



19th Iranian Soil Science Congress
2-4 December, 2025



نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۱۱ تا ۱۳ آذرماه ۱۴۰۴



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



ارزیابی روش‌های زمین‌آماري به منظور پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های خاک دشت فسا

حمیدرضا اولیایی^{۱*}، علیرضا صالحی^۲، غلامرضا زارعیان^۳

۱- گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج؛

* نویسنده مسئول: پست الکترونیکی owliaie@gmail.com

۲- گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج

۳- بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس

چکیده

ارزیابی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در مقیاس‌های وسیع برای مدیریت پایدار و توسعه کشاورزی دقیق ضروری است. از آنجا که روش‌های آزمایشگاهی سنتی، پرهزینه و زمان‌بر هستند، کاربرد روش‌های زمین‌آمار توصیه می‌شود. این پژوهش با هدف بررسی کارایی روش‌های زمین‌آماري برای پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های خاک در منطقه فسا (استان فارس) انجام شد. در این راستا، ۳۲۸ نمونه خاک سطحی با الگوی شبکه‌ای منظم (فواصل ۱×۱ کیلومتر) برداشت و برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن‌ها اندازه‌گیری شد. بر اساس نتایج، مدل‌های زمین‌آماري بهینه برای هر متغیر به‌وسیله روش کریجینگ تعیین شدند: مدل کروی برای شن، سیلت و رس؛ مدل نمایی برای pH و کربن آلی؛ مدل گوسی برای چگالی ظاهری؛ و مدل پایدار برای ظرفیت تبادل کاتیونی. الگوی وابستگی مکانی متغیرها نیز به صورت زیر ارزیابی شد: ساختار مکانی ضعیف برای pH، متوسط برای سیلت، رس، هدایت الکتریکی، کربن آلی و کربنات کلسیم، و قوی برای شن، چگالی ظاهری و ظرفیت تبادل کاتیونی. یافته‌ها نشان داد که روش‌های زمین‌آماري و GIS ابزارهایی مؤثر برای تحلیل مکانی ویژگی‌های خاک هستند و می‌توانند در بهینه‌سازی مدیریت منابع خاک و برنامه‌ریزی کشاورزی دقیق نقش مهمی ایفا کنند.

واژگان کلیدی: پهنه‌بندی، تغییرپذیری مکانی، نیم‌تغییرنما، ویژگی‌های خاک

مقدمه

در دهه‌های اخیر، استفاده از روش‌های نقشه‌برداری رقومی خاک به عنوان روشی نوآورانه و مؤثر برای توصیف توزیع مکانی ویژگی‌های خاک رشد چشمگیری داشته است. این تکنیک‌ها، الگوهای مکانی خاک را با دقت و وضوح بالاتر از روش‌های سنتی و بر اساس شاخص‌های محیطی نمایش می‌دهند. همچنین، محصولات نقشه‌برداری دیجیتال به آسانی قابل به‌روزرسانی بوده و عدم قطعیت آن‌ها می‌تواند به‌صورت کمی ارزیابی شود (Qu et al., 2024). زمین‌آمار مجموعه‌ای از ابزارهای آماری است که داده‌ها را با لحاظ کردن ابعاد مکانی و زمانی پردازش می‌کند. تا دهه ۱۹۸۰، کاربرد زمین‌آمار عمدتاً به توصیف الگوهای مکانی از طریق تحلیل ساختار مکانی (واریوگرافی) و پیش‌بینی مقادیر متغیرها محدود بود. با توسعه ابزارهای پیشرفته، زمین‌آمار اکنون امکان تحلیل مسائل پیچیده‌تری مانند ارزیابی عدم قطعیت و مدل‌سازی فرآیندهای مکانی و زمانی را نیز فراهم می‌کند (Webster and Oliver, 2017).

