نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۳۱۹-۱۳۰۹

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1309-1319

تحلیل زمین‌آماری غلظت کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز استان لرستان

حجت قربانی واقعی[۱] – مسعود داوری[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۱/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۰۵

چکیده

کربن آلی خاک بر توان بالقوه خاک، امنیت غذایی، تخریب خاک و گرمایش جهانی تأثیر زیادی دارد. بنابراین، شناخت توزیع مکانی و زمانی کربن آلی خاک در ارزیابی کیفیت خاک، مدیریت کشاورزی، مدل‌سازی حوزه‌های آبخیز و ترسیب کربن خاک ضروری است. در این پژوهش، برای تعیین تغییرپذیری کربن آلی خاک حوزه آبخیز الیگودرز استان لرستان از روش‌های آماری و زمین آماری استفاده گردید. افزون بر این، اثر ارتفاع، درجه شیب و نوع کاربری اراضی بر غلظت کربن آلی خاک نیز بررسی شد. نتایج نشان داد که ریشه مربعات غلظت کربن آلی خاک از توزیع نرمال پیروی کرده، میانگین حسابی و هندسی داده‌های اندازه‌گیری شده نیز به ترتیب معادل ۰/۸۱ و ۰/۷۳ درصد می‌باشد. مناسب‌ترین مدل برازش شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی کربن آلی خاک مدل نمایی بود. بررسی نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نشان داد که کربن آلی خاک در حوزه آبخیز مورد مطالعه دارای وابستگی مکانی متوسطی است. ارزیابی توزیع مکانی غلظت کربن آلی خاک با روش کریجینگ نشان داد که بیشتر سطح حوزه آبخیز الیگودرز (حدود ۸۷ درصد) دارای مقدار کربن آلی خاک کمتر از ۱ درصد می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که کربن آلی خاک به‌صورت معنی‌داری با ارتفاع و درصد شیب دارای همبستگی منفی است (به‌ترتیب $r = -0.265^{**}$ و $r= -0.217^{**}$). افزون بر این، نتایج نشان داد که در کاربری‌های مختلف اراضی مقدار کربن آلی خاک متفاوت است. بیشترین مقدار کربن آلی خاک در اراضی آبی و کمترین مقدار آن در اراضی مرتعی مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: تغییرپذیری مکانی، کریجینگ، مدل نمایی، نیم‌تغییر نما

مقدمه

خاک در چرخه کربن و گرمایش جهانی نقشی مهم دارد. ذخیره جهانی کربن آلی خاک[۳] ۱۵۰۰ پتاگرم تخمین زده می‌شود (۳)، که تقریبا با مجموع ۷۵۰ پتاگرمی ذخیره نیواری و ۶۰۰ پتاگرمی ذخیره زیستی کربن معادل است (۱۰). در ۲۵۰ سال گذشته ذخیره نیواری کربن حدود ۳۶ درصد تغلیظ یافته که استفاده از سوخت‌های فسیلی و مدیریت ناصحیح خاک (تغییر کاربری اراضی و شخم غلط)، از علل عمده آن به شمار می‌آید (۱۷). این در حالی است که در متوقف نمودن افزایش کربن نیواری، خاک مهمترین مخزن می‌باشد. ذخیره کردن کربن آلی در خاک، علاوه بر آن‌که سبب کاهش غلظت گاز کربنیک نیوار می‌شود در افزایش تولید محصول، ارتقاء کیفیت و کمیت آب، حفاظت خاک، اصلاح خاک‌های تخریب یافته، تصفیه آلاینده‌ها و تسهیل ذخیره آب و املاح نقشی اساسی بعهده دارد (۷). افزایش کربن آلی خاک از طریق بقایای گیاهی سبب افزایش پایداری خاکدانه‌ها و کاهش پراکندگی ذرات رس می‌شود (۱). لذا شناخت وضعیت کربن آلی خاک افزون بر پیش‌بینی توان بالقوه کشاورزی، در مدل‌سازی فرایندهای بوم شناختی نیز ضروری است (۱۷). کربن آلی در خاک پویا بوده و به پیروی از نیوار و زیست‌کره[۴] دارای تغییر است. مقدار کربن آلی خاک همچون دیگر ویژگی‌های خاک، در نتیجه برهم کنش فعال بین مواد مادری، بافت خاک، pH خاک، کاربری اراضی، توپوگرافی و شرایط اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای و قاره‌ای تغییر می‌کند (۲۴). در اراضی زراعی مقدار کربن آلی خاک به مدیریت خاک، عملیات خاک‌ورزی، کاربرد کودهای دامی، استفاده از آفت‌کش‌ها، آبیاری، زهکشی و حفاظت خاک و آب بستگی دارد (۸). یافته‌های حاصل از پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که از سال ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۵ حدود ۱۸ درصد ذخیره کربن آلی خاک در مقیاس جهانی در اثر مدیریت ناصحیح تخریب شده است (۱۰). وانگ و همکاران (۲۱) با مطالعه خاک‌های سطحی اراضی کشاورزی شمال چین گزارش

۱- استادیار گروه جنگل‌داری، دانشگاه گنبد کاووس
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه کردستان
(*- نویسنده مسئول: Email: m.davari@uok.ac.ir)

3- Soil Organic Carbon (SOC)

4- Biosphere

کردند که عملیات خاک‌ورزی در اراضی شیب‌دار سبب کاهش مواد آلی مناطق بالادست (فرسایش یافته) نسبت به مناطق پایین‌دست (رسوب‌یافته) شده است. قربانی و بهرامی (۶) در پژوهشی در حوزه آبخیز ماربره نشان دادند که خاک این حوزه به علت بالا بودن درصد سیلت مستعد فرسایش آبی است. لیکن تمرکز مناسب ماده آلی درسطح خاک و استفاده‌های کمتر از ابزارهای مکانیزه شخم، این امکان را فراهم آورده است تا خاک کمتری در معرض فرسایش آبی قرار گیرد. نتایج پژوهش این محققین نشان داد چنانچه به هر دلیل مقدار کربن آلی خاک‌های حوزه آبخیز ماربره به‌گونه بهینه مدیریت نشود، می توان انتظار هدر رفت زیاد خاک را داشت. عبداللهی و همکاران (۱) نیز نشان دادند که عدم مدیریت صحیح در افزودن سالانه کودهای آلی به مقدار ۵۰-۲۰ تن در هکتار موجب اکسایش کربن آلی و کاهش مقدار آن در اراضی کشاورزی نسبت به دیگر کاربری‌ها شده است. ورود کربن آلی به خاک از طریق افزودن بقایای گیاهی و نیز اصلاح‌کننده‌های آلی کنترل می‌شود. لیکن خروج آن از خاک با انتشار گاز CO_2 در نیوار و انتقال آن به زیست‌بوم‌های آبی از طریق فرایندهای آبشویی، رواناب و فرسایش صورت می‌گیرد (۲). بروز تغییرات جزیی در تعادل بین ورودی و خروجی کربن ممکن است ذخیره زیستی کربن خاک را تغییر دهد. لیکن به دلیل پراکندگی مکانی ذخیره کربن آلی خاک، مشخص نمودن چنین تغییرات کوچکی مشکل است (۱۹). فهم و یکپارچه کردن چنین غیریکنواختی در کربن آلی خاک می‌تواند دقت بودجه‌بندی کربن را بهبود داده و به عملیاتی کردن اقدام‌هایی مؤثر در تثبیت کربن خاک کمک نماید (۲۱).

