نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری
Extension and Development of Watershed Management

سال سیزدهم- شماره ۵۰- پاییز ۱۴۰۴ Vol. 13, No. 50, Fall 2025

بررسی میدانی و آزمایشگاهی تعیین بافت خاک در اراضی کشاورزی، مطالعه موردی: منطقه زنگی‌آباد استان کرمان

فاطمه شیخ‌پور[۱]، مجید محمودآبادی[۲]، عاطفه جعفرپور[۳]، محمد ذونعمت کرمانی*[۴]

تاریخ دریافت ۱۴۰۴/۰۵/۰۹ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۶/۰۷
DOI:/ 10.22034/WMJI.2025.2067585.1123

چکیده

شناخت دقیق بافت خاک، به‌عنوان یکی از ویژگی‌های فیزیکی کلیدی و تقریباً ثابت خاک، برای توسعه راهبردهای مدیریت بهینه اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ضروری است. ازآنجایی‌که بافت خاک مستقیماً بر ظرفیت نگهداری آب، نیاز آبی گیاه و پتانسیل فرسایش تأثیر می‌گذارد، تهیه نقشه پراکندگی آن، اساس مدیریت ویژه مکانی[۵] را تشکیل می‌دهد. این پژوهش باهدف بررسی تغییرات مکانی بافت خاک (شن، سیلت، رس) در منطقه زنگی‌آباد استان کرمان انجام شد. در همین راستا، ۱۵۰ نمونه خاک سطحی (۲۰-۰ سانتی‌متر) از کاربری کشاورزی به‌صورت تصادفی سیستماتیک جمع‌آوری و با روش هیدرومتری تحلیل شد. داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نرمال‌سازی شدند و مدل‌های نیم‌تغییرنما برازش یافتند. هم‌چنین درون‌یابی با روش‌های کریجینگ و IDW در نرم‌افزار GS+ و GIS انجام شد. نتایج نشان داد که یک گرادیان بافتی مشخص از جنوب غرب به سمت شمال شرق منطقه وجود دارد؛ به‌طوری‌که بافت خاک به‌صورت تدریجی از شنی و لومی-شنی در بخش‌های جنوبی و غربی (با درصد شن تا ۸۹ درصد) به لومی و لوم-رسی در بخش‌های شمالی و شرقی (با درصد رس دو تا ۲۱ درصد و سیلت پنج تا ۶۰ درصد) تغییر می‌کند. نتایج نشان داد که روش IDW به روش کریجینگ، از دقت بالاتری در تخمین مقادیر بافت خاک برخوردار بود. نتایج این پژوهش با ارائه نقشه‌های دقیق بافت خاک، ابزاری کاربردی برای پیاده‌سازی کشاورزی دقیق و مدیریت پایدار اراضی فراهم می‌کند. این نقشه‌ها می‌توانند مبنای مدیریت متغیر آبیاری، تعیین مناطق مستعد فرسایش بادی (نواحی شنی جنوب غرب) و بهینه‌سازی مصرف کود بر اساس ظرفیت نگهداری مواد غذایی در خاک قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: بافت خاک، زمین‌آمار، درون‌یابی مکانی، مدیریت ویژه مکانی، اراضی خشک، کریجینگ.

مقدمه

بافت خاک[۶] به‌عنوان نسبت نسبی ذرات شن، سیلت و رس، از طریق تأثیر مستقیم بر خصوصیات کلیدی مانند سطح ویژه ذرات، تخلخل کل و توزیع اندازه حفرات و ظرفیت تبادل کاتیونی (CEC)، نقش اساسی در کنترل رفتار فیزیکی و شیمیایی خاک، ازجمله ظرفیت نگهداری آب، حاصلخیزی، زهکشی و ویژگی‌های جذبی ایفا می‌کند [۳]. این ویژگی به‌طور مستقیم بر فرآیندهای محیط‌زیستی، هیدرولوژیکی و کشاورزی تأثیر می‌گذارد و شناخت توزیع مکانی و تغییرات زمانی آن برای مدیریت بهینه اراضی و افزایش تولیدات کشاورزی ضروری است [۱۰]. در این میان، تغییرات مکانی بافت خاک تحت تأثیر عوامل متعددی ازجمله کاربری اراضی، ارتفاع، شیب و شرایط اقلیمی قرار دارد که این تغییرات می‌توانند به فرسایش خاک، کاهش حاصلخیزی و تحولات بوم‌سازگان منجر شوند [۲]. ازاین‌رو، پایش و تحلیل تغییرات مکانی بافت خاک در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی، به‌ویژه در مناطق با شرایط اقلیمی خاص مانند مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۷]. در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های نوین مانند زمین‌آمار [٤]، سنجش‌ازدور [۹] و مدل‌سازی هوشمند مصنوعی (مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی) [۱۱] امکان بررسی دقیق‌تر تغییرات مکانی بافت خاک را فراهم کرده است. در این راستا، مطالعات نشان داده‌اند که روش‌های کریجینگ[۷] و کوکریجینگ[۸]، به‌ویژه با تلفیق داده‌های سنجش‌ازدور، می‌توانند

