

پهنه‌بندی و تحلیل مکانی برخی خصوصیات خاک در اراضی دانشگاه زنجان

حدیثه شعبانی^۱، محمد امیر دلاور^{۲*}، یاسر صفری^۳، پریسا علمداری^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۹/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۳۰)

چکیده

تخمین روند تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های مختلف خاک، راهکاری سودمند برای دستیابی به مدیریت خاص مکانی کارا و هدفمند این جزء حیاتی اکوسیستم است. در این پژوهش، به منظور بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، ۴۸ نمونه خاک از عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری به روش شبکه‌بندی منظم با فواصل ۲۵۰ متری در اراضی دانشگاه زنجان جمع‌آوری شد. ویژگی‌های مختلف خاک نظیر وزن مخصوص ظاهری، مقدار آب قابل‌دسترس‌قابل‌دسترس، هدایت هیدرولیکی اشباع، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها، درصد رس، درصد شن، کربن آلی و کربنات کلسیم معادل اندازه‌گیری شد. پس از تشریح ساختار مکانی متغیرهای مختلف، مقادیر آن‌ها با استفاده از تخمین گر کریجینگ معمولی برآورد شد و نقشه‌های پیوسته مکانی فراهم گردید. نتایج پژوهش گویای آن بود که بیش‌ترین ضریب تغییرات به ویژگی هدایت هیدرولیکی اشباع (۴۳/۲۸ درصد) و کم‌ترین آن به جرم مخصوص ظاهری (۵/۵۳ درصد) تعلق داشت. برای متغیرهای درصد کربن آلی و کربنات کلسیم معادل، مدل کروی و برای سایر متغیرها، مدل نمایی مناسب‌ترین برازش را بر الگوی تغییرات مکانی داشتند. کلاس هم‌بستگی مکانی برای ویژگی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، متوسط و برای سایر ویژگی‌های مورد مطالعه، قوی بود. بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی حاکی از آن بود که با افزایش درصد رس از جنوب به شمال منطقه، مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک کاهش و مقادیر آب قابل‌دسترس در خاک افزایش می‌یابند. این نتیجه گویای آن است که با توجه به جوان بودن خاک‌ها و عدم تکامل ساختمان در آن‌ها، اغلب ویژگی‌های فیزیکی خاک تحت تأثیر بافت خاک هستند. هم‌چنین مشاهده شد که اختصاص یافتن اراضی واقع در بخش‌های جنوبی منطقه به کشت گیاهان زراعی و بخش‌های شمالی به باغ سیب، موجب افزایش درصد کربن آلی به بیش‌تر از یک درصد شده است که به‌نوبه خود، باعث افزایش قابل‌ملاحظه میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در این مناطق شده است.

واژه‌های کلیدی: تغییرنما، تغییرپذیری مکانی، کریجینگ، زمین‌آمار

شعبانی ح.، دلاور م. ا.، صفری ی.، علمداری پ. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی و تحلیل مکانی برخی خصوصیات خاک در اراضی دانشگاه زنجان. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷، شماره ۴. صفحه: ۱۶۴-۱۷۸.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان (مکاتبه کننده)

۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود

۴- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*پست الکترونیک: amir-delavar@znu.ac.ir

مقدمه

صفری و همکاران (Safari *et al.*, 2013) با بررسی تغییرات مکانی در صد شن، سیلت و رس در منطقه شهرکرد، نشان دادند که تغییرات بافت خاک با عمق، می‌تواند به‌عنوان راهنما برای مدیریت خاص مکانی و کشاورزی دقیق به‌کار برده شود. کیو و همکاران (Qiu *et al.*, 2011) با هدف کمی کردن تغییرات مکانی عناصر غذایی و ماده آلی خاک، مطالعه‌ای را در ۱۰ هکتار از اراضی دانشگاه لینکلن انجام دادند. نتایج پژوهش حاکی از آن بود که با وجود مدیریت یکنواخت و مسطح بودن منطقه از لحاظ توپوگرافی، در طول سال‌های متممادی سطوح مواد مغذی تغییرات قابل توجهی داشتند. نتایج بیان‌گر آن بود که تغییرات بافت خاک عامل اصلی و مؤثر در تغییرات ماده آلی خاک در منطقه مورد مطالعه بوده است.

محدوده اراضی دانشگاه زنجان با وسعت ۴۱۰ هکتار شامل کاربری‌های متفاوتی از قبیل کاربری‌های زراعی، مرتعی، باغ‌های مختلف و اراضی مسکونی و آموزشی است. مدیریت سودمند این اراضی با توجه به اهدافی همچون حفاظت خاک، افزایش راندمان سامانه‌های آبیاری و البته درآمدزایی بیشتر برای دانشگاه، یکی از چالش‌های مهم پیش‌روی مدیران مربوطه است. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی مهم خاک و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی این ویژگی‌ها انجام شد. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند حاوی اطلاعات مفیدی در خصوص استفاده صحیح و اصولی از اراضی دانشگاه زنجان در راستای کنترل تخریب خاک و صرفه‌جویی در هزینه‌های آبیاری اراضی در اختیار مدیران اراضی قرار دهد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دانشگاه زنجان در پنج کیلومتری جاده زنجان به تبریز با وسعت ۴۱۰ هکتار در عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی قرار گرفته است. میانگین ارتفاع منطقه ۱۶۵۱ متر از سطح دریا است. بر اساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه زنجان در یک دوره آماری ۵۰ ساله (۱۳۹۲-۱۳۴۲)، متوسط میزان بارندگی سالیانه ۳۱۳/۳

یکی از خصوصیات مشترک علوم محیطی، ماهیت ویژگی‌ها، رفتارهای اجزا و نوع داده‌های آن‌ها است. اغلب خصوصیات محیطی دارای تغییرات پیوسته و تدریجی مکانی هستند (Mohammadi, 2006). تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک، حاصل برهم‌کنش پیچیده‌ای از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و الگوهای کاربری اراضی است (Peukert *et al.*, 2012). شناسایی ویژگی‌های خاکی به‌منظور تصمیم‌گیری‌های مدیریتی، اغلب به دلیل اثرات متقابلی که بین عوامل خاکی وجود دارد، امری بسیار پیچیده است. بنابراین، برای افزایش کارایی عملیات مدیریت اراضی، باید تغییرپذیری ویژگی‌های خاک را مدنظر قرار داد (Yemefack *et al.*, 2005). دانش حاصل از شناخت الگوهای مکانی خصوصیات خاک برای بهبود مدیریت منابع طبیعی (Wang *et al.*, 2009)، برآورد خصوصیات خاک در مکان‌های نمونه‌برداری نشده (Wei *et al.*, 2008) و اصلاح الگوهای نمونه‌برداری در مطالعات اکولوژیکی کشاورزی (Yan & Cai, 2008)، بسیار حائز اهمیت است. از سویی دیگر، اطلاع از الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک می‌تواند راهگشای انجام مدیریت صحیح و پیشرفته اراضی در راستای بهره‌برداری اصولی از خاک به‌عنوان یکی از منابع مهم انرژی باشد (Santra *et al.*, 2008). یکی از اساسی‌ترین اطلاعات منابع اراضی، ترسیم نقشه‌های تغییرات مکانی خصوصیات خاک است (Webster & Oliver, 2007). شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2011) بیان داشتند شناسایی الگوی تغییرپذیری مکانی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، پیش‌نیاز مدیریت ویژه مکانی است. بوچی و همکاران (Bocchi *et al.*, 2000) برای تهیه نقشه تغییرات خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در شمال ایتالیا، از روش کریجینگ استفاده نمودند. این پژوهش‌گران نشان دادند تلفیق دانش متخصصین پدولوژی با تکنیک‌های زمین‌آماری، می‌تواند در راستای بهبود مدیریت خاک مفید باشد.