از آنجایی که نمونه‌برداری خاک از نظر فنی دشوار و پرهزینه بوده و همچنین آماده‌سازی نمونه‌ها برای تجزیه زمان‌بر است، لذا همواره از خاکرخ تعدادی محدود نمونه برداشت می‌شود. حال آن‌که تمایل بر آن است تا مقدار کربن آلی خاک اندازه‌گیری شده شاخصی بهینه برای عرصه مورد مطالعه بوده (۵) و مقادیر آن نیز معیاری مناسب برای برآورد دقیق نقاط فاقد داده‌های اندازه‌گیری شده باشد. بنابراین، بیان میزان کربن آلی خاک که دارای تغییرات پیوسته مکانی است، در قالب یک کمیت عددی همچون میانگین عام کافی نمی‌باشد (۱۴). لذا، با توجه به تغییرپذیری زمانی - مکانی کربن آلی خاک (۷) و تأثیر مستقیم آن بر وضعیت آب، تخلخل و عناصر غذایی خاک، وجود روش(های) مناسب تعیین تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک می‌تواند در توسعه‌ی پایدار اراضی و تصحیح کارهای مدیریتی کشاورزی مفید باشد (۱۲). در سال‌های اخیر برای کمی نمودن توزیع ویژگی‌های مکانی و تغییرات کربن آلی خاک از زمین آمار استفاده شده است (۱۳ و ۲۱). زمین آمار ابزارهایی را برای توصیف و پیش‌بینی تغییرات مکانی پارامترهای خاک و میان‌یابی مکانی آنها مهیا می‌کند. برای تولید و تجسم فضایی نقشه‌های میان‌یابی شده شبکه‌ای[1] و تعیین تفاوت‌های مکانی بین این نقشه‌ها از سیستم اطلاعات جغرافیایی بهره گرفته می‌شود (۱۲). در این مطالعه تلاش می‌شود ضمن ارزیابی توانایی‌های زمین آمار در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در اراضی حوزه آبخیز الیگودرز استان لرستان، تأثیر فاکتورهای توپوگرافی و نوع کاربری اراضی بر آن نیز ارزیابی شود.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز الیگودرز از نظر موقعیت جغرافیایی حد فاصل ″۵۱/۷۲ ′۱۰ °۳۳ تا ″۲۸/۲۲ ′۳۴ °۳۳ عرض شمالی و ″۱۷/۹۹ ′۲۷ °۴۹ تا ″۴۰/۸۴ ′۵۸ °۴۹ طول شرقی واقع شده و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۲۱۷۴/۵ متر است. مساحت حوزه حدود ۱۰۷۸/۹ کیلومتر مربع، ارتفاع بلندترین نقطه ۳۲۰۰ متر و ارتفاع پایین‌ترین نقطه ۱۸۶۶/۳ متر از سطح دریا است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز الیگودرز را نشان می‌دهد.

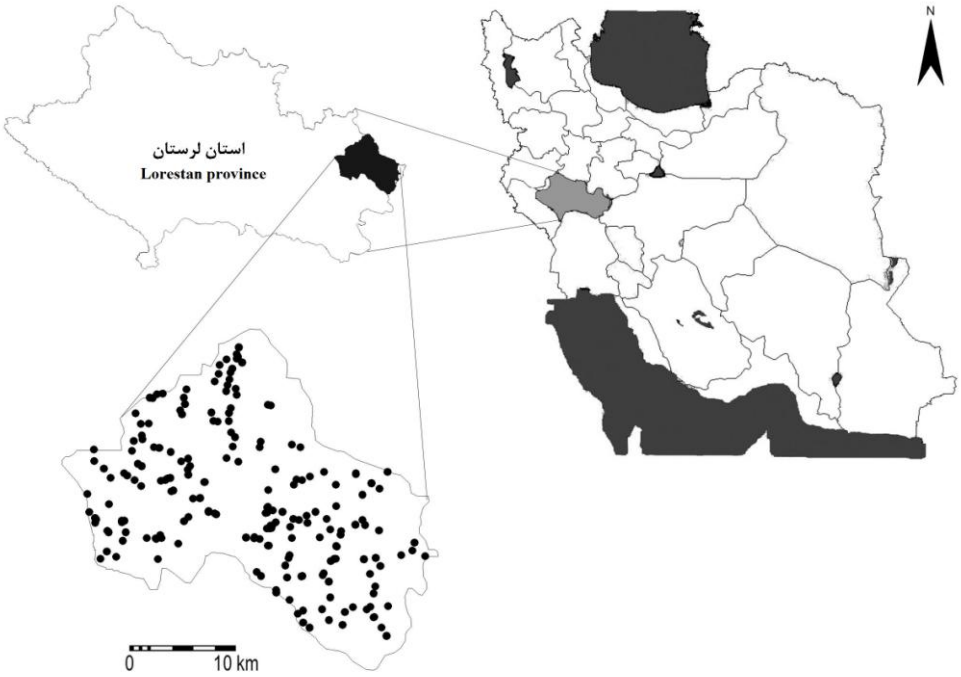
نمونه‌برداری و اندازه‌گیری SOC

با بهره‌گیری از نقشه‌ی واحدهای فیزیوگرافی حوزه آبخیز الیگودرز و تقسیم هر واحد فیزیوگرافی به واحدهای اراضی و اجزای واحد اراضی، ۲۰۶ نقطه‌ی مطالعاتی به‌صورت تصادفی بر روی نقشه مشخص گردید. میانگین فاصله بین نمونه‌ها ۵ کیلومتر و نمونه‌برداری در تابستان ۱۳۸۲ انجام شد. به کمک سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) نقاط در صحرا شناسایی شد و از عمق ۱۵-۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد. سپس، در آزمایشگاه با استفاده از روش والکلی - بلک غلظت کربن آلی خاک تعیین شد (۱۵).

