soil from the areas with variation in landscape shapes. Brazilian Archives of Biology and Technology. Vol 52(2): 93-118.