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۲- استاد، بخش علوم و مهندسی خاک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
۳- استادیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
٤- استاد، بخش مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران،
(* نویسنده مسئول) Email.zounemat@uk.ac.ir

5. Site-Specific Management
6. Soil texture
7. Kriging methods
8. Cokriging method

دقت تخمین بافت خاک را در مناطق با داده‌های محدود افزایش دهند [۳]. گووارتس [۸] در مطالعه‌ای روی خاک‌های کشاورزی، نشان داد که کریجینگ واریانس تخمین را به حداقل می‌رساند. هم‌چنین، آدیکاری و همکاران [۱] با استفاده از کوکریجینگ در مناطق نیمه‌خشک، تغییرات بافت خاک را با دقت بالا نقشه‌برداری کردند. هم‌چنین، تحلیل‌های آماری و مدل‌سازی تغییرات بافت خاک در ارتباط با ارتفاع و کاربری اراضی، الگوهای پراکنش اجزای خاک (شن، سیلت و رس) را در مناطق مختلف ایران به‌خوبی آشکار ساخته است [۱۳]. علاوه بر این، تغییر کاربری اراضی، به‌ویژه تبدیل جنگل به اراضی کشاورزی، تأثیرات قابل‌توجهی بر کیفیت خاک و توزیع بافت آن داشته و اغلب به افزایش فرسایش و کاهش ماده آلی منجر شده است [۱۲]. عجمی و همکاران [۲] در مطالعه‌ای در شرق استان گلستان نشان دادند که تبدیل اراضی جنگلی به کشاورزی، به افزایش ذرات رس در لایه‌های عمیق‌تر خاک و کاهش ماده آلی منجر شده است. این تغییرات به دلیل فرسایش خاک و تخریب ساختار خاک در اثر فعالیت‌های کشاورزی طولانی‌مدت رخ‌داده است. آن‌ها گزارش کردند که میانگین وزنی قطر ذرات خاک از ۱۴۹ میلی‌متر در لایه سطحی به ۸۸۸ میلی‌متر در مناطق زراعی کاهش‌یافته و نفوذپذیری خاک به دلیل افزایش تراکم تا نصف کاهش‌یافته است. اسدزاده و همکاران [۳] نیز در مطالعه‌ای در شرق آذربایجان شرقی، با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (تصاویر ماهواره‌ای ترا، سنجنده مادیس) و روش کوکریجینگ، نقشه‌های بافت خاک با دقت بالا تولید کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که باند SWIR[1] (باند ۳) دارای بیش‌ترین همبستگی با ذرات معدنی خاک است و استفاده از این متغیر کمکی، خطای تخمین RMSE را برای شن، سیلت و رس به ترتیب به ۲/۸۱، ۲/۷۳ و ۲/۰۶ کاهش داد. هم‌چنین، مدل‌های نیم‌تغییرنما[2] کروی برای رس و سیلت و نمایی برای شن، بهترین برازش را داشتند. از طرفی پرویز و ستاری [۱۳] در مطالعه‌ای در استان آذربایجان شرقی، با بررسی ۳۵ نمونه خاک، نشان دادند که ارتفاع تأثیر معنی‌داری بر پراکنش اجزای بافت خاک (شن، سیلت و رس) دارد. آن‌ها با استفاده از تحلیل واریانس (ANOVA) و آزمون LSD دریافتند که در ارتفاعات بالاتر، پراکنش سیلت افزایش می‌یابد و شاخص MAE کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تغییرات مکانی مشخص در بافت خاک است. در همین راستا، روش کریجینگ یک روش زمین‌آماری پیشرفته برای درون‌یابی داده‌های مکانی است که بر پایه مدل‌های نیم‌تغییرنما[3] عمل می‌کند. این روش با در نظر گرفتن وابستگی مکانی بین نقاط نمونه‌برداری‌شده، مقادیر ناشناخته را با وزن‌دهی بهینه تخمین می‌زند و واریانس تخمین را نیز محاسبه می‌کند. کریجینگ انواع مختلفی دارد، مانند کریجینگ ساده[4] که برای داده‌های نرمال و بدون روند مناسب است. این روش دقت بالایی در مناطق با داده‌های پراکنده دارد و خطاهای تخمین را به حداقل می‌رساند [۱۸]. در مطالعات خاک‌شناسی، کریجینگ برای نقشه‌برداری بافت خاک و توزیع اجزای آن (مانند شن، سیلت و رس) به‌طور گسترده استفاده می‌شود، زیرا ساختار مکانی را حفظ می‌کند [۸]. روش IDW[5](وزن دهی معکوس فاصله) نیز یک روش درون‌یابی ساده‌تر و غیر آماری است که بر اساس فاصله وزنی عمل می‌کند. در این روش، مقادیر ناشناخته با میانگین وزنی نقاط شناخته‌شده تخمین زده می‌شوند، جایی که وزن هر نقطه متناسب با معکوس توان فاصله آن از نقطه هدف است (معمولاً توان دو) [۱۴]. IDW فرض می‌کند که تأثیر نقاط نزدیک‌تر بیش‌تر است و وابستگی مکانی را به‌صورت محلی مدل می‌کند، اما واریانس تخمین را محاسبه نمی‌کند و ممکن است در مناطق با ناهمواری زیاد، دقت کم‌تری داشته باشد [۱۵]. این روش در GIS برای نقشه‌برداری سریع ویژگی‌های خاک مانند بافت استفاده می‌شود، اما نسبت به کریجینگ، کم‌تر به ساختار مکانی حساس است [۶]. باوجود مطالعات ارزشمند انجام‌شده(مانند مازندران، گلستان، آذربایجان شرقی و نیشابور) بررسی دقیق تغییرات مکانی بافت خاک با استفاده از نمونه‌برداری میدانی متراکم و روش‌های پیشرفته زمین‌آماری در بوم‌سازگان‌های خشک استان کرمان کم‌تر موردتوجه قرارگرفته است. بسیاری از مطالعات پیشین یا در مناطق اقلیمی دیگر متمرکز بوده یا از تراکم نمونه‌برداری پایین‌تری برخوردار بوده‌اند. لذا، شکاف تحقیقاتی در زمینه تهیه نقشه‌های بافت خاک با مقیاس بزرگ در این منطقه مشخص است. این شکاف دانشی، نوآوری اصلی پژوهش حاضر را تشکیل می‌دهد. بر همین اساس، هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی و مدل‌سازی توزیع مکانی اجزای بافت خاک (شن، سیلت و رس) و مقایسه کارایی روش‌های درون‌یابی کریجینگ و IDW در منطقه زنگی‌آباد استان کرمان است. انتظار می‌رود نتایج این پژوهش اطلاعات پایه‌ای و دقیقی برای مدیریت پایدار اراضی و منابع آب در این منطقه فراهم آورد.

