نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۱، ص. ۱۷۲-۱۶۲

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 162-172

روندیابی تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف یک حوزه نیمه‌خشک

یحیی پرویزی[1*] – منوچهر گرجی[2] – محمدحسین مهدیان[3] – محمود امید[4]

تاریخ دریافت:۹۰/۳/۹
تاریخ پذیرش:۹۰/۷/۱۰

چکیده

کربن آلی خاک کلیدی‌ترین عامل در باروری و کیفیت خاک و حفاظت محیط زیست، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک بوده و تنها ابزار شناخته شده برای اصلاح تغییرات اقلیمی و کاهش گازهای گلخانه‌ای در جو زمین می‌باشد. مدیریت کربن آلی خاک مستلزم شناخت ساختار تغییرپذیری آن در زمان و مکان است. این پژوهش با هدف مقایسه کارایی روش‌های مختلف درون‌یابی کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف یک حوزه نیمه‌خشک در غرب کشور انجام شد. نتایج نشان داد که روش‌های کریجینگ معمولی، کوکریجینگ با متغیر کمکی درصد آهک و روش RBF با تابع اسپلین، به‌ترتیب دارای بیشترین کارایی در درون‌یابی بودند. با تفکیک کاربری‌ها و درون‌یابی مجزا در آنها، روش مناسب درون‌یابی عبارت بود از کوکریجینگ معمولی با متغیر کمکی درصد سنگریزه سطحی، درصد آهک و کلاس فرسایش، به‌ترتیب برای مرتع، زراعت و جنگل بود که تفاوت زیادی با روش RBF نداشت. مدل مناسب برای کلیه روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری در کلیه کاربری‌ها، مدل نمایی با گام حدود ۷۵۰ تا ۱۰۰۰ متر و خطای اندازه‌گیری متوسط (۳۵ تا ۶۵ درصد) بود. استفاده از روش درون‌یابی پلی‌گونال کریجینگ توانست اثر نوع کاربری را در تغییرات مکانی کربن آلی خاک نشان دهد؛ اما تغییر چندانی در شاخص‌های کارایی درون‌یابی ایجاد ننمود. ضمن آنکه خطای برآورد در دامنه جنوبی بخش مرتع، به‌دلیل تفاوت زیاد در جهت ناهمسان‌گردی و روند نسبت به واریوگرام پایه، در روش پلی‌گونال کریجینگ بیشتر بود.

واژه‌های کلیدی: کربن آلی خاک، کاربری اراضی، پلی‌گونال کریجینگ، کریجینگ، کوکریجینگ، RBF

مقدمه

امروزه خاک یکی از منابع کلیدی و قابل مدیریت در تولید غذا و زیست‌توده، اصلاح تغییرات اقلیمی (ترسیب کربن اتمسفری)، حفاظت محیط زیست و تولید انرژی‌های زیستی به‌شمار می‌رود (۱۲). به دلیل نقش منحصر به فرد کربن آلی خاک در پایداری نظام تولید و حفظ محیط زیست، مدیریت ماده آلی خاک‌ها در شرایط کشور از اهمیت زیادی برخوردار است. بهبود ماده آلی خاک عمدتاً یک عملیات مدیریتی مکان ویژه است. این سیستم مدیریتی نیازمند شناخت توزیع مکانی صفات و فرآیندهای خاک است. صرف نظر از یک عرصه محدود در سطح کشور، کربن آلی خاک در بیشتر عرصه‌های تولید اعم از مرتع، زراعت و حتی جنگل بسیار کم است.

توزیع مکانی کربن آلی خاک تابعی از عوامل فیزیکی (که تحت تأثیر مقیاس می‌باشد) و کاربری یا مدیریت می‌باشد. بدیهی است داشتن تکنیک‌های مناسب ارزیابی مکانی ماده آلی خاک و نیز تخریب یا ترسیب آن، ضروری است. دست‌یابی به تغییرات مکانی کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف، کمک مؤثری در تفسیر و شبیه‌سازی رفتار اکوسیستم‌های خاکی در مواجهه با تغییرات اقلیمی و زیست محیطی خواهد نمود (۱۶). لاو و همکاران (۷) با نمونه‌برداری سیستماتیک، پراکندگی کربن آلی خاک را در یک جنگل بزرگ نخل روغنی با سه الگوی مدیریتی رایج، با استفاده از کریجینگ نرمال تعیین نمودند. آنها مدل واریوگرام مناسب را از نوع نمایی و یا کروی تشخیص دادند. نتایج آنها نشان داد که نوع مدیریت، متغیر اصلی و تعیین‌کننده در تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک است. آرویوس و همکاران (۱) در تحقیقی، مقدار کربن آلی خاک را در اراضی کشور فرانسه در کاربری‌های مختلف تعیین و نقشه پراکندگی آن را مشخص کردند. آنها نشان دادند که کمترین مخزن کربن آلی خاک

۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه
(*- نویسنده مسئول: Email: yparvizi1360@gmail.com)
۲- دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران
۳- دانشیار سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
۴- استاد گروه مهندسی ماشین های کشاورزی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

در اراضی زراعی و بیشترین آن در کوهستان‌ها می‌باشد.

لیو و همکاران (۹) توزیع کربن آلی خاک را در اراضی زراعی با زمین‌آمار بررسی و اثر فاکتورهای کاربری، خاک و توپوگرافی را در آن به کمک GIS و آمار کلاسیک کمّی نمودند. نتایج آنها نشان داد که مدل نمایی، نیم‌تغیرنمای تجربی را تفسیر می‌نماید. دل و شارپلی (۲) به کمک تکنیک زمین‌آمار نشان دادند فاصله نمونه‌برداری مناسب برای بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک حدود ۳۰۰-۲۰۰ متر است. ژانگ و مک‌گراث (۱۹) تغییرات مکانی کربن آلی خاک را در منطقه‌ای مرتعی در جنوب شرق ایرلند، با روش‌های کریجینگ مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار دادند. در این رابطه، نمونه‌برداری در یک شبکه ۱۰×۱۰ کیلومتر انجام شد و داده‌های پرت را با شاخصی به نام موران I شناسائی و حذف کردند. نتایج آنها نشان داد تلفیق فنون GIS و زمین‌آمار توانایی خوبی در تعیین تغییرات مکانی کربن آلی خاک دارد و زمین شناسی و توپوگرافی، بیش از سایر عوامل بر پراکندگی کربن آلی خاک اثر دارد. وانگ و همکاران (۱۶) غیریکنواختی مکانی کربن آلی خاک و فاکتورهای مؤثر بر آن را تعیین کرده و نشان دادند که کاربری و نوع خاک بیشترین تأثیر را در تغییرپذیری مکانی کربن آلی خاک دارد و اثر ارتفاع منفی است.

وانگ و همکاران (۱۷) اثر عوامل اقلیمی، هندسی و خاکی را در توزیع مکانی کربن آلی خاک بررسی کردند. آنها برای مقایسه عوامل یادشده، از روش تقسیم داده‌ها در واحدهای همگن و مقایسه میانگین با آمار کلاسیک استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مناسب‌ترین روش درون‌یابی، روش کریجینگ معمولی با مدل کروی بود. همچنین فاکتورهای اقلیمی نظیر میانگین بارندگی سالانه و فاکتورهای خاک نظیر درصد رس، بیشترین تأثیر را در توجیه تغییرپذیری کربن آلی داشتند. طی تحقیقی، سیمباهان و همکاران (۱۳) با استفاده از خصوصیات خاک و با رگرسیون چندمتغیره، مقادیر کربن آلی خاک را تخمین زدند. سپس نقشه مقادیر تخمین زده شده را با روش‌های زمین‌آماری کریجینگ معمولی، کوکریجینگ، کریجینگ با روند خارجی و رگرسیون کریجینگ، درون‌یابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ با متغیرهای کمکی هدایت الکتریکی خاک، سطح انعکاس تصاویر ایکونوس و ارتفاع نسبی، دقت بیشتری در برآورد داشت. والدر و همکاران (۱۵) نیز تحقیق مشابهی انجام دادند. با این تفاوت که متغیرهای کمکی بهینه آنها ارتفاع و فاصله از جریان آب زیرقشری بود.