استفاده از مدل‌های زمین‌آماري، روشی ساده، سریع، مقرون‌به‌صرفه و قابل‌اعتماد برای پیش‌بینی خصوصیات خاک است. در این روش، درون‌یابی مقادیر متغیرها در فضای نمونه‌برداری با استفاده از داده‌های نقاط مشاهده‌شده و بر اساس روش‌های مختلف



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



برآورد انجام می‌شود تا یک نمایش پیوسته از تغییرات مکانی متغیرهای منطقه‌ای ایجاد گردد (Santra et al., 2008). در مطالعه‌ای که تأثیر تغییر کاربری اراضی بر تنوع مکانی مواد مغذی خاک در جنوب شهرستان بویراحمد را بررسی کرد، مشخص شد که مدل کروی نسبت به سایر مدل‌ها دقت بیشتری دارد. روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای درون‌یابی مقادیر پتاسیم و منگنز عملکرد بهتری داشت، در حالی که کریجینگ برای سایر عناصر مناسب‌تر بود. (Askari et al., 2019). دشت فسا، واقع در جنوب غرب شیراز، به دلیل تنوع مواد مادری و توپوگرافی، پتانسیل بالایی برای فعالیت‌های کشاورزی دارد. نتایج مطالعات زمین‌آماری و پهنه‌بندی خاک در مناطق مختلف اغلب متفاوت است، و تعمیم دادن نتایج یافته‌ها به سایر مناطق دشوار می‌باشد. از این رو، مطالعه الگوی توزیع مکانی متغیرهای خاک و مقایسه روش‌های زمین‌آماری برای شناسایی مناسب‌ترین روش برای هر متغیر در هر منطقه ضروری است. در این پژوهش، تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی منطقه بررسی و نقشه‌های توزیع مکانی آنها با استفاده از مناسب‌ترین مدل‌های پیشنهاد شده از لحاظ دقت برای پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک در کاربری‌های مختلف تهیه شدند. نتیجه حاصل می‌تواند جهت ارائه پیشنهاداتی برای مدیریت بهتر اراضی منطقه مورد استفاده قرار گیرد. همچنین با مقایسه آماری بین داده‌های واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های تایید شده می‌توان جهت پیشنهاد مناسب‌ترین ابعاد شبکه نمونه‌برداری خاک در منطقه مورد مطالعه اقدام نمود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در دشت فسا قرار داشته که مساحتی حدود ۴۵ هزار هکتار را دربر گرفته و در ۱۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شیراز واقع شده است (شکل ۱). این منطقه در مختصات جغرافیایی ۷۵۷۰۰۰ تا ۷۹۲۰۰۰ متر شرقی و ۳۱۶۵۰۰۰ تا ۳۲۰۶۰۰۰ متر شمالی قرار گرفته است. میانگین دمای سالانه ۲۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه ۲۷۵ میلی‌متر است. پس از طراحی شبکه آماری تصادفی سیستماتیک با ابعاد ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ متر در نرم‌افزار ArcGIS و انتقال مختصات محل نمونه‌ها به دستگاه GPS، موقعیت محل نمونه‌برداری‌های خاک در منطقه شناسایی شد و نمونه‌های خاک سطحی جمع‌آوری و به آزمایشگاه منتقل شدند. در مجموع، ۳۲۸ نمونه خاک از کاربری مرتع و زراعی-باغی جمع‌آوری شد.



شکل ۱- موقعیت شهرستان فسا در استان فارس و ایران

آزمایش‌های فیزیکوشیمیایی به روش‌های استاندارد اندازه‌گیری شدند. به منظور بررسی چگونگی توزیع داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آمار توصیفی ویژگی‌های خاک، توزیع فراوانی با کمک ویژگی‌های آن توسط نرم‌افزار SAS مورد بررسی قرار گرفت. میانگین نتایج به دست آمده، با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد با هم مقایسه شدند. محاسبه و رسم واریوگرام‌ها برای مشخصه‌های اندازه‌گیری شده خاک، اعمال مدل‌های زمین‌آماری و رسم نقشه‌های پهنه‌بندی این مشخصه‌ها و



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



به طور کلی مطالعات زمین آماری برای دستیابی به مناسب ترین مدل میان یابی از نظر دقت و صحت در محیط نرم افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۷ انجام شد. همبستگی بین داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۶ انجام شد.

مطالعات زمین آماری

در واریوگرافی، برای توصیف و مدل سازی رفتار واریوگرام از سه مؤلفه استفاده می شود: دامنه تأثیر، حد آستانه (سقف) و اثر قطعه ای که به ترتیب نمایانگر واریانس ساختاریافته و واریانس بدون ساختار هستند. نسبت واریانس ساختاریافته به حد آستانه، ساختار مکانی واریوگرام را مشخص می کند. پهنه بندی مشخصه های اندازه گیری شده خاک در منطقه مورد مطالعه با دو روش میان یابی قطعی^۱ و زمین آماری انجام شد. در روش های قطعی یا معین، تنها از توابع ریاضی استفاده شده و مستقل از ارتباط مکانی بین مقادیر متغیرها می باشند. در این بررسی از روش های قطعی شامل چند جمله ای جهانی^۲، میان یابی چند جمله ای محلی^۳، وزن دهی فاصله معکوس^۴، و تابع پایه شعاعی^۵ استفاده شد.