زمین آمار

در زمین آمار جهت تجزیه و تحلیل ساختار مکانی متغیرهای ناحیه‌ای و مهیا نمودن پارامترهای ورودی برای میان‌یابی مکانی توسط تخمین‌گر کریجینگ از نیم‌تغییرنما[2] استفاده می‌شود (۲۴). برای مقایسه دو مقدار $z(x)$ و $z(x+h)$ در دو نقطه به مختصات x و x+h که به فاصله h از هم قرار دارند باید اختلاف آنها را بررسی کرد. واضح است که علامت این اختلاف مهم نبوده بلکه مقدار قدرمطلق آن $|z(x)-z(x+h)|$ مهم است.

1- Raster maps
2- Semivariogram



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه‌ی آبخیز الیگودرز و نقاط نمونه‌برداری
Figure 1- Geographical location of Aligodarz watershed and sampling points

در عمل متوسط اختلاف بین دو نقطه که به فاصله h از هم قرار دارند موردنظر است. از آنجایی که متوسط این کمیت صفر یا نزدیک به صفر است، بنابراین مجذور اختلاف را در نظر می‌گیرند و به بیان دیگر تابع عدم تشابه را مدنظر قرار می‌دهند. در صورتی که تعداد N(h) زوج نمونه که به فاصله h از یکدیگر واقع‌اند در دسترس باشد، براساس این اطلاعات نیم‌تغییرنما عبارت خواهد بود از:

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

لذا یک نیم‌تغییرنما، با محاسبه مقادیر مختلف $\gamma(h)$ به ازای مقادیر مختلف h به دست می‌آید (۹). بعد از محاسبه نیم‌تغییرنما، برای مطالعه پراکنش مکانی و تخمین مقدار متغیر در نقاط اندازه‌گیری نشده، یکی از مدل‌های تئوری مناسب همچون خطی، کروی و نمایی بر آن برازش داده می‌شود. برازش بهینه ساختار تغییرپذیری مکانی و انتخاب مدل تئوری مناسب متغیرهای مورد مطالعه، بر کیفیت نتایج حاصل از تخمین‌گرهای زمین‌آماری اثر دارد. زیرا این مدل‌ها اطلاعاتی راجع به ساختار مکانی و همچنین پارامترهای ورودی روش‌های میان‌یابی کریجینگ فراهم می‌کنند (۲۲). کریجینگ را می‌توان بعنوان یکی از روش‌های بهینه‌ی میان‌یابی مکانی معرفی نمود که نوعی میانگین متحرک وزنی است:

$$z^*(x)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i z(x_i) \qquad (۲)$$

که $z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای متغیر z در نقطه‌ی x_i، $z^*(x)$ مقدار تخمینی متغیر z در نقطه‌ی x، n تعداد نقاط استفاده شده در تخمین و λ_i وزن داده شده به مقدار مشاهده‌ای i است. کریجینگ با سایر روش‌های میان‌یابی متفاوت است، زیرا تابع وزنی λ_i اختیاری نبوده و از پارامترهای مدل نیم‌تغییرنمای برازشی در شرایط ناریب محاسبه می‌گردد. بنابراین در روش کریجینگ، وزن‌ها به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که واریانس تخمین کمترین مقدار باشد. از این‌رو، کریجینگ بعنوان بهترین تخمین‌گر ناریب خطی[1] مورد توجه قرار می‌گیرد. برای ارزیابی بهترین روش میان‌یابی و تعیین مناسب‌ترین شعاع همبستگی و کاهش واریانس روش کریجینگ از روش اعتبارسنجی متقابل[2] استفاده شد (۲۴). همچنین برای ارزیابی بهترین نیم‌تغییرنمای تئوری از شاخص‌های آماری مجموع مربعات باقی‌مانده (RSS)[3] و ضریب تبیین (r^2) استفاده شد. بررسی‌های آماری و زمین‌آماری به ترتیب با

1- Best Linear Unbiased Estimation
2- Cross Validation
3- Residual Sum of Square

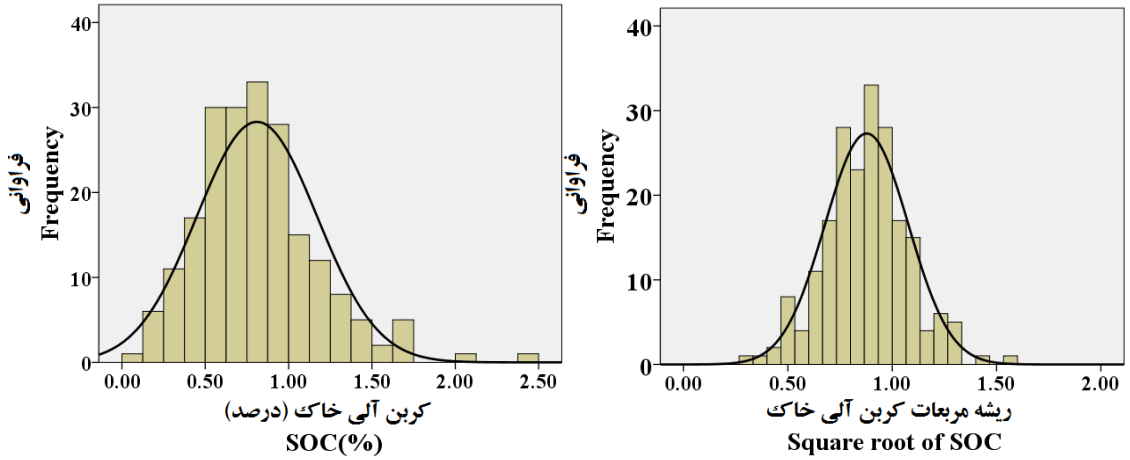
استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 18 و GS$^+$5.1 انجام شد. شایان ذکر است که برای تولید نقشه‌ها از بسته نرم‌افزاری Ilwis 3.3 استفاده شد.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی

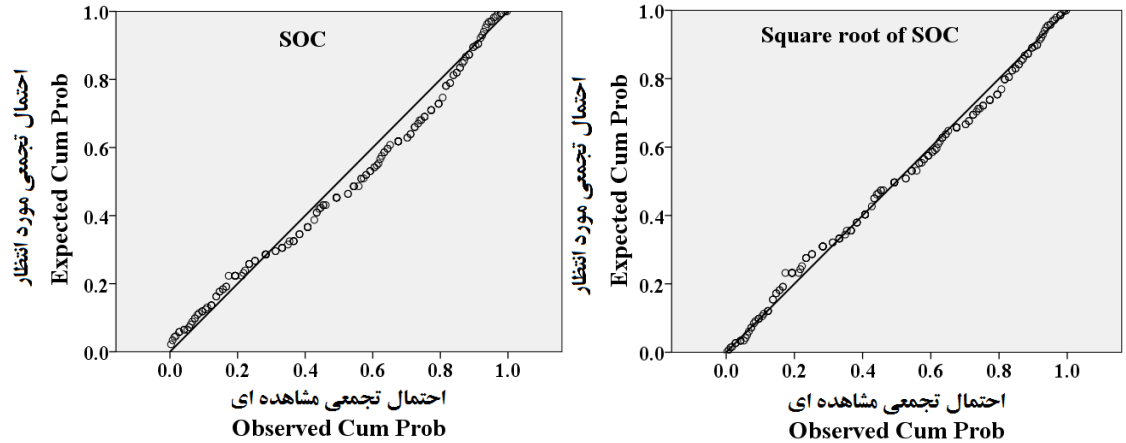
اساس بیش‌تر روش‌های آماری بر فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها است. برای یافتن اینکه غلظت کربن آلی خاک از یک توزیع نرمال تبعیت می‌کند یا نه، از سه روش آزمون استفاده شد. در روش اول، هیستوگرام و منحنی توزیع نرمال داده‌های تبدیل نشده غلظت کربن آلی خاک و داده‌های تبدیل شده آنها با ریشه مربعات ترسیم شد (شکل ۲). این شکل نشان می‌دهد هر چند توزیع آماری داده‌های تبدیل نشده SOC تقریبا نرمال است، لیکن دارای چولگی مثبت می‌باشد؛ حال آن‌که داده‌های تبدیل شده با ریشه مربعات می‌توانند با توزیع نرمال‌تری مدل شوند.

در روش دوم برای تعیین نرمال بودن توزیع داده‌های کربن آلی خاک از نمودار P-P استفاده شد (شکل ۳). این نمودار نشان می‌دهد در صورتی که داده‌های اندازه‌گیری شده یک متغیر اطراف یک خط راست خوشه شوند توزیع آن می‌تواند از توزیع نرمال تبعیت کند (۱۲). همان‌گونه که در شکل ۳ دیده می‌شود در داده‌های تبدیل نشده کربن آلی خاک انحرافی معنی‌دار از خط راست وجود دارد. این در حالی است که داده‌های تبدیل شده کربن آلی خاک با ریشه مربعات به خط راست نزدیک‌تر می‌باشند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که ریشه مربعات غلظت کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز از توزیع نرمال تبعیت می‌کند.



شکل ۲- هیستوگرام‌های داده‌های تبدیل نشده کربن آلی خاک و داده‌های تبدیل شده آن با ریشه مربعات در حوزه آبخیز الیگودرز

Figure 2- Histograms of Soil Organic Carbon (SOC) and square- root transformed SOC in the Aligodarz watershed



شکل ۳- نمودار P-P داده‌های تبدیل نشده کربن آلی خاک و داده‌های تبدیل شده آن با ریشه مربعات در حوزه آبخیز الیگودرز

Figure 3- Probability-probability plots of Soil Organic Carbon (SOC) and square- root transformed SOC in the Aligodarz watershed

در روش سوم برای ارزیابی توزیع نرمال متغیر غلظت کربن آلی خاک، پارامترهای کمی توزیع احتمال و سطح معنی‌دار آزمون کلموگروف – اسمیرنوف (K-S) محاسبه شد (جدول ۱). نتایج جدول ۱ دلالت بر نرمال بودن داده‌های تبدیل شده کربن آلی خاک مطابق آزمون K-S دارد. داده‌های تبدیل نشده چولگی ۰/۹۹ و کشیدگی ۲/۰۳ را نشان دادند، حال آنکه داده‌های تبدیل شده با ریشه مربعات دارای درجه چولگی و کشیدگی کمتری بودند (به ترتیب ۰/۱۲ و ۰/۶۳). هر اندازه مقدار چولگی داده‌ها بیشتر باشد دلالت بر غیریکنواخت بودن واریانس، وجود جوامع فرعی و یا داده‌های پرت دارد.

برای داده‌های کربن آلی خاک، ضریب تغییرات (CV)، انحراف معیار و برخی دیگر از پارامترهای اساسی آماری نیز محاسبه شد (جدول ۲). ضریب تغییرات (CV)، بعنوان یک معیار کلی از غیر-یکنواختی SOC در هر مکان، معادل ۴۴/۴۹ درصد بود. مطابق با سیستم طبقه‌بندی پیشنهاد شده توسط نیلسون و بوما (۱۶)، اگر CV کمتر از ۱۰ درصد باشد متغیر دارای تغییرپذیری ضعیفی است، اگر CV بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد قرار گیرد تغییرپذیری آن متوسط و در غیر این‌صورت متغیر دارای تغییرپذیری قوی می‌باشد. بنابراین کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز از تغییرپذیری متوسطی برخوردار است، زیرا کربن آلی خاک با تغییرات درونی در جهت‌های عمودی و افقی خاک و تغییرات بیرونی در نیوار و زیست‌کره، یک سیستم پویا شمرده می‌شود. تغییرات این متغیر تحت تأثیر هر دو فرایندهای ذاتی و مدیریتی قرار دارد (۲۴). همان‌گونه که در جدول ۲ مشاهده می‌شود غلظت کربن آلی خاک از ۰/۰۸ تا ۲/۳۹ درصد متغیر بوده و میانگین حسابی آن ۰/۸۱ درصد است. مقدار میانگین هندسی و میانه‌ی SOC نیز به ترتیب برابر ۰/۷۳ و ۰/۷۷ درصد است.