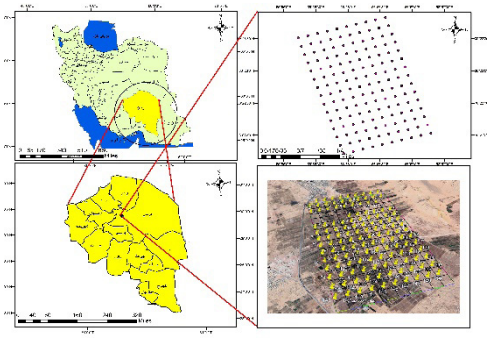
مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

منطقه زنگی‌آباد در استان کرمان، به‌عنوان یکی از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است. ارتفاع متوسط منطقه ۱۷۵۰ متر از سطح دریا است. بر اساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک کرمان [۱۹] متوسط دمای سالانه منطقه ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد و متوسط بارش سالانه آن ۳۷/۸میلی‌متر است. رژیم رطوبتی منطقه موردمطالعه نیز آریسول و رژیم حرارتی خاک آن ترمیک[6] است. هم‌چنین کاربری غالب اراضی در منطقه موردمطالعه شامل باغات پسته، اراضی زراعی گندم و جو و مراتع است. منطقه با چالش‌های عمده‌ای ازجمله کمبود شدید منابع آب، شوری خاک، فرسایش بادی و تخریب مراتع مواجه است که

1. Shortwave infrared band
2. Semivariogram
3. Semivariogram
4. Ordinary Kriging
5. Inverse Distance Weighting
6. Thermic

مدیریت پایدار اراضی را با دشواری مواجه ساخته است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد و نقاط نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در کشور و استان کرمان

روش کار

در پژوهش حاضر، تغییرات مکانی بافت خاک در منطقه زنگی‌آباد کرمان با روش توصیفی-تحلیلی بررسی شد. بدین منظور جامعه آماری شامل خاک‌های سطحی (عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) با کاربری کشاورزی بود (شکل۲). در همین راستا، در ماه آذر ۱۴۰۲، تعداد ۱۵۰ نمونه خاک به روش تصادفی سیستماتیک و با پوشش یکنواخت در کل سطح منطقه نمونه‌برداری شده است. این عمق به دلیل آنکه لایه شخم و منطقه اصلی فعالیت ریشه گیاهان زراعی و باغی محسوب می‌شود و بیش‌ترین تأثیر را از عملیات مدیریتی و فرسایش سطحی می‌پذیرد، برای نمونه‌برداری انتخاب‌شده است. هم‌چنین مختصات جغرافیایی هر یک از نمونه‌ها با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی(GPS) ثبت شد. در ادامه داده‌های بافت خاک (شن، سیلت، رس) با روش هیدرومتری تعیین شد. پس از مشخص کردن بافت خاک، با استفاده محیط نرم‌افزاری SPSS21 و GS^+ نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی شد [۱۷]. ازآنجایی‌که این آزمون برای ارزیابی تطابق توزیع داده‌ها با توزیع نرمال استاندارد کاربرد دارد و پیش‌فرض بسیاری از تحلیل‌های زمین‌آماری (به‌ویژه کریجینگ) نرمال بودن داده‌ها است، از آن استفاده شد. برای داده‌هایی که توزیع نرمال نداشتند، از تبدیل‌های مناسب (لگاریتمی و باکس-کاکس) استفاده و چولگی و کشیدگی روی داده‌های خام و تبدیل‌شده انجام گرفت که در جدول ۱ ارائه‌شده است. انتخاب این تبدیل‌های رایج آماری به‌منظور یافتن بهترین توزیع نرمال برای داده‌ها و برآورد دقیق‌تر پارامترهای زمین‌آماری بوده است.