نتایج و بحث

جدول ۱ توصیف آماری ویژگی های اندازه گیری شده خاک در منطقه مطالعاتی را نشان می دهد. مقادیر میانگین شن، سیلت و رس در منطقه مطالعاتی به ترتیب ۳۱/۵، ۴۴/۰ و ۲۴/۵ درصد بوده است. خاک ها به طور میانگین، دارای بافت لوم بوده و ذرات سیلت جزء غالب ذرات معدنی خاک را تشکیل می دهند. قابلیت هدایت الکتریکی خاک های منطقه در دامنه ۰/۴۲ تا ۳۷/۳۲ دسی زیمنس بر متر (میانگین ۴/۶۳ دسی زیمنس بر متر) بوده و بیانگر محدودیت شوری در بخش هایی از منطقه می باشد. کربن آلی خاک ها در دامنه ۰/۰۵ تا ۱/۶۱ درصد (با میانگین ۰/۷۳ درصد) و میانگین پهاش معادل ۷/۷۴، بیانگر شرایط قلیایی ضعیف در اکثر خاک های منطقه بوده است.

جدول ۲ پارامترهای واریوگرام و شاخص خطای تخمین برای ویژگی های مطالعه شده خاک را نشان می دهد. حداقل میانگین مجذور خطای نرمال شده به ترتیب برای چگالی ظاهری (۱/۰)، پهاش (۱/۷۶) و شن (۵/۶۵) و حداکثر این آماره به ترتیب برای قابلیت هدایت الکتریکی (۷۰/۲)، ظرفیت تبادل کاتیونی (۳۹/۷) و کربن آلی (۳۶/۶) محاسبه شد (جدول ۲). مقادیر NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۱۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است. بر این اساس دقت مدل برای ویژگی های شن، پهاش و چگالی ظاهری، خوب، سیلت و کربنات کلسیم معادل، مناسب، ویژگی رس دقت متوسط و سایر ویژگی ها (کربن آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی و هدایت الکتریکی) دقت ضعیفی داشته اند. ساختار مکانی برای شن، چگالی ظاهری و ظرفیت تبادل کاتیونی قوی، برای سیلت، رس، هدایت الکتریکی و کربن آلی متوسط و برای پهاش ضعیف بدست آمد. در ارتباط با آماره درصد خطای مطلق میانگین (MAPE) حداقل به ترتیب برای چگالی ظاهری (۱/۰۲)، پهاش (۱/۹) و شن (۷/۱) و حداکثر این آماره به ترتیب برای قابلیت هدایت الکتریکی (۲۶۹)، کربن آلی (۴۹/۵) و رس (۴۹/۰) محاسبه شد (جدول ۲).

مقدار پایین MAPE نشان دهنده دقت بالای مدل پیش بینی است. به عنوان یک قاعده کلی مقادیر کمتر از ۱۰ درصد، پیش بینی بسیار دقیق، مقادیر ۱۰ تا ۲۰ درصد پیش بینی خوب، مقادیر ۲۰ تا ۵۰ درصد پیش بینی قابل قبول و مقادیر بیش از ۵۰ درصد