فروغی‌فر و همکاران (Foroughifar *et al.*, 2010) طی پژوهشی در اراضی دشت تبریز نشان دادند وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک بیش‌تر تحت تأثیر خصوصیات ذاتی نظیر مواد مادری، پستی و بلندی و نوع خاک است.

رطوبت ظرفیت زراعی (Kirkham, 2005) محاسبه شد. در صد ذرات رس خاک با استفاده روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986) به دست آمد. کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک (Nelson, 1982) و کربن آلی به روش اکسیداسیون تر (Walkly & Black, 1934) اندازه گیری شد.

تجزیه‌های آماری و زمین‌آماري

به منظور توصیف آماری داده‌ها و دستیابی به خلاصه‌ای از اطلاعات خاک‌های مورد مطالعه، ویژگی‌های آماری نظیر میانگین، میانه، حداقل، حداکثر، انحراف معیار، ضریب تغییرات، چولگی و کشیدگی مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف^{۱۰} استفاده شد. پس از ارزیابی وضعیت همسانگردی متغیرهای مورد بررسی بر اساس تغییرنمای رویه‌ای، تغییرنماهای تجربی محاسبه و مدل مناسب بر تابع تغییرنما برازش داده شد. بدین منظور از محیط نرم‌افزار وریوین^{۱۱} نسخه ۲/۲ استفاده شد. تابع تغییرنما عبارت است از متوسط مجذور اختلاف‌ها بین دو مشاهده در دو موقعیت مکانی واقع در فضای نمونه‌برداری که توسط آرایه h از هم جدا شده‌اند. معادله (۱) یک تابع تغییرنما را نشان می‌دهد:

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

در این معادله $N(h)$ تعداد زوج نمونه‌های به کار رفته در محاسبه تغییرنما در فاصله و جهت تفکیک h ، $Z(x_i+h)$ و $Z(x_i)$ به ترتیب مقادیر متغیر Z در نقاط x_i+h و x_i هستند. برای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل توصیف‌کننده ساختار تغییرات مکانی، از معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربع خطا (معادله ۲) و میانگین خطای تخمین (معادله ۳) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z^*(x_i)]^2} \quad (2)$$

$$MEE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - z^*(x_i)] \quad (3)$$

میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالانه ۱۱/۷ درجه سلسیوس است. رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک به ترتیب تیپیک زیریک و مزیک است (Newhall & Berdanier, 1996). عمده واحدهای ژئومورفولوژیک در منطقه مورد مطالعه شامل واحدهای دشت دامنه‌ای آبرفتی و فلات‌ها هستند. مواد مادری در منطقه مورد مطالعه به‌طور عمده شامل پادگانه‌های جوان آبرفتی است. خاک‌های منطقه مورد مطالعه شامل دو رده اینسیتی‌سول^۱ و انتی‌سول^۲ و تحت رده‌های زیریت^۳، فلوونت^۴ و اورنت^۵ و گروه‌های بزرگ زروفلوونت^۶، زراورنت^۷، کلسی‌زریپت^۸ و هاپلوزریپت^۹ است. بر اساس سیستم طبقه‌بندی خاک به روش آمریکایی در منطقه مورد نظر ۱۲ خانواده مختلف خاک شناسایی شد (Keys to soil taxonomy, 2014).

نمونه‌برداری و تجزیه خاک

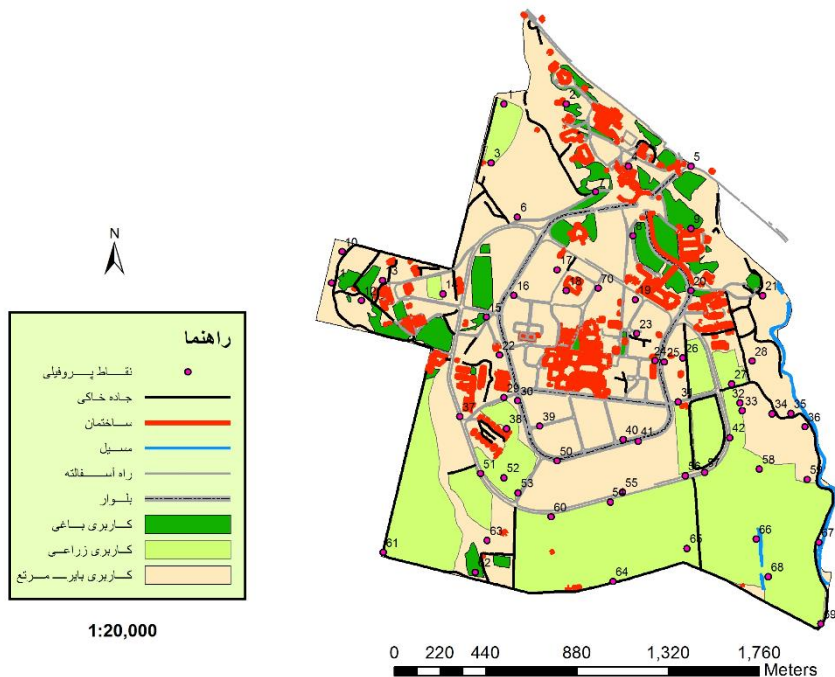
به منظور نمونه‌برداری از خاک، در منطقه مورد مطالعه از روش شبکه‌بندی منظم که معمول‌ترین روش دستیابی به اهداف زمین‌آماري است (Webster & Oliver, 2007)، استفاده شد. برای این منظور، ابتدا یک شبکه نظام‌دار با فواصل ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر روی نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه مطابق با مقیاس مطالعات تفصیلی طراحی و ۴۸ نیمرخ مطالعاتی حفر و تشریح شد. برای انجام این پژوهش، ۴۸ نمونه از خاک سطحی هر نیمرخ خاک (عمق صفر تا ۲۵ سانتی‌متری) جمع‌آوری شد (شکل ۱). نمونه‌ها پس از هوا خشک شدن، کوبیده و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. سپس بر نمونه‌های عبور داده‌شده از الک دو میلی‌متری، تجزیه‌های آزمایشگاهی انجام گرفت. جرم مخصوص ظاهری به روش کلوخه (Black, 1986)، هدایت هیدرولیکی اشباع به روش بار ثابت (Klute & Dirksen, 1986) و میانگین وزنی قطر خاکدانه به روش الک تر (Kemper & Rosenau, 1986) اندازه‌گیری شدند. آب قابل‌استفاده از تفاضل رطوبت در نقطه پژمردگی دائم و

1. Inceptisols
2. Entisols
3. Xerepts
4. Fluvents
5. Orthents
6. Xerofluvents
7. Xerorthents
8. Calcixerepts
9. Haploxerepts

10. Kolmogorov-Simonov
11. Variowin

برازش داده شد و شاخص‌های اعتبارسنجی مذکور برای تمام مدل‌ها محاسبه شد. پس از بررسی مقادیر به‌دست آمده، مدلی که کم‌ترین مقدار شاخص‌های میانگین خطای تخمین و جذر میانگین مربع خطا را داشت، به‌عنوان مدل بهینه انتخاب شد. برای تخمین در نقاط نمونه‌برداری نشده و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات خاک نیز از روش کریجینگ معمولی به‌عنوان روشی پر کاربرد (Oliver & Webster, 2014) در محیط نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰ استفاده شد.

در این معادله‌ها $z(x_i)$ و $z^*(x_i)$ به ترتیب مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده متغیر مورد بررسی و n تعداد مشاهده‌ها است. یک تخمین‌گر خوب باید دارای میانگین خطای تخمین صفر یا نزدیک به صفر باشد و جذر میانگین مربع خطا تا حد ممکن، کم‌ترین مقدار عددی را داشته باشد. به‌عبارت‌دیگر، هر چه مقادیر این دو شاخص کوچک‌تر باشند، دقت روش مورد استفاده برای تخمین بیش‌تر است (Mohammadi, 2006). برای مدل‌سازی الگوی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک، مدل‌های تئوری بر تغییرنماهای تجربی به‌دست آمده



شکل ۱- نقشه کاربری اراضی و موقعیت نقاط نمونه‌برداری منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Land use map and the location of sampling points in study area

دارا بوده و بنابراین از توزیع نرمال برخوردار هستند. نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانه و کوچک بودن مقادیر چولگی و کشیدگی داده‌ها در نتایج تحقیق نیز گویای توزیع نرمال داده‌ها است.

طبق طبقه‌بندی وایلدینگ (Wilding, 1985)، اگر ضریب تغییرات داده‌ها کم‌تر از ۱۵ درصد باشد، داده‌ها دارای تغییرپذیری کم هستند. اگر مقدار این ویژگی بین ۱۵ تا ۳۵ درصد باشد، کلاس تغییرپذیری متوسط و در صورتی که مقدار این آماره بیش‌تر از ۳۵ درصد باشد، حاکی از تغییرپذیری زیاد داده‌ها است. با توجه به این طبقه‌بندی و نتایج گزارش شده در جدول ۱، وزن

نتایج و بحث

از آنجا که تخمین‌گر کریجینگ معمولی بر فرض توزیع نرمال داده‌ها استوار است و انحراف شدید از توزیع نرمال منجر به نتایج نامطلوب می‌گردد (Mohammadi, 2006)، لازم است در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از یکی از روش‌های نرمال‌سازی داده‌ها استفاده شود. با توجه به نتایج خلاصه آماری گزارش شده در جدول ۱، مقادیر به‌دست آمده برای ضریب معنی‌داری آزمون کلموگروف-اسمیرنوف نشان می‌دهد که تمامی خصوصیات مورد بررسی شرط نرمال بودن (ضریب معنی‌داری کلموگروف-اسمیرنوف بزرگ‌تر از ۰/۰۵) را

تغییرنماهای رویه‌ای در محیط نرم‌افزاری و ریویون ترسیم شدند. بررسی تغییرنماهای رویه‌ای نشان داد با توجه به عدم توالی تن رنگ در یک‌جهت جغرافیایی خاص، رفتار تغییرپذیری تمامی ویژگی‌های مورد مطالعه، مستقل از یک جهت جغرافیایی خاص است. به بیان دیگر، الگوی تغییرپذیری مکانی تمام خصوصیات مورد مطالعه همسانگرد است (اشکال نشان داده نشده است).

مخصوص ظاهری دارای تغییرپذیری کم، و هدایت هیدرولیکی اشباع و میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها دارای تغییرپذیری زیاد هستند. سایر ویژگی‌ها در کلاس تغییرپذیری متوسط قرار می‌گیرند. با توجه به تعدد تکنیک‌های مدیریتی در اراضی دانشگاه زنجان، اثرپذیری شدید ویژگی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک از مدیریت اراضی منجر به بروز بالاترین درصد ضریب تغییرپذیری شده است. برای بررسی وضعیت همسانگردی و ناهمسانگردی تمامی خصوصیات مورد مطالعه،

جدول ۱- خلاصه آماری خصوصیات مورد مطالعه

Table 1. Summary statistics of the studied properties

Variable	Mean	Median	Skewness	Kurtosis	Minimum	Maximum	Coefficient of variation	P-value*
BD (g.cm ⁻³)	1.43	1.43	0.28	0.03	1.26	1.62	5.53	0.72
AW (%)	9.42	9.34	0.34	-0.42	6.13	12.76	17.46	0.73
Ks (cm.day ⁻¹)	21.13	19.19	2.13	10.23	7.65	64.05	43.28	0.08
Clay (%)	26.93	26.00	0.04	-0.10	8.60	43.04	29.74	0.53
MWD (mm)	0.56	0.50	0.68	-0.10	0.23	1.09	35.87	0.34
OC (%)	0.96	0.90	0.14	-0.24	0.22	1.83	35.36	0.82
CaCO ₃ (%)	28.62	29.57	0.02	-0.51	13.24	44.07	24.99	0.99
Sand (%)	51.48	52.16	0.30	-0.03	30	80	23.02	0.99

*Significantly coefficient of Kolmogorov-Simonov test

BD: Bulk density, AW: Available Water, Ks: Saturated hydraulic conductivity, MWD: Mean weight diameter of aggregates, OC: Organic Carbon, CaCO₃: Calcium Carbonate Equivalent

مکانی این ویژگی‌ها ارائه می‌دهد. در مورد دو ویژگی کربنات کلسیم و کربن آلی نیز مدل کروی مدل بهینه انتخاب شد. مدل کروی از جمله معمول‌ترین مدل‌های زمین‌آماری در مورد خصوصیات خاک است (Cetin & Kirada, 2003). نتایج مطالعات امیری‌نژاد و همکاران (Amirinejad et al., 2010) و وانگ و همکاران (Wang et al., 2009) نیز حاکی از آن است که مدل کروی بهترین مدل برازش یافته بر داده‌های کربن آلی است. کاویان‌پور و همکاران (Kavianpoor et al., 2012) با بررسی تغییرات مکانی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، مدل نمایی را برای بررسی تغییرات مکانی جرم مخصوص ظاهری، درصد شن و مقدار رس خاک مناسب دانستند. اقبال و همکاران (Iqbal et al., 2005) نیز در پژوهش خود مدل بهینه توصیف‌کننده ساختار تغییرات مکانی جرم مخصوص ظاهری، هدایت هیدرولیکی، آب قابل استفاده و درصد‌های شن و رس خاک را نمایی گزارش کردند. سرمیدان و همکاران (Sarmadian et al., 2010) و کاویان‌پور و همکاران

باتی (Bhatti, 2013) با بررسی تغییرات مکانی برخی خصوصیات خاک از جمله درصد آب قابل دسترس و درصد ذرات رس، شن و سیلت، ساختار مکانی این خصوصیات را همسانگرد گزارش نمود. صفری و همکاران (Safari et al., 2013) نیز طی پژوهشی در شهرکرد نشان دادند الگوی تغییرات مکانی درصد ذرات شن و رس در سه عمق صفر تا ۳۰، ۳۰ تا ۶۰ و ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری، تابع جهت جغرافیایی خاصی نبوده و از الگوی همسانگرد تبعیت می‌کند. محمدزمانی و همکاران (Mohammad Zamani et al., 2007) ساختار مکانی خصوصیات خاک نظیر درصد شن، درصد رس و وزن مخصوص ظاهری، کربن آلی و کربنات کلسیم را همسانگرد گزارش نمودند. جدول ۲ نتایج تجزیه زمین‌آماری ویژگی‌های خاک را نشان می‌دهد. برازش مدل‌های مختلف بر واریوگرام‌های تجربی به دست آمده برای خصوصیات فیزیکی، سازگاری بیش‌تر مدل نمایی را با تغییرنماهای ترسیم‌شده نشان داد (شکل ۲). در واقع، مدل نمایی توصیف بهتری از ساختار تغییرات

بیش‌تر از فاصله نمونه‌برداری در منطقه است و بیان می‌دارد که فواصل نمونه‌برداری در نظر گرفته شده به‌خوبی توانسته تغییرات مکانی این ویژگی را در خاک‌های منطقه نشان دهد.