جدول ۱: تست کولموگروف-اسمیرنف داده‌های بافت خاک در منطقه زنگی‌آباد استان کرمان

داده‌های خام			
پارامتر	چولگی	کشیدگی	K-Sp
شن	۰/۱۱	-۱/۰۶	۰/۲۰
رس	۱/۶۸	۵/۰۷	۰/۱۴
سیلت	-۰/۰۷	-۱/۰۳	۰/۰۰
تبدیل لگاریتمی			
پارامتر	چولگی	کشیدگی	K-Sp
شن	-۰/۵۵	-۰/۳۷	۰/۱۰
سیلت	-۱/۶۳	۱/۹۸	۰/۰۰
تبدیل باکس کاکس			
پارامتر	چولگی	کشیدگی	K-Sp
شن	-۰/۰۸	-۰/۹۸	۰/۲۴
سیلت	-۰/۲۸	-۰/۸۵	۰/۱۹

شکل ۲: نمایی از نمونه‌برداری خاک در عمق ۲۰ سانتی‌متری در منطقه موردمطالعه

هم‌چنین برای ترسیم واریوگرام، مدل‌های کروی، گوسی، نمایی و خطی برازش داده شد و مقادیر اثر حد آستانه و اثر قطعه‌ای با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون و نرم‌افزار GS^+ محاسبه و در ادامه نقشه‌ها در محیط GIS رسم شدند. در ادامه با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و IDW اقدام به درون‌یابی برای رس، شن و سلیت در منطقه موردمطالعه شد. در پژوهش حاضر، از کریجینگ برای درون‌یابی دقیق‌تر با توجه به مدل‌های نیم‌تغییرنما (جدول ۲) و از IDW برای مقایسه و ارزیابی ساده‌تر استفاده شد. این روش‌ها با نرم‌افزار GS^+ و GIS پیاده‌سازی شدند.

جدول ۲: نتایج برازش نیم‌تغییرنمای اجزای بافت خاک منطقه زنگی‌آباد استان کرمان

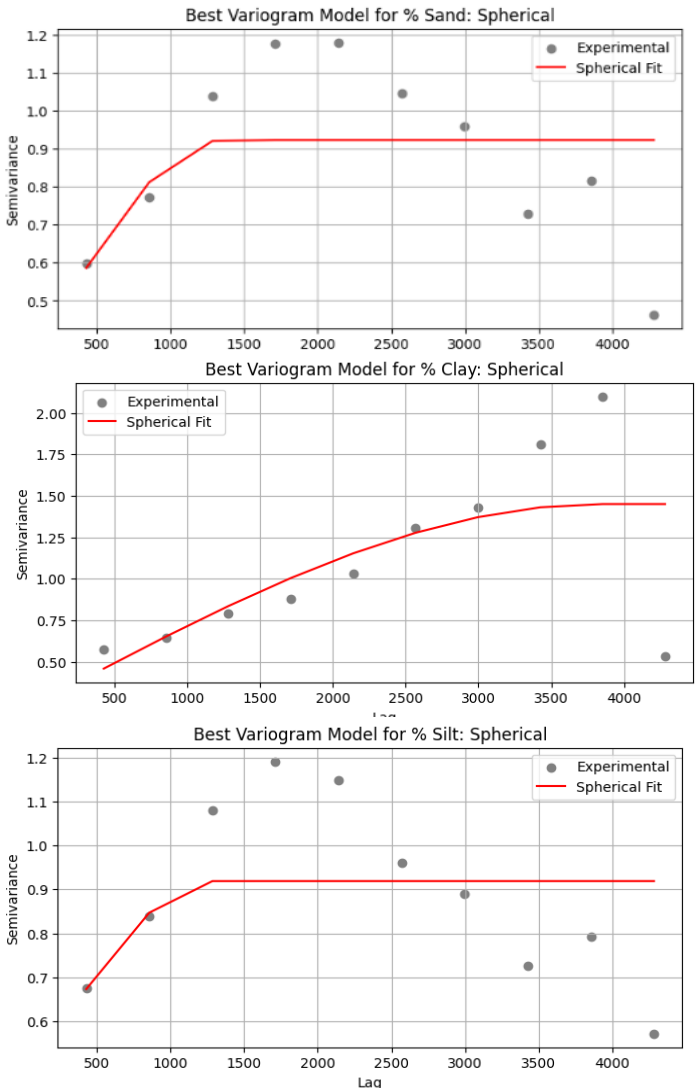
پارامتر	بهترین مدل	اثر قطعه‌ای	اثر آستانه‌ای	RSS	R^2	دامنه
شن	کروی	۰/۶۲۱	۰/۳۰۱	۰/۴۲۶	۰/۱۹۹	۳۸۳۳/۶۲۹
رس	کروی	۱/۱۹۰	۰/۲۵۹	۱/۴۸۱	۰/۴۴۱	۱۳۵۵/۶۰۳
سیلت	کروی	۰/۴۷۰	۰/۴۴۸	۰/۳۳۱	۰/۱۴۴	۱۲۹۵/۰۶۷