¹ Deterministic

² Global Polynomial Interpolation; GPI

³ Local Polynomial Interpolation; LPI

⁴ Inverse Distance Weight; IDW

⁵ Radial Basis Function; RBF



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



دقت پیش‌بینی پایین است (Hyndman and Athanasopoulos, 2021). بر این اساس ویژگی‌های هدایت الکتریکی و ظرفیت تبادل کاتیونی دقت پیش‌بینی مدل پایین، و ویژگی‌های شن، پهاش و چگالی ظاهری پیش‌بینی مدل بسیار دقیق بوده‌است. دقت پایین مدل در زمین‌آمار می‌تواند به عوامل متعددی مربوط باشد. این عوامل ممکن است به داده‌ها، مدل انتخابی، پارامترهای استفاده‌شده، یا شرایط محیطی مرتبط باشند. مقادیر پرت می‌توانند بر خطای نسبی تأثیر زیادی داشته باشند، به‌ویژه زمانی که مقادیر واقعی کوچک باشند (Chiles and Delfiner, 2012). داده‌های هدایت الکتریکی دارای بیشترین میزان تغییرات در بین ویژگی‌های مطالعه شده بوده‌است (جدول ۱). همچنین انتخاب یک مدل ساده‌تر از حد نیاز و یا عدم انطباق با ساختار مکانی داده‌ها در نتیجه انتخاب نادرست واریوگرام می‌تواند باعث کاهش دقت پیش‌بینی شود. اگر داده‌های موجود نتوانند تمام دامنه و واریانس مکانی پدیده موردنظر را پوشش دهند، خطا افزایش می‌یابد. در مورد هدایت الکتریکی تعداد زیادی از نقاط (حدود ۸۰ درصد) دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۱۰ و فقط ۲۰ درصد داده‌ها دارای هدایت الکتریکی در دامنه ۱۰ تا ۴۰ دسی‌زیمنس بر متر بوده‌اند که همین عامل، موجب افزایش خطای پیش‌بینی مدل‌ها گردیده‌است.

جدول ۱ - توصیف آماری ویژگی‌های خاک در منطقه مطالعاتی

متغیر	واحد	میانگین	کمینه	بیشینه	چولگی	ضریب تغییرات (%)	انحراف معیار
شن	%	۳۱/۵	۷/۰۰	۸۳/۰	۱/۱۷	۶۲/۰	۱۹/۴
سیلت	%	۴۴/۰	۷/۰۰	۶۸/۹	-۱/۲۰	۲۸/۲	۱۲/۵
رس	%	۲۴/۵	۴/۰۰	۴۳/۶	-۰/۲۲	۳۸/۰	۹/۳۴
EC	dSm ⁻¹	۴/۶۳	۰/۴۲	۳۷/۳	۳/۱۴	۸۷/۵	۵/۷۸
آهک	%	۴۲/۹	۲۳/۰	۶۸/۰	۰/۲۸	۱۶/۰	۶/۷۴
کربن آلی	%	۰/۷۳	۰/۰۵	۱/۶۱	۰/۰۳	۴۱/۰	۰/۳۰
pH	-	۷/۸۴	۷/۸۴	۸/۸۰	۰/۰۸	۳/۱۰	۰/۲۷
چگالی ظاهری	gcm ⁻³	۱/۳۰	۱/۳۰	۱/۸۳	۰/۸۵	۱۸/۲	۰/۲۳
CEC	cmolk ⁻¹	۱۷/۳	۱۷/۳	۳۳/۳	-۰/۱۶	۰/۳۷	۶/۳۴

جدول ۲ - پارامترهای واریوگرام و شاخص خطای تخمین برای ویژگی‌های مطالعه‌شده خاک

متغیر	مدل واریوگرام	MAPE	MAD	NRMSE	R ²	کلاس مکانی	اثر قطعه‌ای به سقف	دامنه	سقف جزئی	سقف	اثر قطعه‌ای
شن	کروی معمولی	۷/۱	۱/۷۸	۵/۶۵	۰/۷۱	قوی	۱۴/۸	۴۹۵۴	۲۶۹	۲۲۹	۴۰/۰۱
سیلت	کروی معمولی	۱۳/۲	۷/۹۷	۱۸/۱	۰/۶۴	متوسط	۳۰/۸	۶۵۷۷	۱۱۸/۶	۸۲/۰	۳۶/۶
رس	کروی معمولی	۴۹/۰	۷/۳۵	۲۹/۱	۰/۵۴	متوسط	۳۰/۷	۳۸۶۰	۶۲/۷	۴۳/۴	۱۹/۳
pH	نمایی ساده	۱/۹	۰/۱۵	۱/۹۰	۰/۰۵	ضعیف	۸۴/۸	۸۷۳۳	۰/۹۹۶	۰/۱۵۶	۰/۸۴
EC	نمایی معمولی	۲۶۹	۳/۲۵	۷۰/۲	۰/۲۶	متوسط	۵۱/۲	۳۰۹۲۲	۳۸/۷	۱۸/۳۲	۲۰/۴
کربن آلی	نمایی ساده	۴۹/۵	۰/۲۶	۳۶/۶	۰/۳۳	متوسط	۴۶/۹	۲۷۴۵۱	۱/۱۳	۰/۶۰۵	۰/۵۳۲
چگالی	گوسی معمولی	۱/۰۲	۰/۰۱	۱/۰۶	۰/۶۱	قوی	۲۱/۴	۲۱۴۰	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۰۶
آهک	کروی ساده	۱۳/۵	۷/۰۴	۱۶/۴	۰/۳۳	متوسط	۴۹/۵	۵۶۴۴	۱/۰۳	۰/۵۱۷	۰/۵۱۴
CEC	پایدار ساده	۶/۸۷	۶/۸۷	۳۹/۷	۰/۴۵	قوی	۰/۰	۱۸۵۵۴	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۰