(Kavianpoor *et al.*, 2012) مدل مناسب برای بررسی ساختار تغییرات مکانی کربنات کلسیم را کروی گزارش کردند. مقادیر دامنه تأثیر به‌دست‌آمده در جدول ۲ نشان داد در مورد همه خصوصیات مورد مطالعه، این دامنه

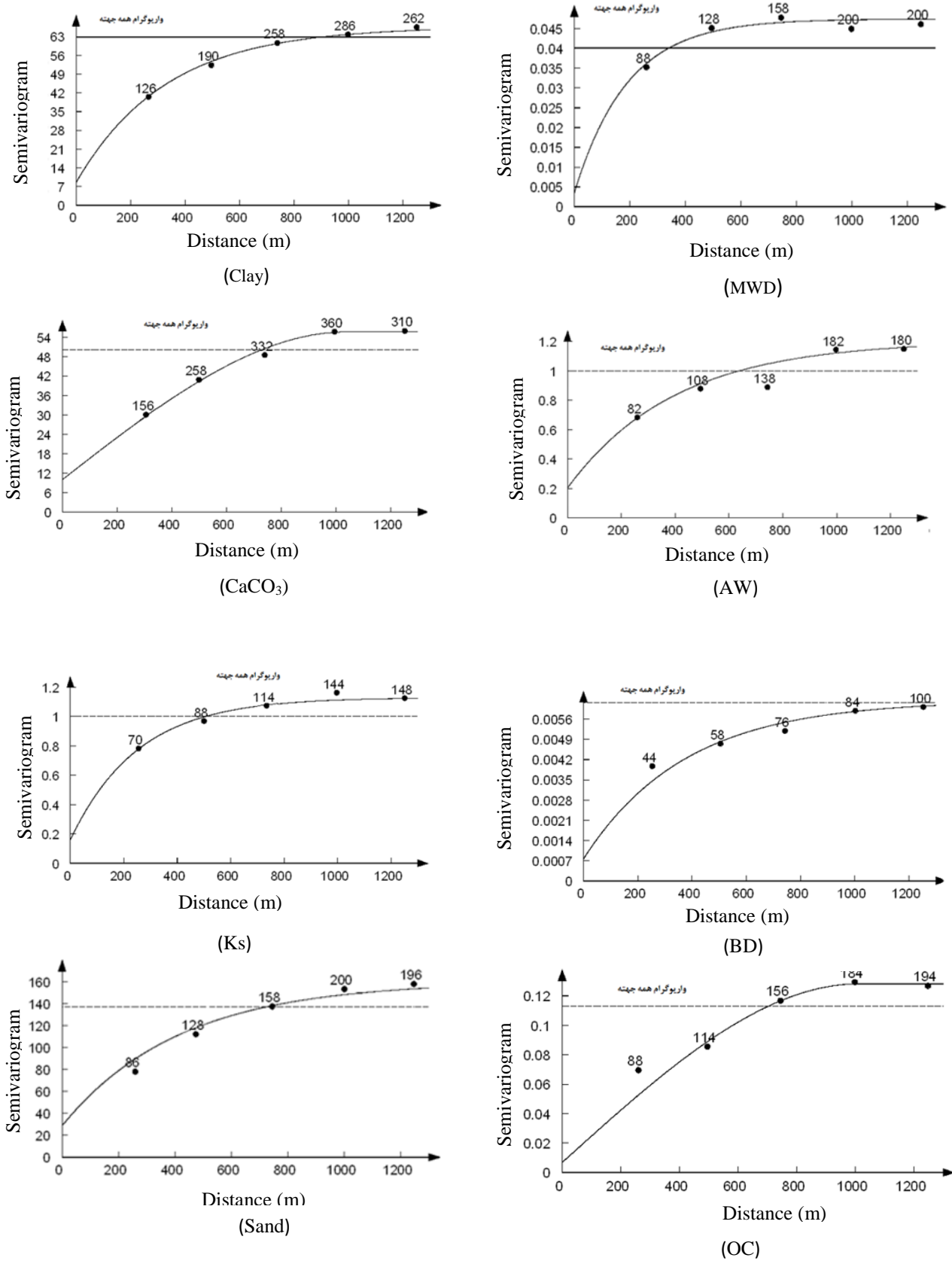
جدول ۲- پارامترهای درون‌یابی و اعتبار سنجی برای خصوصیات مورد مطالعه

Table 2. Interpolation parameters and cross-validation statistics for studied soil properties

Variable	Model	Nugget effect	Sill	Range	Relative nugget effect	MEE	RMSE
BD (g.cm ⁻³)	exponential	0.0007	0.004	125.7	0.16	-0.001	0.06
AW (%)	exponential	0.20	1	1203.7	0.20	0.010	1.44
Ks (cm.day ⁻¹)	exponential	0.22	0.81	754	0.27	-0.016	9.13
Clay (%)	exponential	8.473	49.70	989.8	0.17	0.214	7.21
MWD (mm)	exponential	0.003	0.040	571.9	0.08	0.002	0.19
OC (%)	Spherical	0.006	0.114	1010.8	0.06	-0.005	0.28
CaCO ₃ (%)	Spherical	6.20	38.06	610.7	0.16	0.097	5.86
Sand (%)	exponential	28.79	102.8	1246.90	0.28	-0.18	10.20

خاک، قوی و برای این ویژگی متوسط است. این موضوع بیان می‌دارد که تأثیر خصوصیات ذاتی خاک در تعیین ساختار مکانی اکثر ویژگی مورد بررسی، بارزتر بوده است. ساغلام و همکاران (Saglam *et al.*, 2011) در پژوهشی مشابه، کلاس همبستگی مکانی تمامی خصوصیات مورد مطالعه را قوی گزارش نمودند. کیو و همکاران (Qiu *et al.*, 2011) نیز مشاهده نمودند که تغییرات ساختار مکانی کربن آلی خاک، از کلاس همبستگی قوی برخوردار است. مقایسه دامنه‌های تأثیر به‌دست آمده در پژوهش حاضر، با سایر تحقیقات انجام‌شده، تفاوت بارزی را در مقادیر این پارامتر نشان داد. علت این اختلاف، تفاوت در مقیاس مطالعه و فاصله نمونه‌برداری است. قطعاً با افزایش مساحت محدوده مورد مطالعه و نیز افزایش فاصله میان نقاط نمونه‌برداری، دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک افزایش می‌یابد (Webster & Oliver, 2007). متقیان و همکاران (Motaghian *et al.*, 2008) گزارش کردند که خصوصیات خاک نظیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک و توزیع اندازه ذرات دارای تغییرات مکانی وابسته به مقیاس نمونه‌برداری هستند.