نتایج و بحث

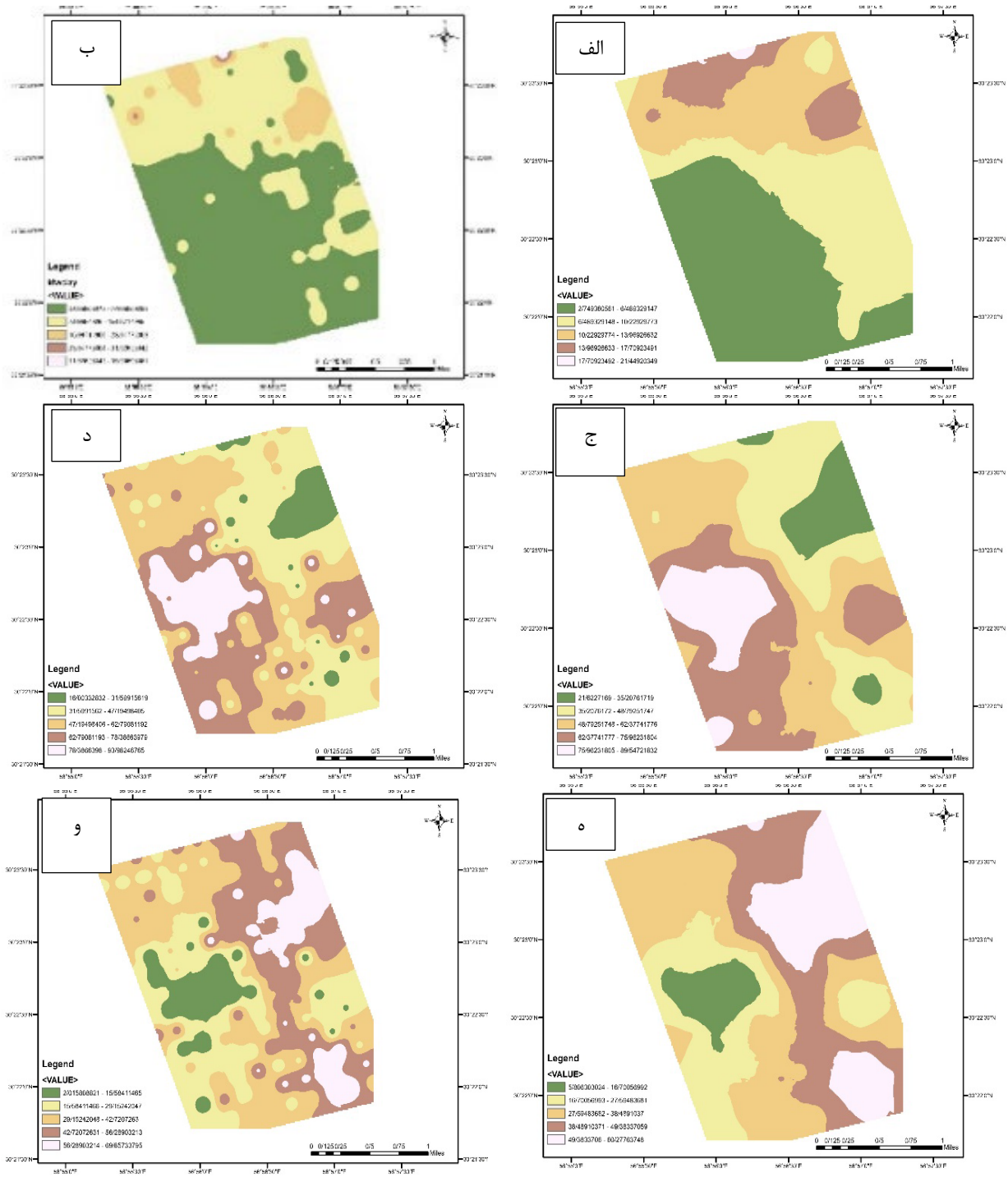
نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (جدول ۱) نشان داد که داده‌های خام رس و سیلت از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. پس از اعمال تبدیلات باکس-کاکس و لگاریتمی، توزیع داده‌ها به نرمال نزدیک شد. هم‌چنین نتایج برازش مدل‌های نیمه‌تغییرنما در جدول ۲ ارائه‌شده است. در شکل ۳ واریوگرام‌های مربوط به داده‌های اندازه‌گیری شده بافت خاک در منطقه موردمطالعه ارائه‌شده است. نتایج جدول ۲ و شکل ۳ نشان می‌دهد که برای هر سه پارامتر شن، رس و سیلت، مدل کروی بهترین برازش را با داده‌های تجربی داشته است. پارامتر شن با دامنه تأثیر حدود ۳۸۳٤ متر، بیش‌ترین ساختار فضایی دوربرد را نشان داد، درحالی‌که رس و سیلت دامنه‌های کوتاه‌تری داشتند. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای هر سه متغیر کم‌تر از ۲۵ درصد بود که نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی است. بااین‌حال، مدل برازش داده‌شده برای سیلت (R^2= ۰/۱٤٤) و شن (R^2= ۰/۱۹۹) همبستگی ضعیف‌تری را نشان می‌دهد که می‌تواند بر عدم قطعیت تخمین در این پارامترها بیفزاید.