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

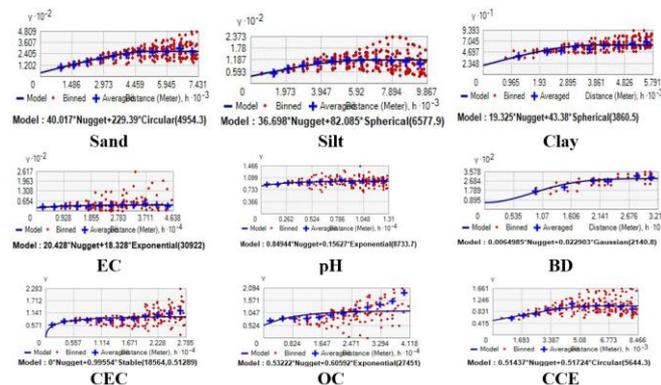
Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

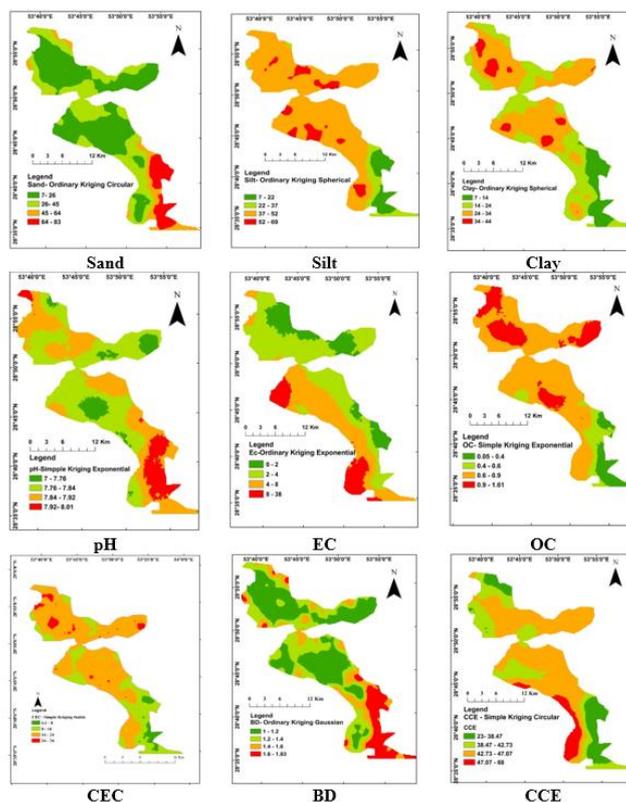
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