از تکنیک‌های زمین‌آمار در مطالعات خاکشناسی و به‌طور ویژه در درون‌یابی کربن آلی خاک در مقیاس‌های متفاوت، به طور گسترده‌ای استفاده شده است (۵). لیو همکاران (۹) در تحقیقی با استفاده از تکنیک‌های GIS و زمین‌آمار (روش درون‌یابی کریجینگ معمولی)، به بررسی توزیع مکانی کربن آلی خاک با هدف اعمال مدیریت کشاورزی بهتر و بهبود پایداری کاربری اراضی در یک حوزه بزرگ ۳۴۳۵ کیلومتر مربع در چین پرداختند. آنها دریافتند که مدل نمایی، بهترین مدل برای بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک است. حبشی و همکاران (۶) در تحقیقی تغییرات مکانی ویژگی‌های کربن آلی خاک و اسیدیته خاک جنگلی گرگان را با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در یک شبکه سیستماتیک همراه با ترانسکت، مورد مطالعه قرار دادند. آنالیز واریوگرافی مشخص نمود که هر دو متغیر دارای ساختار مکانی می‌باشند که برای اسیدیته، ساختار مکانی قوی و برای ماده آلی ساختار متوسط به‌دست آمد. نتایج تحقیق آنها همچنین نشان داد که بهترین مدل برازش شده برای اسیدیته وکربن آلی خاک، مدل کروی بود. آنها به منظور تعیین دقت تخمین‌های انجام شده، از میانگین مطلق، اریبی و مربعات اشتباهات استفاده کردند که نتایج آنها حاکی از دقت بالای مقادیر تخمین اسیدیته و کربن آلی خاک، توسط روش کریجینگ معمولی بود.

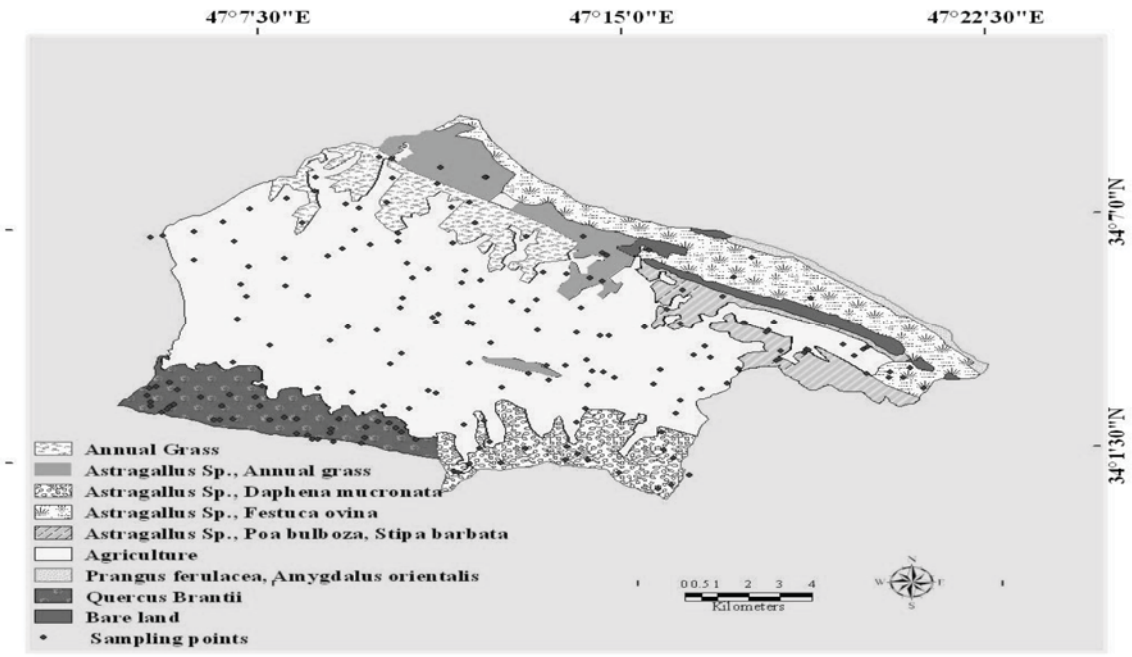
بنابراین تحقیق حاضر با اهداف پهنه‌بندی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در مقیاس حوزه و در کاربری‌های مختلف، در یک حوزه نیمه‌خشک معرف در غرب کشور، با استفاده از چند روش زمین‌آماری طرح‌ریزی و اجرا شد. همچنین توانایی روش پلی‌گونال کریجینگ و مقایسه آن با روش‌های معمول درون‌یابی در بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در یک حوزه با کاربری های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و پتانسیل این روش در تشخیص اثر کاربری در تغییرات کربن آلی خاک بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، یک حوزه نیمه خشک با مساحت ۲۴۲۰۰ هکتار در ۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر کرمانشاه و در میان ارتفاعات کوه سفید در شمال و کوه نسار در جنوب منطقه قرار گرفته است. متوسط ارتفاع این حوزه آبخیز از سطح دریا ۱۶۶۶ متر است. شکل ۱، نقشه پوشش گیاهی و کاربری حوزه را همراه با پراکندگی نقاط نمونه‌برداری نشان می‌دهد.