درون‌یابی پارامترهای بافت خاک در منطقه موردمطالعه با استفاده از روش‌های کریجینگ و IDW در شکل ٤ نشان داده‌شده است. در این مطالعه از کوکریجینگ استفاده نشد زیرا این روش نیازمند یک متغیر کمکی است که اولاً باید به‌طور گسترده و متراکم در کل منطقه اندازه‌گیری شده باشد و ثانیاً همبستگی بالایی با متغیر اصلی (بافت خاک) داشته باشد. ازاین‌رو، به‌منظور جلوگیری از افزایش خطای مدل، از روش کریجینگ استفاده شد. نتایج شکل ٤ نشان می‌دهد پارامتر رس در بافت خاک منطقه موردمطالعه در قسمت جنوب غرب کم‌ترین مقدار را داشته و به سمت شرق و شمال منطقه موردمطالعه مقدار رس افزایش پیدا می‌کند، الگوی فضایی مشاهده‌شده، که در آن بخش‌های جنوب غربی دارای بافت شنی و بخش‌های شمال شرقی دارای بافت لومی تا لوم-رسی هستند، می‌تواند به ترکیبی از عوامل کنترل‌کننده نسبت داده شود.

در همین راستا، در روش کریجینگ کم‌ترین مقدار رس حدود دو درصد بوده و به حداکثر ۲۱ درصد رسیده است، درحالی‌که در روش IDW به ترتیب از ۰/۰۰۵ تا ۳۹ درصد تغییرات رس در



شکل ۳: واریوگرام مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده پارامترهای شن، رس و سیلت در منطقه زنگی‌آباد کرمان



شکل ٤: درون‌یابی پارامترهای بافت خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار کریجینگ و IDW در منطقه زنگی‌آباد استان کرمان، (الف، ب) کریجینگ و IDW پارامتر رس، (ج، د) کریجینگ و IDW پارامتر شن، (ه، و)کریجینگ و IDW پارامتر سیلت

منطقه موردمطالعه بوده است. از طرفی برای پارامتر شن به ترتیب ۲۱ درصد تا ۸۹ درصد برای روش کریجینگ و ۱٦ تا ۹۳ برای روش IDW بوده است، مقدار شن مطابق با درون‌یابی‌های انجام‌شده برعکس پارامتر رس بوده و بیش‌ترین مقدار در قسمت جنوب غرب وجود داشته است، به عبارتی در این بخش از منطقه موردمطالعه بافت خاک سبک‌تر بوده است و به سمت شمال شرق از مقدار شن در بافت خاک کاسته می‌شود. هم‌چنین برای پارامتر سیلت نیز به ترتیب پنج درصد تا ٦۰ درصد برای روش کریجینگ و دو تا ٦۹ برای روش IDW بوده است. مقدار سیلت برای منطقه موردمطالعه در بخش شرق منطقه موردمطالعه بیش‌ترین مقدار را داشته به سمت

غرب مقدار آن کاسته می‌شود. با لحاظ هر سه مؤلفه بافت خاک در بخش شرقی به سمت متوسط یا لومی است و در بخش جنوب غرب شنی و سبک است. در همین راستا، حداقل و حداکثر مقدار رس در منطقه موردمطالعه صفر و ٤٠ درصد بوده است. برای پارامترهای شن و سیلت نیز به ترتیب ١٦ درصد و دو درصد حداقل و ٩٢ و ٧٠ درصد حداکثر بوده است. با مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر درون‌یابی روش IDW دقت بهتری در پهنه‌بندی پارامترهای موردمطالعه داشته است.