ساختار مکانی SOC

داده‌های تحلیل واریوگرافی هر یک از مدل‌های نیم‌تغییرنمای برازش شده بر SOC و پارامترهای آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای شکل توزیع احتمال و سطح معنی‌دار آزمون کلموگروف – اسمیرنوف (K-S P) داده‌های غلظت کربن آلی خاک

Table 1- Shape parameters of probability distributions and significance level of Kolomogrov-Smirnov test (K-S *p*) of the SOC data

	چولگی Skewness	کشیدگی Kurtosis	K-S *p*
مجموع داده‌ها Total data	0.99	2.03	0.002
داده‌های تبدیل شده Transformed data	0.12	0.63	0.057

جدول ۲- انحراف معیار، ضریب تغییرات و برخی پارامترهای آماری اصلی غلظت کربن آلی خاک

Table 2- Standard deviation (SD), coefficient of variation (CV) and some basic statistical parameters of SOC data

متغیر Variable	میانه Median	میانگین هندسی Geometric mean	میانگین حسابی Arithmetic mean	انحراف معیار SD	ضریب تغییرات CV (%)	کمینه Minimum	بیشینه Maximum
SOC (%)	0.77	0.73	0.81	0.36	44.49	0.08	2.39

جدول ۳- پارامترهای مدل‌های نیم‌تغییر نمای برازش شده بر داده‌های اندازه‌گیری شده غلظت کربن آلی خاک

Table 3- Parameters of semi-variance fitted to the measured soil organic carbon data

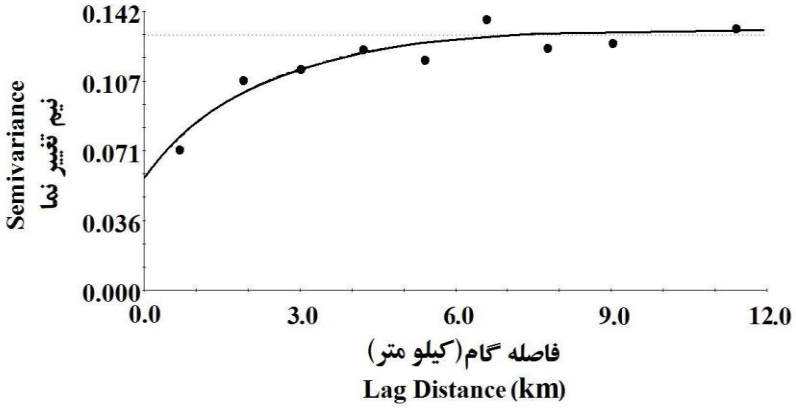
متغیر Variable	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget effect	آستانه Sill	دامنه تأثیر Range (km)	آستانه/اثر قطعه‌ای Nugget effect/Sill (%)	r^2	RSS[1]
SOC (%)	کروی Spherical	0.090	0.181	27.15	49.7	0.685	1.14×10^{-3}
	نمایی Exponential	0.058	0.133	6.80	43.6	0.888	4.09×10^{-4}
	خطی Linear	0.092	0.144	11.39	63.8	0.670	0.0111
	گوسی Gaussian	0.102	0.205	26.71	49.7	0.530	1.70×10^{-3}

[1] Residual sum of square

نتایج حاصل از مقایسه آماره‌های مجموع مربعات خطا (RSS) و ضریب تبیین (r^2) در جدول ۳ نشان می‌دهد که مدل نمایی با اثر قطعه‌ای ۰/۰۵۸، آستانه ۰/۱۳۳ و دامنه تأثیر ۶/۸۰ کیلومتر بهترین برازش را بر نیم‌تغییرنمای تجربی محاسبه شده SOC دارد. مقدار اثر قطعه‌ای معادل ۰/۰۵۸ بوده که می‌تواند به‌وسیله خطای نمونه‌برداری و اندازه‌گیری، تغییرپذیری کوتاه‌دامنه متغیر و تغییرپذیری ذاتی و تصادفی تبیین شود (۱۲). دامنه تأثیر معادل ۶/۸۰ کیلومتر می‌باشد. این موضوع دلالت بر این امر دارد که خودهمبستگی مکانی SOC می‌تواند تا دامنه ۶/۸۰ کیلومتری توسعه یابد. بنابراین می‌توان چنین بیان کرد که بیشترین تغییرات غلظت SOC در این فاصله رخ می‌دهد؛ لذا مناسب‌ترین فاصله جهت نمونه‌برداری برای تعیین غلظت کربن آلی خاک باید کمتر از این مقدار باشد (۱۸). این در حالی است که برخی دیگر از محققین فاصله ۷۰ درصد دامنه تأثیر یعنی کمتر از ۴/۸ کیلومتر را به‌عنوان فاصله بهینه نمونه‌برداری در نظر می‌گیرند (۱۴). این نتایج با یافته‌های ون میرون و همکاران (۲۰) که فاصله بهینه نمونه‌برداری را کمتر از ۴ کیلومتر پیشنهاد می‌کنند نسبتا هم‌خوانی دارد. در پژوهش دیگری که ژانگ و مک‌گراس (۲۴) برای بررسی پراکنش مکانی کربن آلی خاک چمنزارهای ایرلند انجام دادند، دامنه تأثیر ۱۲۰ کیلومتری را بدست آوردند. این محققین بیان کردند که تعداد ۶۷۸ نمونه برداشت شده در این منطقه، تنها قابلیت این را دارد که از روند تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک اطلاعاتی کلی به ما داده و ارزیابی تغییرات کوتاه دامنه کربن آلی خاک نیازمند تعداد نمونه‌های بیشتری است. نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه معمولا می‌تواند برای کلاس‌بندی وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک استفاده شود (۴). اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد متغیر دارای وابستگی مکانی شدیدی است. اما اگر این نسبت بین ۰/۲۵ و ۰/۷۵ باشد متغیر وابستگی مکانی متوسطی داشته و در غیر این‌صورت وابستگی مکانی متغیر ضعیف است. در این پژوهش نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه‌ی معادل ۴۳/۶ درصد بدین معنی است که کربن آلی خاک دارای وابستگی مکانی متوسطی بوده که ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی خصوصیات خاک (بافت، کانی‌شناسی و فرایندهای تشکیل خاک) و تغییرات بیرونی آن (مصرف کود و عملیات زراعی) کنترل شود. نتایج حاصل از برازش مدل نمایی بر نیم‌تغییرنمای تجربی محاسبه شده SOC در شکل ۴ آورده شده است.