سیستم نمونه‌برداری به شکل سیستماتیک تصادفی اعمال شد. برای تهیه نقشه واحدهای کاری و نمونه‌برداری، از نقشه‌های طبقه‌بندی اقلیم با روش آمبرژه، شیب، جهت و کاربری استفاده گردید. نمونه‌برداری تکمیلی نیز برای پوشش کامل واحدهای کاری انجام شد. پس از انطباق نقشه‌های یاد شده، برای آن‌که بتوان واحد کاری نقشه مورد نظر را ایجاد کرد، باید حداقل ناحیه تصمیم‌گیری (MDA)[1] با مرزبندی واضح و مطلوب (OLD)[2] یک نقشه مطابقت داده شده و به مقیاس زمینی تبدیل شود.

1- Minimum Decision Area
2- Optimum Legible Delineation



شکل۱- نقشه کاربری و پوشش گیاهی حوزه همراه با پراکندگی نقاط نمونه‌برداری

بر اساس رابطه ۱ به‌طور قراردادی، مرزبندی واضح و مطلوب چهار برابر حداقل مرزبندی واضح (MLD) [1] می‌باشد. برای نقشه‌های تفکیکی که بر مبنای نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ تهیه می‌شود، مقدار MLD برابر ۰/۴ سانتی‌متر است؛ لذا مرزبندی مطلوب ۱/۶ سانتی‌متر مربع می‌باشد.

$$OLD = 4 \times MLD = 4 \times 0.4cm^2 = 1.6cm^2 \qquad (۱)$$

رابطه ۲ تعیین حداقل ناحیه تصمیم گیری(MDA) بر حسب هکتار برای مقیاس‌های مختلف را نشان می‌دهد.

$$MDA = 1.6 \times 10^{-8} \times (S.F)^2 \qquad (۲)$$

در این رابطه، S.F فاکتور مقیاس بر حسب mm^{-1} می‌باشد.

برای نقشه با مقیاس۱:۵۰۰۰۰

$$MDA_{ha} = 1.6cm^2 \times 10^{-8} (ha.m^{-2}) \times (50000_{mm^{-1}})^2 = 40_{ha}$$

بنابراین در این مقیاس، باید در نقشه واحدهای کاری نهایی، مرزبندی‌های با مساحت کمتر از ۴۰ هکتار حذف و در واحدهای کاری بزرکتر ادغام شود.

تحلیل مکانی مبتنی بر تعیین پیوستگی مکانی داده‌ها می‌باشد که کمی کردن این پیوستگی به زبان ریاضی، در تابع پیوستگی صورت می‌پذیرد. در این رابطه، از تحلیل تابع پیوستگی مکانی مربوطه، یعنی نیم‌تغیرنما استفاده شد. در این رابطه، نیم‌تغیرنمای تجربی مربوطه ترسیم شد و مشخصه‌های نیم‌تغییرنما که شامل دامنه، آستانه و اثر قطعه‌ای است، با استفاده از روش اعتبارسنجی تقاطعی تعیین و بهینه شد. در مرحله آنالیز واریوگرافی، آنالیز روند و ناهمسانگردی انجام شد. در صورت وجود روند، با استفاده از تابع مناسب، روند از داده‌ها حذف شد. همچنین ناهمسان‌گردی در هر مدل با استفاده از شکل نیم‌تغیرنما، تعیین و در صورت همسان‌گرد بودن داده‌ها، نیم‌تغییرنمای همه جهته ترسیم گردید و درون‌یابی به کمک آن انجام شد. همچنین در صورت وجود ناهمسان‌گردی، بیضوی ناهمسان‌گردی تعیین و به کمک آن درون‌یابی انجام شد.