مقایسه بین نمودار نیمه متغیرنماها، نمودار برازش مدل ارزیابی دقت (میانگین مجذور خطای نرمال شده) برای مشخصه‌هایی که دارای ساختار مکانی ضعیف (کربنات کلسیم معادل) و متوسط (کربن آلی) هستند با آن‌هایی که دارای ساختار مکانی قوی هستند نشان می‌دهد که نمودار نیم تغییرنماها (شکل ۲) مربوط به متغیرهای با ساختار مکانی ضعیف و متوسط به‌طور کلی دارای اثر قطعه‌ای بزرگ‌تری نسبت به نمودار نیم تغییرنمای مربوط به گروه قوی هستند، درحالی‌که در آن‌ها پراکنش نقاط حول نمودار برازش شده نامتقارن‌تر و پراکنده‌تر است. بنابراین می‌توان به تأثیر منفی اثر قطعه‌ای بر ساختار مکانی مدل‌ها اشاره نمود. دامنه تأثیر را می‌توان به‌عنوان حد قابل قبول برای ابعاد شبکه آماربرداری در نظر گرفت؛ چرا که با توجه به شکل ۲، در این فاصله تغییرات نیمه متغیرنما ثابت شده و با افزایش بیشتر فاصله، تغییری در اختلاف داده‌ها ایجاد نمی‌شود (علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). به عبارت دیگر هر چه فاصله نمونه‌برداری‌ها از دامنه تأثیر کمتر باشد شباهت داده‌ها به هم بیشتر است. این موضوع می‌تواند راهنمایی برای تنظیم شبکه آماربرداری برای نمونه‌برداری مشخصه‌های موردنظر خاک در منطقه بر اساس هدف از پیش تعیین شده باشد. بر اساس نتایج جدول ۲ برای بسیاری از مشخصه‌ها می‌توان ابعاد شبکه را در محدوده ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر و بیشتر در نظر گرفت که این موضوع می‌تواند در کاهش هزینه‌های آماربرداری و زمان کمتر مؤثر باشد. شکل ۳، نقشه پراکنش و در اصل پهنه‌بندی ویژگی‌های مورد مطالعه بر اساس بهترین روش درون‌یابی آن‌ها را نشان می‌دهد. تغییرات مشاهده شده در منطقه مطالعاتی تحت تأثیر عوامل تشکیل‌دهنده خاک و اثرات انسانی می‌باشد. جدول ۳ مساحت و درصد سطوح چهارگانه ویژگی‌های مطالعه شده بر اساس نقشه پهنه‌بندی (شکل ۳) را نشان می‌دهد. بر اساس داده‌های این جدول حدود ۳۶ درصد وسعت منطقه دارای پهاش بیش از ۷/۸، حدود ۸۳ درصد منطقه دارای کربن آلی به میزان کمتر از ۰/۹ درصد و ۴۵ درصد منطقه قابلیت هدایت الکتریکی بیشتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر داشته است. همچنین ۸۳ درصد خاک‌های منطقه دارای سیلت به میزان بیش از ۳۷ درصد و مقدار کربنات کلسیم معادل نیز در ۷۱ درصد منطقه بیش از ۴۳ درصد بوده است. بخش عمده خاک‌های شور در مناطق پست غربی و جنوب‌غربی منطقه در مجاورت سازندهای گچی-نمکی گسترش دارد (شکل ۳).



شکل ۲- نیم تغییرنماهای ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی حاصل از مناسب‌ترین مدل انتخاب‌شده با کمترین خطا و بیشترین ضریب تبیین برای ویژگی‌های خاک با توجه به پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک، به نظر می‌رسد ویژگی‌های محدود کننده شامل شوری، آهکی‌بودن، کربن آلی کم، پهاش نسبتاً قلیایی و سیلتی‌بودن زیاد بافت خاک که موجب افزایش استعداد فرسایش‌پذیری به ویژه در اراضی شیب‌دار با پوشش گیاهی ضعیف می‌شود. درصد نسبتاً بالای کربنات کلسیم و پهاش نسبتاً زیاد موجب کاهش قابلیت فراهمی عناصر ریزمغذی می‌شوند. پایین بودن کربن آلی خاک‌های منطقه نیز عاملی مهم در کاهش کیفیت خاک، که موجب کاهش پایداری خاک‌دانه و همچنین کاهش ظرفیت تبادل کاتیونی می‌شود. در نهایت با توجه به نتایج بدست‌آمده مشخص شد که مدل‌سازی زمین‌آماري به‌خوبی می‌تواند عمده تغییرات پیوسته ویژگی‌های خاک را نشان دهد. با توجه به پژوهش‌های صحرایی مشخص شد که تغییرات کیفی و کمی خاک در ارتباط با نوع مواد مادری، پستی‌وبلندی و کاربری اراضی بوده که این عوامل می‌توانند شاخص‌هایی بهینه برای طراحی شبکه‌های نمونه‌برداری و شناسایی نواحی مدیریتی در کشاورزی دقیق و نیز برای صرفه‌جویی در مصرف نهاده‌های کشاورزی و حفظ محیط‌زیست باشد.