بنابراین پارامتر شن با داشتن بیش‌ترین دامنه تأثیر (٣٨٣٤ متر)، قوی‌ترین و گسترده‌ترین ساختار فضایی را نشان می‌دهد. این نشان می‌دهد که فرآیندهای کنترل‌کننده توزیع ذرات شن (مانند فرسایش بادی یا انتقال رسوبات درشت‌دانه) در مقیاس وسیع‌تری در منطقه عمل می‌کنند. پارامترهای رس و سیلت دامنه تأثیر کوتاه‌تری (به ترتیب ١٣٥٥ و ١٢٩٥ متر) داشتند. این نشان می‌دهد که عوامل کنترل‌کننده این ذرات ریزتر (مانند فرسایش آبی، کشاورزی، یا تشکیل خاک) در مقیاس محلی‌تر عمل می‌کنند و تغییرپذیری مکانی بیش‌تری دارند. نتایج هم‌چنین نشان داد که مدل کروی بهترین برازش را برای نیم‌تغییرنما دارد (با R^2 تا ٠/٩٩١ برای شن)، مشابه مطالعه اسدزاده [١] که مدل کروی را برای رس و سیلت در آذربایجان شرقی مناسب یافت و بر کاهش خطای تخمین تأکید کرد. افزایش مقدار رس در شمال شرقی منطقه (تا ٤٠ درصد در داده‌های خام) با یافته‌های پرویز و ستاری [١٣] در آذربایجان هم‌خوانی دارد، جایی که افزایش سیلت در ارتفاعات بالاتر (مشابه گرادیان شمال شرقی زنگی‌آباد بر اساس مختصات فایل) گزارش شد و وابستگی بافت خاک به عوامل توپوگرافی را برجسته کرد. در مقایسه، بوگونوویچ [٥] در مطالعه‌ای بر روی بافت خاک در مناطق کشاورزی اروپا، با استفاده از کوکریجینگ دقت RMSE را به حدود ٢/٥ کاهش دادند، که مشابه دقت تقریبی پژوهش حاضر (٨/ ≈ ٢RMSE) برای شن، بر اساس مقایسه داده‌های خام و درون‌یابی) است و برتری روش‌های پیشرفته زمین‌آماری در مناطق با داده‌های پراکنده را تأیید می‌کند. هم‌چنین، سونگ [١٦] در مناطق خشک چین، توزیع غالب شنی در نواحی جنوبی را گزارش کردند (با شن تا ٧٠ درصد) که با الگوی پژوهش حاضر در جنوب غربی زنگی‌آباد (شن تا ٩٢ درصد در داده‌های خام) مطابقت دارد و این تغییرات را به عوامل اقلیمی، فرسایش و کاربری اراضی نسبت دادند. روش IDW نسبت به کریجینگ دقیق‌تر بود، زیرا وابستگی مکانی را بهتر مدل می‌کند و تمایل به بیش‌تخمینی را کاهش می‌دهد [٢ و ١٨]. این یافته‌ها تأکید می‌کنند که در مناطق خشک مانند کرمان، مدیریت پایدار خاک (مانند کاهش فرسایش در نواحی شنی جنوب غربی از طریق پوشش گیاهی) می‌تواند بهره‌وری کشاورزی را بهبود بخشد.

نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف مدل‌سازی پراکندگی مکانی بافت خاک و مقایسه روش‌های درون‌یابی در منطقه خشک زنگی‌آباد کرمان انجام شد. نتایج اصلی نشان داد که یک گرادیان بافتی مشخص از بافت‌های سبک و شنی در جنوب غرب به سمت بافت‌های متوسط تا سنگین (لومی و لوم–رسی) در شمال شرق منطقه وجود دارد. تحلیل‌های زمین‌آماری نشان داد که روش IDW با مدل کروی، به دلیل در نظر گرفتن ساختار فضایی داده‌ها، عملکرد دقیق‌تری (بر اساس RMSE پایین‌تر) نسبت به روش کریجینگ در تخمین این الگوها دارد. یافته‌های این تحقیق کاربردهای مدیریتی مهمی دارد، بدین ترتیب که نقشه بافت خاک می‌تواند مبنای مدیریت متغیر مکانی قرار گیرد؛ ازجمله آبیاری متغیر (آب بیش‌تر در اراضی شنی جنوب غرب) و مدیریت فرسایش (اجرای اقدامات حفاظتی مانند کاشت بادشکن در مناطق حساس به فرسایش بادی). بااین‌حال، این مطالعه دارای محدودیت‌هایی بود. نمونه‌برداری تنها به عمق سطحی خاک محدود شد و پروفیل‌های عمیق‌تر بررسی نشدند. هم‌چنین، به دلیل عدم وجود متغیر کمکی با همبستگی بالا، از روش پیشرفته‌تر کوکریجینگ استفاده نشد. برای تحقیقات آینده، پیشنهاد می‌شود مدل‌سازی سه‌بعدی بافت خاک در عمق‌های مختلف انجام شود و استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (مانند تصاویر ماهواره‌ای با تفکیک بالا) به‌عنوان متغیر کمکی برای کوکریجینگ به‌منظور افزایش دقت نقشه‌ها موردبررسی قرار گیرد.

منابع

1. Adhikary S, Yang, X., Leys, J., Zhang, M., and Gray, J. M. 2023. Estimating nutrient transport associated with water and wind erosion across New South Wales, Australia. Geoderma, 430, 116345.

2. Ajami, M., Khormali, F., and Abuei, S. 2008. Changes in some soil quality parameters due to land use change in different sub-soil locations in eastern Golestan province. Journal of Iranian Soil and Water Research, 39(1): 1–10. (In Persian).

3. Asadzadeh,F., Khosravi-Aghdam, K., Yaghmaeian-Mahabadi, N., and Ramezanpour, H. 2018. Spatial changes of soil mineral particles using remote sensing and geostatistics for soil texture interpolation. Journal of Water and Soil, 32(6): 1207–1222. (In Persian).

4. Biswas, A., and Biswas, A. 2024. Geostatistics in soil science: A comprehensive review on past, present and future perspectives. Journal of the Indian Society of Soil Science, 72(1): 1-22.

5. Bogunovic, I, Ibáñez, A., Sombrero, A., Santiago-Pajón, A., Santiago-Calvo, Y., and Manzanera, M. C. A. S. 2024. Effect of long-term conservation

tillage management on microbial diversity under Mediterranean rainfed conditions. Soil and Tillage Research, 236, 105923.