به دلیل وجود اختلاف بسیار در مقادیر محاسبه شده اثر قطعه‌ای و حد آستانه در پژوهش‌های مختلف، نمی‌توان از مقادیر مطلق اثر قطعه‌ای و حد آستانه برداشت درستی از تغییرات سیستماتیک و تصادفی متغیرها داشت (Mohammadi, 2006). بنابراین، محققان اثر قطعه‌ای نسبی را که از تقسیم اثر قطعه‌ای به حد آستانه به دست می‌آید، در بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک مناسب‌تر دانسته‌اند (Cambardella *et al.*, 1994). بر اساس نتایج این پژوهش‌گران، اثر قطعه‌ای نسبی بیش‌تر از ۲۵ درصد گویای کلاس همبستگی مکانی متوسط برای متغیر مورد مطالعه است. آن‌ها بیان داشتند این نوع کلاس همبستگی مکانی، معمولاً تحت تأثیر تغییرات غیر ذاتی (مانند عملیات مدیریتی، کوددهی و عملیات شخم) است. درحالی‌که اگر مقدار این نسبت کم‌تر از ۲۵ درصد باشد، کلاس همبستگی مکانی قوی خواهد بود و بیان‌گر تغییرات ذاتی (عوامل تشکیل‌دهنده خاک مانند مواد مادری خاک، توپوگرافی و زمان) در ساختار تغییرات مکانی خصوصیات خاک است. مقادیر اثر قطعه‌ای بیش‌تر از ۷۵ درصد نیز بیان‌گر کلاس همبستگی ضعیف است. مقادیر گزارش شده در جدول ۲ نشان داد که کلاس همبستگی مکانی تمامی خصوصیات مورد مطالعه به‌جز هدایت هیدرولیکی اشباع



شکل ۲- تغییرنماهای همه جهته خصوصیات مورد مطالعه.

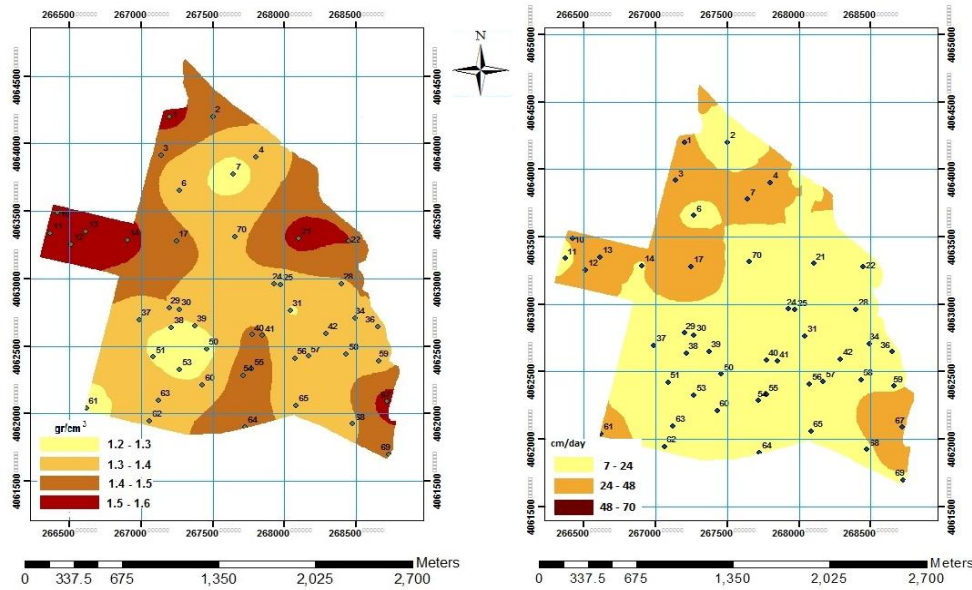
Figure 2. Omni-directional variograms for studied properties

عوامل تأثیرگذار در کاهش جرم مخصوص ظاهری خاک است، ولی مقایسه چشمی نقشه‌های پهنه‌بندی مربوط در مطالعه حاضر نشان از آن دارد که درصد ذرات رس و شن نسبت به کربن آلی موجود در خاک نقش بیش‌تری در کنترل تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک دارند. به هر حال، جرم مخصوص ظاهری خاک تابع اثرات مستقل یا متقابل مجموعه‌ای از عوامل ذاتی و مدیریتی خاک است و اظهارنظر دقیق راجع به تغییرات این ویژگی مستلزم بررسی اطلاعات جامع‌تری است.

بر اساس نتایج گیوز (Geeves, 2007a)، در صورتی‌که شدت هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بین $1/2$ تا 24 ، 24 تا 48 و 48 تا 144 سانتی‌متر در روز باشد، خاک‌ها به ترتیب در گروه خاک‌های با هدایت هیدرولیکی اشباع خیلی کم، کم و متوسط قرار می‌گیرند. با توجه به نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع منطقه، می‌توان گفت خاک‌های محدوده مورد بررسی از نظر این ویژگی در دسته خاک‌های با هدایت هیدرولیکی اشباع خیلی کم تا کم جای می‌گیرند. دقت در نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (شکل ۳) و مقایسه آن با نقشه‌های رس (شکل ۴)، نشان می‌دهد که پهنه‌هایی که درصدهای بالایی از رس را دارا هستند، هدایت هیدرولیکی اشباع پایین‌تری دارند. اما نواحی با رس پایین، هدایت هیدرولیکی اشباع بالاتری را نشان می‌دهند. متقیان و همکاران (Motaghian et al., 2008) گزارش کردند که با افزایش میزان رس، منافذ ریزتر افزایش‌یافته و در نتیجه هدایت هیدرولیکی اشباع خاک که با شعاع منافذ تغییر می‌کند، کاهش می‌یابد. نقشه پهنه‌بندی رس خاک به‌وضوح نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقادیر رس خاک در قسمت‌های جنوبی منطقه متمرکز شده است (شکل ۴).

شکل ۳ نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات جرم مخصوص ظاهری و هدایت هیدرولیکی اشباع را نشان می‌دهد. جرم مخصوص ظاهری خاک در غالب منطقه مورد مطالعه در محدوده بین $1/3$ تا $1/4$ گرم بر سانتی‌متر مکعب قرار دارد، ولی بیش‌ترین مقادیر جرم مخصوص ظاهری خاک در قسمت‌های کوچکی از غرب، شرق و جنوب شرق منطقه واقع شده‌اند. بررسی خاک‌های نمونه‌برداری شده در این نواحی نشان داد که بافت این خاک‌ها از نوع لوم شنی است. افزایش سنگریزه، افزایش میزان شن و کاهش مقدار رس این پهنه‌ها، باعث افزایش جرم مخصوص ظاهری خاک در این مناطق شده است. اسکین و ازدمیر (Askin & Ozdemir, 2003) در پژوهشی در ترکیه ارتباط منفی بین مقادیر رس و جرم مخصوص ظاهری را گزارش نمودند. گرچه مقادیر درصد ذرات رس و شن خاک تنها عوامل کنترل‌کننده جرم مخصوص ظاهری خاک نیستند، اما مقایسه نقشه پهنه‌بندی جرم مخصوص ظاهری با نقشه درصد رس خاک، گویای آن است که پایین‌ترین مقادیر جرم مخصوص ظاهری خاک مربوط به نقاطی است که درصد رس در آنجا نسبت به سایر نقاط بالاتر است. البته در بخش‌هایی از منطقه علی‌رغم بالا بودن مقدار رس خاک، وزن مخصوص ظاهری بالا است. در این پهنه‌ها کشت متراکم و عملیات مکانیزه کشاورزی طی سال‌های متوالی باعث متراکم شدن خاک و افزایش وزن مخصوص ظاهری خاک شده است.