جدول ۳- مساحت و درصد سطوح چهارگانه ویژگی‌های مطالعه شده بر اساس نقشه پهنه‌بندی شکل ۳

	سطح ۱		سطح ۲		سطح ۳		سطح ۴	
	مساحت (ha)	(%)						
شن	۱۸۹۰۰	۴۲	۱۴۸۵۰	۳۳	۳۶۰۰	۸	۷۶۵۰	۱۷
سیلت	۴۰۵۰	۹	۳۶۰۰	۸	۳۱۵۰۰	۷۰	۵۸۵۰	۱۳
رس	۵۸۵۰	۱۳	۱۲۶۰۰	۲۸	۲۱۶۰۰	۴۸	۴۹۵۰	۱۱



۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

مدیریت جامع نگر و هوشمند خاک و آب

Holistic and Smart Soil and Water Management

دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran



پ‌هاش	۵۴۰۰	۱۲	۲۳۴۰۰	۵۲	۹۹۰۰	۲۲	۶۳۰۰	۱۴
EC	۵۸۵۰	۱۳	۱۸۹۰۰	۴۲	۱۵۷۵۰	۳۵	۴۵۰۰	۱۰
چگالی ظاهری	۱۸۴۵۰	۴۱	۱۵۷۵۰	۳۵	۵۸۵۰	۱۳	۴۹۵۰	۱۱
کربنات کلسیم	۲۲۵۰	۵	۱۰۸۰۰	۲۴	۲۹۲۵۰	۶۵	۲۷۰۰	۶
کربن آلی	۳۱۵۰	۷	۳۶۰۰	۸	۳۰۶۰۰	۶۸	۷۶۵۰	۱۷
CEC	۱۸۰۰	۴	۸۱۰۰	۱۸	۳۲۴۰۰	۷۲	۲۷۰۰	۶

فهرست منابع

- اولیائی، ح.ر.، صالحی، ع. و زارعیان، غ. (۱۴۰۳). ارزیابی روش‌های زمین‌آماری جهت پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های خاک منطقه دارنگان با کاربری‌های مختلف، استان فارس. مجله تحقیقات خاک و آب ایران، ۵۵: ۹۷-۱۱۶.
- Askari, S., Owliaie, H.R., Safari, Y. Sedghi Asl, M. (2019). Spatial variability of some soil fertility characteristics as affected by land use change, Yasouj region. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(1): 65-81.
- Chiles, J. P., Delfiner, P. (2012). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. Wiley, New York, Chichester.
- Hyndman, R.J., Athanasopoulos, G. (2021) *Forecasting: principles and practice*, 3rd edition, OTexts: Melbourne, Australia.
- Qu, L., Lu, H., Tian, Z., Schoorl, J.M., Huang, B., Liang, Y., Qiu, D., Liang, Y. (2024). Spatial prediction of soil sand content at various sampling density based on geostatistical and machine learning algorithms in plain areas. *Catena*, 234: 107572.
- Santra, P., Chopra, U. K., Chakraborty, D. (2008). Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in an agricultural farm. *Current Science*, 95:7. 937-945.
- Webster, R., Oliver, M. A. (2007). *Geostatistics for environmental scientists* (Second Edition ed.). The Atrium, Southern Gate, Chichester, England: John Wiley and Sons. 330 p.

Evaluation of Geostatistical Methods for Zoning Some soil Characteristics in Fasa Plain

Hamidreza Owliaie^{*1}, Alireza Salehi², Gholamreza Zareian³

^{1*} Corresponding Author, Department of Soil Science, Yasouj University, Email: owliaie@gmail.com

² Department of Forestry, Range and Watershed Management, Yasouj University

³ Department of Soil and Water Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran.

Abstract

Assessing soil physical and chemical properties over large spatial scales is essential for sustainable land management and the advancement of precision agriculture. Given the high cost and time-consuming nature of conventional laboratory analyses, the use of geostatistical methods is strongly recommended. This study aimed to evaluate the effectiveness of geostatistical approaches in mapping selected soil properties in the Fasa region, located in Fars Province, Iran. A total of 328 surface soil samples were collected based on a regular grid pattern with 1×1 km spacing, and several key physical and chemical properties were measured. According to the results, the optimal geostatistical models for each variable were identified using kriging: the spherical model for sand, silt, and clay; the exponential model for pH and organic carbon; the Gaussian model for bulk density; and the stable model for cation exchange capacity (CEC). Spatial dependence varied among variables: weak for pH, moderate for silt, clay, electrical conductivity, organic carbon, and calcium carbonate equivalent, and strong for sand, bulk density, and CEC.

Keywords: Spatial Mapping, Spatial Variability, Semivariogram, Soil Properties