6. Burrough, P. A., McDonnell, R. A., and Lloyd, C. D. 2015. Principles of geographical information systems. Oxford university press.

7. Ghaemi, M., Astaraei, A.R., Emami, H., Nassiri Mahalati, M. and Sanaeinejad, S.H. 2014. Determining Soil Indicators for Soil Sustainability Assessment Using Principal Component Analysis of Astan Quds-East of Mashhad-Iran. Journal of Soil Science and Plant Nutrition, 14, 1005-1020. (In Persian).

8. Goovaerts, P. 1997. Geostatistics for natural resources evaluation. Oxford university press.

9. Hosseinpour-Zarnaq, M., Omid, M., Sarmadian, F., Ghasemi-Mobtaker, H., Alimardani, R., and Bohlol, P. 2025. Exploring the capabilities of hyperspectral remote sensing for soil texture evaluation. Ecological Informatics, 103336. (In Persian).

10. La, N., Bergkvist, G., Dahlin, A. S., Mulia, R., and Öborn, I. 2025. Spatial and temporal variation in crop productivity and relation with soil fertility within upland agroforestry. Field Crops Research, 320, 109675.

11. Minasny, B., and McBratney, A. B. 2025. Machine Learning and Artificial Intelligence Applications in Soil Science. European Journal of Soil Science, 76(2): e70093.

12. Mohammadi, S. B., Miri, A., Hosseini, V., Biabani, A., and Koravand, R. 2019. Investigation and prediction of spatial changes in urban green space soil texture using geostatistics techniques (case study: District Seven of Shiraz Municipality). 10th National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources (In Persian).

13. Parviz, L., and Sattari, L. 2021. Statistical analysis of elevation and soil texture variations (In part of East Azerbaijan Province) Third National Conference on Data Mining in Earth Sciences (In Persian).

14. Pelegrino, M. H. P., Guilherme, L. R. G., de Oliveira Lima, G., Poppiel, R., Adhikari, K., Dematte, J. M., Curi, N. and de Menezes, M. D. 2025. Optimizing soil texture spatial prediction in the Brazilian Cerrado: Insights from random forest and spectral data. Geoderma Regional, 40, e00922.

15. Shepard, D. 1968. January. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. In Proceedings of the 1968 23rd ACM national conference (pp. 517-524).

16. Song, Q., Gao, X., Song, Y., Li, Q., Chen, Z., Li, R., Zhang, H. and Cai, S. 2023. Estimation and mapping of soil texture content based on unmanned aerial vehicle hyperspectral imaging. Scientific reports, 13(1): 14097.

17. Taghipur, F., Emadi, S. M., Qājer-Sepānlū, M., and Dānesh, M. 2021. Investigating the effect of land use and elevation on soil texture variations in eastern Mazandaran Province .Natural Land Degradation and Restoration, 2(4): 22–37(In Persian).

18. Webster, R., and Oliver, M. A. 2007. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley and Sons.

19. https://hydrogis.ir/product/synoptic-kerman/

نشریه

ترویج و توسعه آبخیزداری

Extension and Development of Watershed Management

Vol. 13, No. 50, Fall 2025

سال سیزدهم- شماره ۵۰- پاییز ۱۴۰۴

Abstract

Field and Laboratory Investigation of Soil Texture Determination in Agricultural Lands: Case Study: Zangiabad Region, Kerman Province

F. Sheikhpour[1], M.Mahmoodabadi[2], A. Jafarpoor[3], M. Zounemat-Kermani[4]*

Received: 2025/07/31 Accepted: 2025/08/29

Accurate identification of soil texture, as one of the fundamental and relatively stable physical properties of soil, is essential for developing effective land management strategies in arid and semi-arid regions. Since soil texture directly affects water retention capacity, plant water requirements and erosion potential, mapping its spatial distribution forms the basis of site-specific management. This study aimed to assess the spatial variability of soil texture (sand, silt, and clay) in the Zangiabad region of Kerman Province, Iran. In this regard, a total of 150 surface soil samples (0–20 cm) were systematically randomly collected from agricultural land and analyzed using the hydrometer method. Data normalization was performed with the Kolmogorov–Smirnov test, and variogram models were fitted. Spatial interpolation was conducted using Kriging and IDW methods in GS+ and GIS. The results showed a clear textural gradient from the southwest to the northeast, with soils ranging from sandy and sandy loam (sand up to 89%) in the southern and western parts to loam and clay loam (clay 2–21% and silt 5–60%) in the northern and eastern areas. The IDW method demonstrated higher accuracy than Kriging in estimating soil texture values. Overall, the generated soil texture maps provide a useful basis for precision agriculture and sustainable land management, particularly for variable-rate irrigation, identification of wind erosion-prone zones (sandy regions in the southwest), and optimization of fertilizer application according to soil nutrient-holding capacity.

Keywords: Soil texture, Geostatistics, Spatial interpolation, Site-specific management, Arid and semi-arid lands, Kriging

1.Master's student, Soil Science and Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman.
2. Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman.
3. Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran;
4. Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman; zounemat@uk.ac.ir (*Corresponding author)