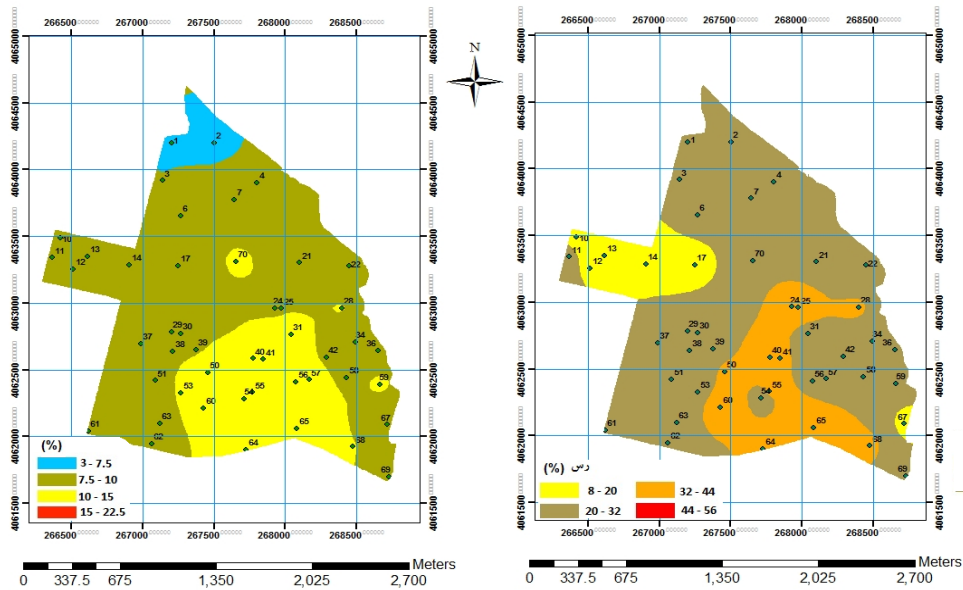
هیلل (Hillel, 1998) گزارش کرد که با افزایش رس خاک، جرم مخصوص ظاهری کاهش می‌یابد. نتایج پژوهش چائودرای و همکاران (Chaudhari et al., 2013) در هند نیز حاکی از تأثیر مثبت و معنی‌دار شن و سنگریزه و تأثیر منفی مقدار رس و ماده آلی بر تغییرات جرم مخصوص ظاهری خاک است. کربن آلی خاک از



شکل ۳- نقشه‌های پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی اشباع (راست) و جرم مخصوص ظاهری (چپ)
Figure 3. Zoning maps of saturated hydraulic conductivity (right) and bulk density (left)

ازای حجم کل خاک نیز باشد (Kirkham, 2005). به‌طور کلی نقشه پهنه‌بندی تهیه‌شده کربنات کلسیم که در شکل ۵ نشان داده شده است، گویای آهکی بودن خاک‌ها در کل منطقه مطالعاتی است. خاک‌های این منطقه در شمار خاک‌های آهکی تا خیلی آهکی قرار می‌گیرند. با توجه به مطالعات مورفولوژیکی از نیمرخ‌های حفرشده در منطقه، مشاهده شد که در افق‌های سطحی احتمالاً به دلیل عملیات آبیاری و نیز نفوذ عمقی باران، در اراضی بایر نشانه‌ای از حضور کربنات کلسیم به‌صورت ثانویه وجود ندارد. لگروس (Legros, 2012) اظهار داشت که کربنات زدایی خاک‌ها همیشه از سطح صورت می‌گیرد. چرا که سطح خاک بیش‌تر در معرض عوامل اتمسفری است. نقشه ترسیم‌شده از پراکنش مکانی میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها در منطقه مورد مطالعه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، نشان می‌دهد که اندازه غالب خاکدانه‌های منطقه در محدوده ۰/۴ تا ۰/۷ میلی‌متر است و بیش‌ترین مقادیر میانگین وزنی قطر خاکدانه در قسمت‌های جنوبی منطقه مشاهده می‌شود.

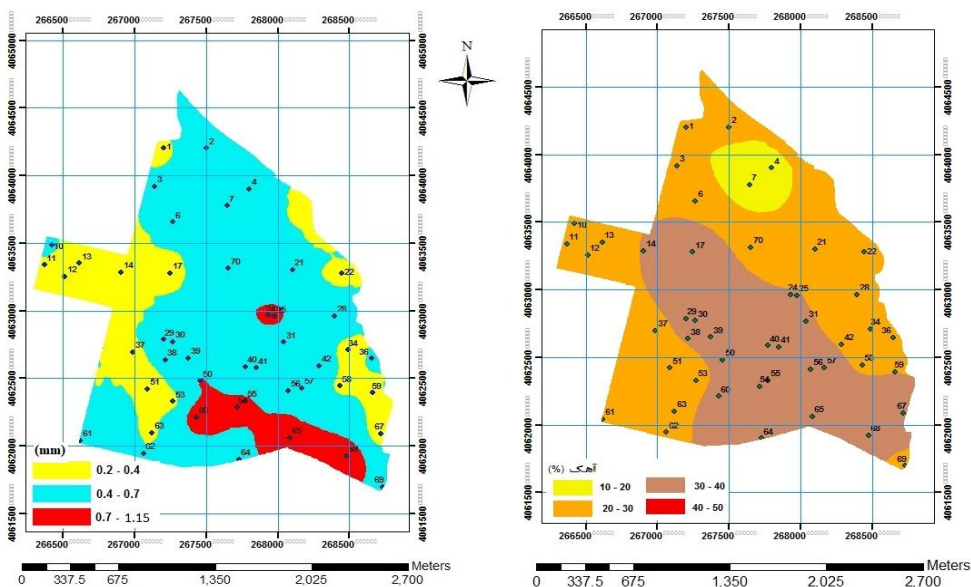
مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی رس خاک با نقشه پهنه‌بندی آب قابل‌استفاده نشان داد که مناطق دارای آب قابل‌استفاده بالا، متعلق به مکان‌هایی هستند که درصد رس خاک نیز بالا است. خاک‌های رسی در مقایسه با خاک‌های شنی به علت تخلخل کل بیش‌تر، سطح ویژه و سطوح تبدالی از قابلیت نگهداشت آب بیش‌تری برخوردار هستند. اقبال و همکاران (Igbal *et al.*, 2005) و شارما و همکاران (Sharma *et al.*, 2011) گزارش کردند مناطق با مقدار شن بالاتر از مقدار آب قابل‌استفاده پایین‌تری برخوردار هستند. بر اساس نتایج تحقیق این پژوهش‌گران، نقشه‌های پهنه‌بندی رس و مقدار آب قابل‌دسترس شباهت زیادی داشتند. آب قابل‌استفاده توسط خصوصیتی از قبیل بافت خاک، نوع رس، ساختمان خاک، درصد حجمی سنگریزه و قطعات درشت، مواد آلی و جرم مخصوص ظاهری تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Baibourdi, 2000). برای یک خاک شنی ممکن است این محدوده برابر با سه درصد آب به ازای حجم کل خاک و برای خاک رسی تا ۳۰ درصد آب به



شکل ۴- نقشه‌های پهنه‌بندی در صد رس (راست) و در صد آب قابل استفاده (چپ)
Figure 4. Zoning maps of clay (right) and available water content (left)

شمالی و جنوبی منطقه بوده و کم‌ترین مقدار آن در شرق و غرب منطقه اندازه‌گیری و تخمین زده شده است. نظر به پایین بودن دمای هوا در محدوده مورد مطالعه در اغلب مواقع سال، بقایای گیاهی اضافه شده به خاک در اراضی تحت پوشش باغ‌های میوه در قسمت شمالی محدوده مورد مطالعه، کمتر تحت تأثیر تجزیه کامل قرار می‌گیرند و با تجمع در سطح خاک، موجب بالا رفتن مقدار مواد آلی خاک سطحی این نواحی می‌شوند.