در نهایت با تحلیل نیم‌تغیرنمای حاصل برای هر متغیر، میزان پیوستگی مکانی آن مشخص شد. برای داده‌هایی که پیوستگی مکانی داشتند، با استفاده از روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری، داده‌ها درون-یابی شد و نقشه‌های درون‌یابی شده مربوطه ترسیم گردید. برای روش‌های توابع پایه شعاع محور (RBF) [2] و وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) [3]، نوع مدل مناسب و پارامتر بهینه با روش سعی و خطا و با کمینه‌سازی شاخص‌های ارزیابی، در طی فرآیند اعتبارسنجی تقاطعی تعیین گردید. برای ارزیابی و در نتیجه تعیین کارایی روش‌های درون‌یابی، از شاخص‌های میانگین انحراف خطا (MBE) و ریشه دوم میانگین مربع خط (RMSE) استفاده شد.

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(z^*(x_i) - z(xi) \right) \qquad (۳)$$

1- Minimum Legible Delineation

2- Radial Basis Function

3- Inverse Distance Weighting

$$RMSE = \frac{1}{n}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left(z^*(x_i) - z(xi)\right)^2} \quad (۴)$$

که در آنها $z^*(x_i)$ مقدار تخمین زده شده متغیر در x_i، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده متغیر در x_i و n تعداد نقاط اندازه‌گیری شده است. در بررسی‌های زمین‌آماری از نرم افزار ArcGIS 9.3 استفاده گردید.

نتایج و بحث

برخی مشخصه‌های آماری کربن آلی نمونه‌های خاک در جدول ۱ ارائه شده است. تست کولموگروف- سمیرنف (KS)[1]، جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها انجام شد. بررسی توزیع داده‌های کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف با تست مذکور نشان داد که همگی آنها از توزیع نرمال تبعیت می‌کنند. بررسی شاخص‌های آماری چولگی و کشیدگی، که معیاری از توزیع فراوانی داده‌ها است، این نتایج را تأیید می‌کند.

در ابتدا با استفاده از کلیه نمونه‌های اندازه گیری شده کربن آلی خاک، با استفاده از روش‌های درون‌یابی، پراکندگی کربن آلی خاک در حوزه ترسیم گردید. برای انتخاب مناسب‌ترین مدل برازش داده به نیم‌تغییرنمای تجربی، با استفاده از اعتبارسنجی تقاطع، مدل‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین صورت که مدل‌های مختلف با پارامترهای متفاوت انتخاب و هر یک از مدل‌ها که پس از اجرای روش کریجینگ دارای خطای برآورد کمتری بود، به‌عنوان مدل نیم-تغیرنما انتخاب گردید. اطلاعات آنالیز واریوگرافی هر یک از مدل‌ها و مشخصات نیم‌تغییرنمای مربوطه در جدول ۲ ارائه شده است. ارزیابی متقاطع روش‌های درون‌یابی نشان داد که سه روش کریجینگ معمولی، کوکریجینگ با متغیر کمکی درصد آهک و درون‌یابی با استفاده از توابع پایه‌ای شعاع محور (RBF)، بالاترین دقت در درون‌یابی را نشان دادند (شکل ۲).

شایان ذکر است مقادیر قدر مطلق ضریب همبستگی میان خصوصیات خاک افق سطحی، نظیر درصدهای شن، سیلت، رس و آهک، pH، EC، درصد سنگریزه و درصد اشباع، با درصد کربن آلی خاک محاسبه شد. در این میان ضریب همبستگی درصد آهک با کربن آلی خاک (r =-۰/۶۲) دارای بیشترین مقدار بود.