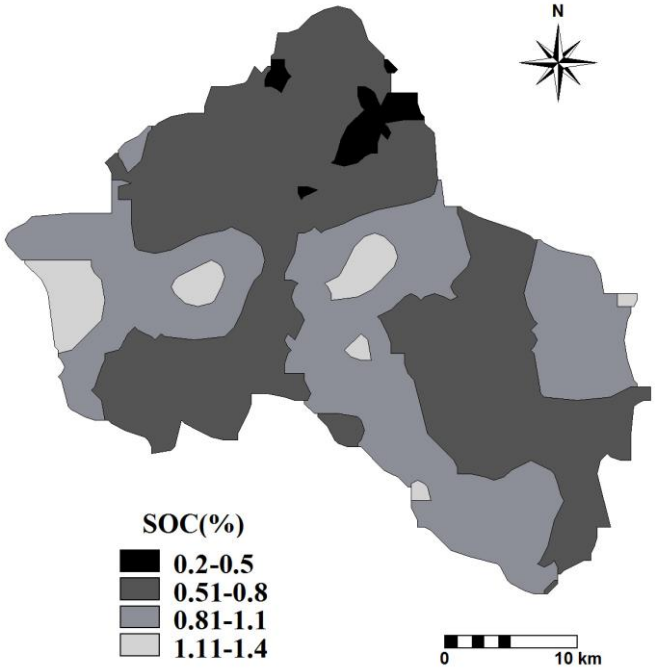
توزیع مکانی غلظت SOC

ارزیابی توزیع مکانی کربن آلی خاک در سطوح وسیعی همچون حوزه آبخیز مورد مطالعه جهت مدیریت دقیق و بهینه عملیات زراعی ضروری است. بدین منظور، پارامترهای حاصل از مدل نمایی برازش شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی، در میان‌یابی به روش کریجینگ استفاده شد تا نقشه توزیع مکانی غلظت کربن آلی در خاک‌های حوزه آبخیز الیگودرز تهیه شود. با انتخاب ۱۶ نقطه معلوم در همسایگی نقاط نمونه‌برداری نشده و گزینش اندازه‌ی المان ۵۰m × ۵۰m، حوزه‌ی آبخیز الیگودرز در یک سیستم شبکه‌ای به ۸۹۰ ردیف و ۹۷۵ ستون تقسیم شده و با بهره‌گیری از روش کریجینگ معمولی غلظت کربن آلی خاک میان‌یابی گردید. نتایج حاصل از این میان‌یابی مکانی در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود دامنه‌ی داده‌های میان‌یابی شده SOC از ۰/۳ تا ۱/۴ درصد متغیر است. از نقشه‌ی توزیع مکانی مقدار SOC می‌توان دریافت که مقدار کربن آلی خاک در بخش‌های کوچکی از مرکز و غرب حوزه‌ی آبخیز الیگودرز بیشتر از سایر نقاط است، که شاید بتوان دلیل آن را به غالب بودن ذرات کوچکتر از ۲۵۰ میکرون خاک، استفاده از کودهای دامی در مزارع، کشت گیاهان خانواده لگومینوزه و نیز عدم استفاده از ادوات مکانیزه کشت و کار نسبت داد.



شکل ۴- نیم‌تغییرنمای نمایی کربن آلی خاک

Figure 4- Exponential semivariogram of soil organic carbon



شکل ۵- نقشه توزیع مکانی غلظت کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز

Figure 5- Spatial distribution map of soil organic carbon (SOC) in Aligodarz watershed

در بخش‌های شمالی حوزه، کمترین مقدار کربن آلی خاک وجود دارد که احتمالا می‌تواند به‌دلیل هدر رفت خاک ناشی از فرسایش و شیب زیاد منطقه باشد. لیکن در مجموع بیشتر سطح حوزه آبخیز الیگودرز (حدود ۸۷ درصد) دارای غلظت کربن آلی کمتر از ۱ درصد می‌باشد.

تأثیر خصوصیات توپوگرافی بر SOC

تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون نشان داد که کربن آلی خاک بصورت معنی‌داری با ارتفاع همبستگی منفی دارد ($r= -0.265^{**}$, P=0.000). این بدین معنی است که در حوزه آبخیز مورد مطالعه، وضعیت کربن آلی در خاک تحت تأثیر ارتفاع بوده و به تبع افزایش ارتفاع مقدار آن کاهش می‌یابد. این نتایج با یافته‌های حاصل از پژوهش لیو و همکاران (۱۲)، یون- کیانگ و همکاران (۲۳) و زونگ- مینگ و همکاران (۲۵) سازگار است. در توضیح این موضوع می‌توان فرض کرد که در ارتفاع بالا، مقدار بارش افزایش و مقدار دما کاهش می‌یابد؛ گرچه در حضور هر دو این فاکتورهای محیطی تمایل به تجمع هوموس وجود دارد، لیکن چون با افزایش ارتفاع تراکم پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد انتظار بر این است که مقدار ماده آلی خاک نیز کاهش یابد. افزون بر این به نظر می‌رسد که یکی دیگر از عوامل مؤثر بر کاهش مقدار کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز، بروز فرسایش خاک در این منطقه باشد (۶). نتایج تجزیه و تحلیل همبستگی پیرسون همچنین نشان داد که کربن آلی خاک بصورت معنی‌داری با درصد شیب نیز همبستگی منفی دارد ($r= -0.217^{**}$). این موضوع دلالت بر این امر دارد که درجه شیب را می‌توان بعنوان یکی از عوامل تعیین کننده توزیع کربن آلی در افق سطحی خاک منطقه مورد مطالعه برشمرد.

جدول ۴- ضریب همبستگی بین غلظت کربن آلی خاک، ارتفاع و درصد شیب

Table 4- Correlation coefficients among soil organic carbon (SOC), altitude, and slope percent

متغیر Variable	SOC	ارتفاع Altitude	درصد شیب Slope percent
SOC	1	-0.265**	-0.217**
ارتفاع Altitude		1	0.942**
درصد شیب Slope percent			1

** معنی‌دار در سطح ۰/۰۱

** Significant at the 0.01 level

تأثیر نوع کاربری اراضی بر SOC

جهت ارزیابی معنی‌دار بودن غلظت کربن آلی خاک بین انواع مختلف کاربری‌های اراضی از تحلیل واریانس یک‌طرفه و آزمون فیشر استفاده گردید. بدین منظور، نمونه‌های جمع‌آوری شده از حوزه آبخیز الیگودرز در قالب سه نوع کاربری اراضی دیم، اراضی آبی و اراضی مرتعی گروه‌بندی شدند. نتایج مربوط به تحلیل واریانس و مقایسه میانگین‌های داده‌های غلظت کربن آلی خاک در سه نوع کاربری مرتع، اراضی آبی و اراضی دیم به ترتیب در جداول ۵ و ۶ ارائه شده است.

همان‌گونه که در این جداول مشاهده می‌شود بین غلظت کربن آلی خاک کاربری‌های مختلف اراضی در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری وجود دارد. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین مقدار کربن آلی خاک در اراضی آبی با میانگین ۰/۹۴ و کمترین مقدار آن در اراضی مرتعی با میانگین ۰/۶۰ می‌باشد. این در حالی است که معمولا غلظت کربن آلی خاک اراضی زراعی در مقایسه با اراضی که تحت کشت قرار نگرفته کمتر می‌باشد؛ به این دلیل که در اراضی کشاورزی نرخ تخریب مواد آلی در نتیجه‌ی عملیات خاک‌ورزی و خروج کربن آلی از خاک توسط محصولات زراعی بیشتر است (۱۰). لیکن متفاوت بودن یافته‌های حاصل از این پژوهش ممکن است به دلیل ورود بیشتر نهادهای آلی به خاک (همچون کود دامی) و همچنین کمتر بودن نرخ تجزیه مواد آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز باشد. دلیل دیگری که می توان بیان کرد این است که اراضی زراعی همواره در سطوح ارتفاعی کمتری نسبت به دیگر کاربری‌های اراضی واقع می‌شوند. پایین بودن ارتفاع اراضی زراعی از سویی می‌تواند مقدار رطوبت خاک را افزایش داده و از سویی دیگر با افزایش پوشش گیاهی سبب کاهش دمای خاک شود که هر دوی این عوامل می‌تواند منجر به تخریب کمتر مواد آلی در خاک شوند.