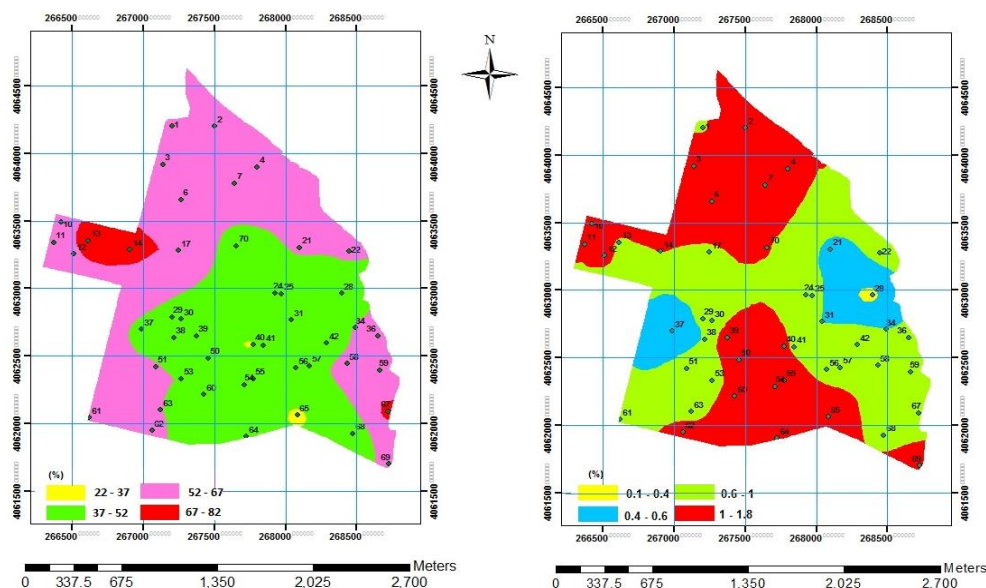
بر اساس نتایج حاصله، این نواحی از نظر مقادیر کربنات کلسیم معادل، رس و کربن آلی نسبت به سایر بخش‌ها در حد بالاتری قرار دارند. نیک‌پور و همکاران (Nikpur *et al.*, 2012) نشان دادند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک (خاک‌هایی با پایداری ساختمانی نه‌چندان زیاد و کربن آلی کم)، رس و کربنات کلسیم نقش مؤثرتری در افزایش پایداری خاکدانه‌ها دارند. بر اساس اطلاعات نقشه کربن آلی خاک که در شکل ۶ نشان داده شده است، بیش‌ترین مقدار کربن آلی در قسمت‌های



شکل ۵- نقشه‌های پهنه‌بندی در صد کربنات کلسیم (راست) و میانگین وزنی قطر خاکدانه (چپ)
Figure 5. Zoning maps of calcium carbonate (right) and MWD (left)

کردن کود و یا استفاده از مقادیر کم کودهای آلی، منجر به کاهش شدید مقادیر کربن آلی خاک در این نواحی شده است. در قسمت غرب منطقه به واسطه وجود رودخانه فصلی که به طور متناوب تحت تأثیر سیلاب و طغیان فصلی قرار دارد، عمدتاً خاک‌های جوان با محتوای کم ماده آلی شامل خاک‌های تیپیک زراورتن، دلیل کم بودن محتوای کربن آلی خاک در این نواحی است.

مصرف کود دامی به همراه عملیات مناسب خاک‌ورزی در اراضی کشاورزی واقع در جنوب منطقه که تحت عملیات متراکم کشاورزی توسط بخش خصوصی قرار دارد از یک طرف، و حفظ پوشش طبیعی دست‌نخورده در کاربری مرتعی در برخی قسمت‌های این مناطق از سوی دیگر، باعث افزایش کربن آلی خاک در این مناطق شده است. در شرق منطقه با وجود کاربری کشاورزی، به دلیل عملیات نامناسب مدیریتی، کشت بدون اضافه



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی کربن آلی خاک (راست) و درصد شن (چپ)

Figure 6. Zoning map of soil organic carbon (Right) and sand percent (left)

ویژگی‌های مهمی همچون آب قابل‌استفاده و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک داشت و بر این اساس، به نظر می‌رسد درصد رس خاک و در بعد جامع‌تر، بافت خاک، از پارامترهای کلیدی کنترل‌کننده کیفیت خاک‌های اراضی مورد مطالعه باشد. از نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از پژوهش حاضر می‌توان در جهت شناسایی محدودیت‌های اراضی برای کشت و اقدام به برطرف کردن آنها، برنامه‌ریزی کاربری اراضی و مدیریت هدفمند سامانه‌های آبیاری استفاده نمود. توصیه می‌شود برای بهبود راندمان آبیاری و افزایش دسترسی گیاهان کشت شده در اراضی منطقه به آب موردنیاز و نیز برای جلوگیری تنزل فیزیکی خاک، نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از این پژوهش در زمان اختصاص بخش‌های مختلف اراضی به کاربری‌های معین و طراحی سامانه‌های مدیریت آبیاری این اراضی موردتوجه قرار گیرند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد در میان خصوصیات مورد بررسی، هدایت هیدرولیکی اشباع بیش‌ترین ضریب تغییرات را دارد. بنابراین بیش‌ترین احتمال را برای تحت تأثیر قرار گرفتن از فعالیت‌های انسانی، مدیریت و نوع کاربری دارد. جرم مخصوص ظاهری نیز کم‌ترین ضریب تغییرات را نشان داد که می‌تواند دلیلی بر کنترل تغییرات این عامل توسط خصوصیات ذاتی و طبیعی خاک باشد. مدل پهنه توصیف‌کننده ساختار مکانی برای کربن آلی و کربنات کلسیم کروی، و برای سایر ویژگی‌های خاکی مورد مطالعه، نمایی بود. کلاس همبستگی مکانی برای هدایت هیدرولیکی اشباع متوسط و برای سایر ویژگی‌ها قوی به دست آمد. نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده نشان داد پراکنش خصوصیات مورد بررسی در منطقه تصادفی نبوده و از یک الگوی مکانی نظام‌مند تبعیت می‌کنند. نقشه تغییرات درصد رس خاک انطباق بالایی با تغییرات

References

- Amirinejad A.A., Kamble K., Aggarwal P., Chakraborty D., Pradhan S., and Mittal R.B. 2010. Assessment and mapping of spatial variation of soil physical health in a farm. *Geoderma*, 160: 292- 303.
- Askin T., and Özdemir N. 2003. Soil Bulk density as related to soil particle size distribution and organic matter content. *Agriculture*, 9: 52-56.
- Baibourdi M. 2000. Soil and Water relations. Tehran University Press, 710p. (In Persian).
- Bhatti A. 2002. Geostatistical Techniques and applications for managing degraded soil for sustainable production. *Science Vision*, 8: 27-35.
- Black A.L. 1986. Bulk density. In: Klute A. (Ed.), Methods of soil analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Method. American Society of Agronomy, Agronomy Monograph 9, pp. 374- 380.
- Bocchi A., Castrignano B.F., Fornarob A., and Maggiore T. 2000. Application of factorial kriging for mapping soil variation at field scale. *European Journal of Agronomy*, 13: 295-308.
- Cambardella C.A., Moorman T.B., Parkin T.B., Karlen D.L., Novak J.M., Turco R.F. and Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society. America Journal*, 58: 1501-1511.
- Cetin M., and Kirda C. 2003. Spatial and temporal changes of soil salinity in cotton field irrigated with low quality water. *Journal of Hydrology*, 272: 238-249.
- Chaudhari P.R., Ahire D.V., Ahire V.D., Chkravarty M., and Maity S. 2013. Soil Bulk density related to soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal Scientific and Research publications*, 3: 1-8.
- Foroughifar H., Jafarzadeh A.A., TorabiGelsefidi H., Aliasgharzade N., Toomanian N., and Davatgar N. 2010. Spatial variations of surface physical and chemical properties on different landforms of Tabriz Plain. *Journal of Water and Soil Science*, 21: 6-21. (In Persian)
- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A. (Ed), Methods of soil analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods, Agronomy Monograph 9, Madison, WI, pp. 383-411.
- Geeves G.W., Craze B., and Hamilton G.J. 2007a. Soil physical properties. In: Charman P.E.V and Murphy B.W. (Ed), Soils their properties and management. Oxford University Press, Melbourne, pp. 168-191.
- Hillel D. 1998. Environmental soil physics. Fundamentals, applications, and environmental considerations. Academic press .775p.
- Iqbal J., Thomasson J.A., Jenkins J.N., Owens Ph. R., and Whisler F.D. 2005. Spatial Variability Analysis of Soil Physical Properties of Alluvial Soils. *Soil Science Society of America Journal*, 69: 1-14.
- Kavianpoor H., EsmaliOuri A., JafarianJeloudar Z., and Kavian A. 2012. Spatial variability of some soil chemical and physical soil properties in Nesho mountainous rangelands. *American Journal of Environmental Engineering*, 2: 34-44.
- Kemper W. D., and Rosenau R. C. 1986. Aggregate stability and aggregate size distribution. In: Klute A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part.1, Physical and mineralogical methods, Agronom, Monograph 9, Madison, WI, pp. 377-381.
- Kirkham M.B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Academic Press, 500p.
- Klute A. and Dirksen C. 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity. In: Klute A. (Ed.), Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and mineralogical methods, (2nd Ed). Agronomy Monograph.9, Madison, WI, pp. 687-734
- Mohammad Zamani S., Ayoubi Sh., and Khormali F. 2007. Spatial Variability of wheat yield and soil properties in a selected agriculture land of Sorkhankalateh. *Journal of Science*

- Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science*, 11: 79-92. (In Persian)
- Mohammadi J. 2006. Pedometrics (Spatial statistical), Vol. 2. Pelk press, 453p. (In Persian)
- Motaghian H.R., Karimi A., and Mohammadi J. 2008. Analysis of spatial variability specific physical and hydraulic properties of soil on a catchment scale. *Journal of Water and Soil, Ferdousi University*, 22: 432-446. (In Persian)
- Nelson R.E. 1982. Carbonate and Gypsum. In: Page A.L (Ed), *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties*, (2nd Ed). Agronomy Monograph 9, Madison, WI, pp. 181-196.
- Newhall F., and Berdanier C.R., 1996. Calculation of Soil Moisture Regimes from the Climatic Record, Soil Survey Investigations Report, vol. 46, National Soil Survey Center, Natural Resources Conservation Service, Lincoln, NE.
- Nikpur M., Mahboubi A.A., Mosaddeghi M.R., Safadoust A. 2012. Assessment of soil intrinsic properties effects on structural stability of some soils in Hamadan province. *Journal of Science Technology of Agriculture and Natural Resource, Water and Soil Science*, 15: 85-96. (In Persian)
- Oliver M.A., and Webster R. 2014. A tutorial guide to geostatistics: Computing and modelling variograms and kriging. *Catena*, 113: 56- 96.
- Peukert S., Bol R., Roberts W., Macleod C.J.A., Murray P.J., Dixon E.R. and Brazier R.E. 2012. Understanding spatial variability of soil properties, a key step in establishing field to farm scale agro ecosystem experiments. *Rapid Communications Mass Spectrometry*.26: 2413-2421.
- Qiu W., Curtin D., and Beare M. 2011. Spatial variability of available nutrients and soil carbon under arable cropping in Canterbury. *The New Zealand Institute for plant and food research limited*. 1-7.
- Safari Y., Esfandiarpour Boroujeni I., Kamali A., Salehi M.H., and Bagheri Bodaghabadi M. 2013. Mapping of the soil texture using geostatistical method (a case study of the Shahrekord plain, central Iran). *Arab Journal of Geosciences*, 6: 3331-3339.
- Saglam M., Öztürk H.S., Ersahin S., and İözkan A. 2011. Spatial variation of soil physical properties in adjacent alluvial and colluvial soils under Ustic moisture regime. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8: 4261-4280.
- Santra P., Chopra U. K., and 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: 937-945.
- Sarmadian F., Keshavarzi A., and Malekian A. 2010. Continuous mapping of topsoil calcium carbonate using geostatistical techniques in a semi-arid region. *Australian Journal of Crop Science*, 4: 603-608.
- Sharma P., Shukla K.M., and Mexal G.J. 2011. Spatial variability of soil properties in agricultural fields of southern New Mexico. *Journal of soil science*, 176: 288-302.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*, 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Walkly A., and Black I.A. 1934. An examination of digestion methods for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic and titration. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Wang Y., Zhang X., Huang C., 2009. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. *Geoderma*, 150: 141-149.
- Webster R., and Oliver M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientist*, west Sussex, 315p.

- Wei J.B., Xiao D.N., Zeng H., and Fu Y.K. 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China. *Environmental Geology*, 53: 1663-1672.
- Wilding L.P. 1985. Spatial variability. Its documentation, accommodation, and implication to soil surveys *In: Nielson D.R and Bouma J. (Ed.), Soil Spatial Variability*, Pudoc, Wageningen, The Netherlands, pp. 166-194
- Yan X., and Cai Z. 2008. Number of soil profiles needed to give a reliable overall estimate of soil organic carbon storage using profile carbon density data. *Soil Science and Plant Nutrition*, 54: 819-825.
- Yemefack M., Rossiter D.G., and Njomgang R. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*, 125: 117-143.

Spatial Variability of Some Soil Characteristics in Lands of Zanjan University

Hadiseh Shabani¹, Mohammad Amir Delavar^{2*}, Yaser Safari³, Parisa Alamdari⁴

(Received: November 2017

Accepted: November 2018)

Abstract

Assessing the spatial variability trend of various soil properties is a helpful procedure to access to the efficient site-specific management of this ecosystem vital component. Aimed to investigate the spatial soil variability in lands of Zanjan University, 48 topsoil (0-25) samples were collected based on a regular grid of 250 meter. Soil samples were analyzed for some physical properties, including bulk density, available water capacity, saturated hydraulic conductivity, mean weight diameter and clay, sand, organic carbon and equivalent calcium carbonate percentage. Identifying the spatial structure of selected properties, ordinary kriging was used to estimate the values of soil properties in un-sampled locations and continuous maps were prepared. The results showed that saturated hydraulic conductivity (43.28%) and bulk density (5.53%) had the maximum and minimum coefficients of variations, respectively. The spherical model was performed well to describe the spatial structure of organic carbon and carbonate calcium equivalent; whereas exponential model showed the best fit to the remained soil properties. Saturated hydraulic conductivity showed a strong correlation class; whereas spatial structure of other studied properties was moderately correlated. Interpolated maps revealed that increasing clay percentage from the south to the north of study area led to the decreased contents of saturated hydraulic conductivity and increased values of available water capacity. This observation indicated that considering soil youthfulness and less-developed soil structure, most of the soil physical properties are mainly influenced by soil texture. It is also observed that cultivated crops in the south of studied area and apple trees in the north, resulted in the soil organic carbon to be increased to more than 1%, in turn, led to the significant increase in mean weight diameter of soil aggregates in these areas.

Keywords: Spatial variability, Kriging, Geostatistics, Variogram

Shabani H., Delavar M. A., Safari Y., Alamdari P. 2020. Spatial variability of some soil characteristics in lands of Zanjan University. *Applied Soil Research*, 7(4): 164-178.

1. Ph.D. Student, Department of Soil Science, University of Zanjan

2. Associate Professor, Department of Soil Science, University of Zanjan (Corresponding Author)

3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Shahrood University of Technology

4. Assistant Professor, Department of Soil Science, University of Zanjan

*Corresponding Author Email: amir-delavar@znu.ac.ir