جدول ۵- تحلیل واریانس مقدار کربن آلی خاک در کاربری مرتع، اراضی آبی و اراضی دیم

Table 5- Variance analysis of soil organic carbon in pasture, irrigated land and dry farmland

منبع تغییرات Source of changes	درجه آزادی Degree of freedom	مجموع مربعات Sum of squares	میانگین مربعات Mean of squares	F	P
کاربری اراضی Land use	2	1.70	0.85	6.94**	0.001
خطا error	203	24.90	0.12		
کل total	205	26.60			

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد

** Significant at the 0.01 level

جدول۶- مقایسه میانگین مقدار کربن آلی خاک بین سه کاربری مرتع، اراضی آبی و دیم با استفاده از آزمون فیشر در سطح معنی‌دار ۱٪

Table 6- Comparison of the mean values of soil organic carbon in pasture, irrigated land and dry farmland by using Fisher's test at the significance level of 0.01

متغیر Variable	زراعت آبی Irrigated farming	زراعت دیم Dry farming	مرتع Pasture
کربن آلی خاک (%) Soil organic carbon	0.937[a]	0.811[b]	0.603[c]

اعداد با حروف انگلیسی متفاوت دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers followed by the different letters are significantly different.

نتیجه گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت کربن آلی خاک در حوزه آبخیز الیگودرز دارای وابستگی مکانی متوسطی بوده که ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی خصوصیات خاک (بافت، کانی‌شناسی و فرایندهای تشکیل خاک) و تغییرات بیرونی آن (مصرف کود و عملیات زراعی) کنترل شود. مطابق نتایج بدست آمده حدود ۸۷ درصد سطح حوزه آبخیز الیگودرز دارای غلظت کربن آلی خاک کمتر از ۱ درصد می‌باشد. در بخش‌هایی از مرکز و غرب این حوزه، غلظت کربن آلی خاک بیشتر بوده که شاید بتوان آن را به غالب بودن ذرات کوچکتر از ۲۵۰ میکرون خاک، استفاده از کودهای دامی در مزارع، کشت گیاهان خانواده لگومینوزه و نیز عدم استفاده از ادوات مکانیزه کشت و کار نسبت داد. این در حالی است که کمتر بودن مقدار ماده آلی خاک در بخش‌های شمالی احتمالا می‌تواند به‌دلیل هدر رفت خاک ناشی از

فرسایش و شیب زیاد منطقه باشد. نتایج همچنین نشان داد که در حوزه آبخیز الیگودرز، وضعیت کربن آلی خاک تحت تأثیر ارتفاع بوده و با افزایش ارتفاع مقدار آن کاهش می‌یابد. نوع کاربری اراضی نیز بر روی تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک تأثیری معنی‌دار داشت و بیشترین مقدار کربن آلی خاک متعلق به اراضی آبی و کمترین مقدار آن متعلق به اراضی مرتعی بود.

منابع

1- Abdollahi L., Schjonning P., Elmholt S., and Munkholm L.J. 2013. The effects of organic matter application and intensive tillage and traffic on soil structure formation and stability. Soil & Tillage Research, 136: 28–37.

2- Agha Mohseni Fashami M., Zahedi Gh., Farahpour M., and Khorassani N. 2009. Influence of exclosure and grazing on the soil organic carbon and soil bulk density Case study in the central Alborze south slopes range lands. Dynamic Agriculture, 5(4): 375-381. (in Persian with English abstract)

3- Batjes N.H. 1996. The total C and N in soils of the world. European Journal of Soil Science, 47: 151–163.

4- Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F., and Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, 58: 1501–1511.

5- Don A., Schumacher J., Scherer-Lorenzen M., Scholten T., and Schulze E-D. 2007. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites - Implications for measuring soil carbon stocks. Geoderma, 141: 272–282.

6- Ghorbani vaghei H., and Bahrami, H. A. 2006. The study of influence of Wischmeier nomograph parameters in determination of soil erodibility factor based on Fuzzy Logic system. Journal of Science and Technology, 5(1-2): 32-38. (in Persian)

7- Han F., Hu W., Zheng J., Du F., and Zhang X. 2010. Estimating soil organic carbon storage and distribution in a catchment of Loess Plateau, China. Geoderma, 154: 261–266

8- Heenan D.P., Chan K.Y., and Knight P.G. 2004. Long-term impact of rotation, tillage and stubble management on the loss of soil organic carbon and nitrogen from a Chromic Luvisol. Soil Tillage Research, 76: 59–68.

9- Hosseini E., Gallichand J., and Marcotte D. 1994. Theoretical and experimental performance of spatial interpolation methods for soil salinity analysis. Transaction of the ASAE, 37(6): 1799-1807.

10- Lal, R. 2002. Soil carbon dynamics in cropland and rangeland. Environmental Pollution, 116: 353–362.

11- Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science, 304: 1623-1627.

12- Liu D., Wang Z., Zhang B., Song K., Li X., Li J., Li F., and Duan H. 2006. Spatial distribution of soil organic carbon and analysis of related factors in croplands of the black soil region, Northeast China. Agriculture, Ecosystems and Environment, 113: 73–81.

13- Marchetti A., Piccini C., Francaviglia R., and Mabit L. 2012. Spatial Distribution of Soil Organic Matter Using Geostatistics: A Key Indicator to Assess Soil Degradation Status in Central Italy. Pedosphere, 22(2): 230–242.

14- Mohammadi J. 2006. Pedometer: 2, spatial statistics (Geo statistics). Pelk Publication, Tehran, 453 p. (In Persian)

15- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. p. 539–579. In A.L. Page et al. (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.

16- Nielsen, D.R., and Bouma, J. (eds.). 1985. Soil Spatial Variability. Proceedings of a Workshop of the ISSS and the SSSA, Las Vegas, USA. 30th November to 1st December, 1984. Pudoc, Wageningen.

17- Parvizi Y., and Gorji M. 2013. Study the effect of dry management on quantity and distribution of soil organic matter in Mereg watershed in Kermanshah province. Land Management, 1(1): 81-89. (in Persian with English abstract)

18- Sun B., Zhou Sh., and Zhao Q. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical china. Geoderma, 115: 85-99.

19- Turner J., and Lambert M. 2000. Change in organic carbon in forest plantation soils in eastern Australia. Forest and Ecology Management, 133: 231–247.

20- Van Meirvenne, M., Pannier, J., Hofman, G., and Louwagie, G. 1996. Regional characterization of the long-term change in soil organic carbon under intensive agriculture. Soil Use Management, 12: 86–94.

21- Wang Z.M., Zhang B., Song K.S., Liu D.W., Li F., Guo Z.X., and Zhang S.M. 2009. Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China. Plant, Soil and Environment, 54(10): 420–427

22- Webster R., and Oliver M. 2001. Geostatistics for Environmental Scientists. John Wiley & Sons, Chichester.

23- Yun-Qiang W., Xing-Chang Z., Jing-Li Z., and Shun-Ji L. 2009. Spatial Variability of Soil Organic Carbon in a Watershed on the Loess Plateau. Pedosphere, 19(4): 486-495.

24- Zhang C.S., and McGrath D. 2004. Geostatistical and GIS analyses on soil organic carbon concentrations in grassland of southeastern Ireland from two different periods. Geoderma, 119: 261–275.

25- Zong-Ming W., Bai ZH., Kai-Shan S., Dian-Wei L., and Chun-Ying R. 2010. Spatial Variability of Soil Organic Carbon Under Maize Monoculture in the Song-Nen Plain, Northeast China. Pedosphere, 20(1): 80-89.

Journal of Water and Soil
Vol. 29, No. 5, Nov.-Dec. 2015, p. 1309-1319

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۹، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۴، ص. ۱۳۱۹-۱۳۰۹

Geostatistical Analyses of Soil Organic Carbon Concentrations in Aligodarz Watershed, Lorestan Province

H. Ghorbani Vaghei[1] - M. Davari[2]*

Received: 16-04-2014
Accepted: 26-05-2015

Introduction: Soil organic carbon (SOC) has great impacts on soil properties, soil productivity, food security, land degradation and global warming. Similar to other soil properties, SOC has a strong spatial heterogeneity as a result of dynamic interactions between parent material, climate and geological history, at both regional and continental scales. However, landscape attributes including slope, aspect, altitude, and land use types are dominant factors influencing on SOC in areas with the same parent materials and climate regime. Understanding and identifying the spatial and temporal distribution of SOC is essential to evaluate soil quality, agricultural management, watershed modeling and soil carbon sequestration budgets. Therefore, the objectives of this study was to estimate soil organic carbon content in the Aligodarz watershed, and to investigate the effects of altitude, slope, and land use type on SOC.

Materials and Methods: The research was carried out in the Aligodraz watershed in Lorestan province of Iran. The study area is located between latitudes N 33° 10' 51.72"to N 33° 34' 28.22" and longitudes E 49° 27' 17.99"to E 49° 58' 40.84" 14 that covers an area of 1078.9 km^2. It has an altitude between 1866.3 and 3200 m above sea-level. The primary land uses within the watershed include pasture, dryland and irrigated farming. In this study, soil samples were randomly collected from 206 sites at depth of 0– 15 cm during June and August 2003. The mean distance between samples was about 5 km. Soil samples were air-dried in the shade for about 7 days and then passed through a 0.25 mm prior to determination of SOC. Soil organic carbon content was determined in triplicate for each sample using the Walkey-Black method. Basic statistical analyses for frequency distribution, normality tests, *Pearson's* correlation and analysis of variance were conducted using SPSS (version 18.0). Calculation of experimental variograms and modeling of spatial distribution of SOC were carried out with the geostatistical software GS$^+$ (version 5. 1). Maps were generated by using ILWIS (version 3.3) GIS software.

Results and Discussion: The results revealed that the raw SOC data have a long tail towards higher concentrations, whereas that squareroot transformed data can be satisfactorily modelled by a normal distribution. The probability distribution of SOC appeared to be positively skewed and have a positive kurtosis. The square root transformed data showed small skewness and kurtosis, and passed the *K–S* normality test at a significance level of higher than 0.05. Therefore, the square root transformed data of SOC was used for analyses. The SOC concentration varied from 0.08 to 2.39%, with an arithmetic mean of 0.81% and geometric mean of 0.73%. The coefficient of variation (CV), as an index of overall variability of SOC, was 44.49%. According to the classification system presented by Nielson and Bouma (1985), a variable is moderately varying if the CV is between 10% and 100%. Therefore, the content of SOC in the Aligodarz watershed can be considered to be in moderate variability. The experimental variogram of SOC was fitted by an exponential model. The values of the range, nugget, sill, and nugget/sill ratio of the best-fitted model were 6.80 km, 0.058, 0.133, and 43.6%, respectively. The positive nugget value can be explained by sampling error, short range variability, and unexplained and inherent variability. The nugget/sill ratio of 43.6% showed a moderate spatial dependence of SOC in the study area. The parameters of the exponential smivariogram model were used for kriging method to produce a spatial distribution map of SOC in the study area. The interpolated values ranged between 0.30 and 1.40%. Southern and central parts of this study area have the highest SOC concentrations, while the northern parts have the lowest concentrations of SOC. Kriging results also showed that the major parts of the Aligodarz watershed (about 87%) have statistically SOC content less than 1%. Lower SOC concentrations were associated with high altitude ($r = -0.265^{**}$). The results of *Pearson* correlation analysis showed that soil organic carbon content has a significantly negative correlatiton with slope gradient ($r = -0.217^{**}$). The results also indicated that the SOC content was variable for the different land use types. The irrigated lands had the highest SOC concentrations, while the pasture lands had the lowest SOC values.

Conclusion: The square-root transformed data of SOC in Aligodarz watershed of Lorestan province, Iran, followed a normal distribution, with an arithmetic mean of 0.81%, and geometric mean of 0.73%. The coefficient of variation and nugget/sill ratio revealed a moderate spatial dependence of SOC in the study area. The results indicated that the major parts of the Aligodarz watershed have SOC content less than 1%. The land

1- Assistant Professor of Forestry Department, Gonbad-e Kavus University
2- Assistant Professor of Soil Science and Engineering Department, University of Kurdistan
(*- Corresponding Author Email: m.davari@uok.ac.ir)

use type had a significant effect on the spatial variability of SOC and that lower SOC concentrations were associated with higher altitude and slope gradients. The irrigated and pasture lands had the highest and lowest SOC concentrations, respectively.

Keywords: Exponential model, Kriging, Semivariogram, Spatial variability