شاخص‌های ارزیابی در بیشتر روش‌های درون‌یابی مورد استفاده از جمله کریجینگ معمولی، IDW، کوکریجینگ و توابع RBF، نشان از ساختار مکانی قابل قبول داشت (جدول ۳). در روش کریجینگ معمولی، مدل نیم‌تغیرنمای نمایی با گام ۸۷۱ متر، مناسب‌ترین مدل بود. در روش درون‌یابی RBF با تابع اسپلین با مقدار پارامتر ۱/۲۹۳۵ بهترین درون یابی را انجام داد. بررسی مقادیر شاخص‌های ارزیابی در روش‌های مختلف نشان داد به‌جز اندکی بیش‌برآورد در روش IDW و مقدار کمی کم‌برآورد در روش کوکریجینگ با مدل نیم‌تغییرنمای گوسی و متغیر کمکی درصد آهک، در کلیه روش‌های درون‌یابی، متوسط خطای برآورد آنها در حدود و یا کمتر از ۰/۰۱ درصد کربن آلی است.

کلیه مدل‌های زمین‌آماری، ساختار مکانی متوسطی را برای توزیع کربن آلی در حوزه و در کاربری‌های مختلف نشان دادند (خطای اندازه‌گیری در همه آنها بین ۳۶ تا ۵۵ درصد). همان‌طور که از شکل ۳ پیداست، توزیع کربن آلی در حوزه در هر دو روش روند مشابهی دارد و بیشتر، تابع کاربری است. در عرصه‌های جنگل و مرتع، کربن آلی به‌طور متوسط بالاتر است و در اراضی حاشیه‌ای به‌تدریج و بعضاً به سرعت کربن آلی خاک تقلیل یافته است.

به دلیل نقش کاربری در توزیع کربن آلی خاک و ماهیت متفاوت کاربری‌ها و سامانه مدیریتی حاکم بر آنها، تعیین تغییرپذیری کربن آلی و تفسیر عوامل آن، بدون در نظر گرفتن نوع کاربری صحیح نیست. لذا در این تحقیق، با تفکیک نوع کاربری، درون‌یابی کربن در هر کاربری و به‌طور مجزا انجام شد. برای این کار ابتدا از یک روش زمین‌آماری، تحت عنوان پلی‌گونال کریجینگ، برای درون‌یابی کربن در کل حوزه استفاده شد. برای درون‌یابی به روش پلی‌گونال کریجینگ ابتدا با استفاده از کلیه داده‌های عرصه، تابع بهینه نیم-تغییرنما برای کربن آلی تعیین گردید. سپس درون‌یابی کربن آلی خاک در هر کاربری به‌طور مجزا با استفاده از نیم‌تغییرنمای فوق و داده‌های نمونه‌های کاربری مزبور، انجام شد و با کنار هم قرار دادن نقشه پراکندگی توزیع کربن در همه کاربری‌ها، نقشه شکل ۴ به‌دست آمد. در این روش خطاهای ناشی از یکنواخت در نظر گرفتن عوامل تغییرپذیری در کاربری‌های مختلف تصحیح می‌گردد و اما از آنجا که دامنه داده‌ها و مقیاس در نظر گرفته شده برای این دامنه در کاربری‌ها متفاوت است، باعث ظاهر شدن تغییرات ناگهانی مرز بین کاربری‌ها شده است.

در مرحله بعد با تفکیک کاربری‌ها، در هر کاربری به‌طور مجزا درون‌یابی با روش بهینه، که با اعتبارسنجی تقاطعی انتخاب می شد (به شرحی که در مواد و روش‌ها به آن اشاره شده است)، انجام شد. درون‌یابی با استفاده از داده‌های هر کاربری به طور مجزا و با تعیین نیم‌تغیرنما با استفاده از داده‌های مزبور، انجام شد. در شکل ۵ توزیع کربن آلی خاک در کاربری‌های مختلف، با استفاده از روش درون‌یابی مناسب آن نشان داده شده است. میزان پیوستگی مکانی و مشخصات نیم‌تغیرنمای هر روش در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

در روش پلی‌گونال کریجینگ، استفاده از واریوگرام پایه در درون‌یابی کاربری‌های مختلف، خطای کم و قابل قبولی داشت؛ اما در بخش مرتع با دامنه شمالی، یعنی بخش‌های جنوبی مراتع حوزه، به طور متوسط خطای کم‌برآوردی در حدود ۰/۳۳ درصد کربن آلی خاک در این عرصه نشان داد. همچنین بیشترین دقت برآورد واریوگرام پایه

1- Kolmogorov-Smirnov

در روش پلی‌گونال کریجینگ، در بخش‌های زراعی بـود کـه حتـی از دقت مدل پایه حدود ۷۰ درصد بیشتر بود (جدول۴).

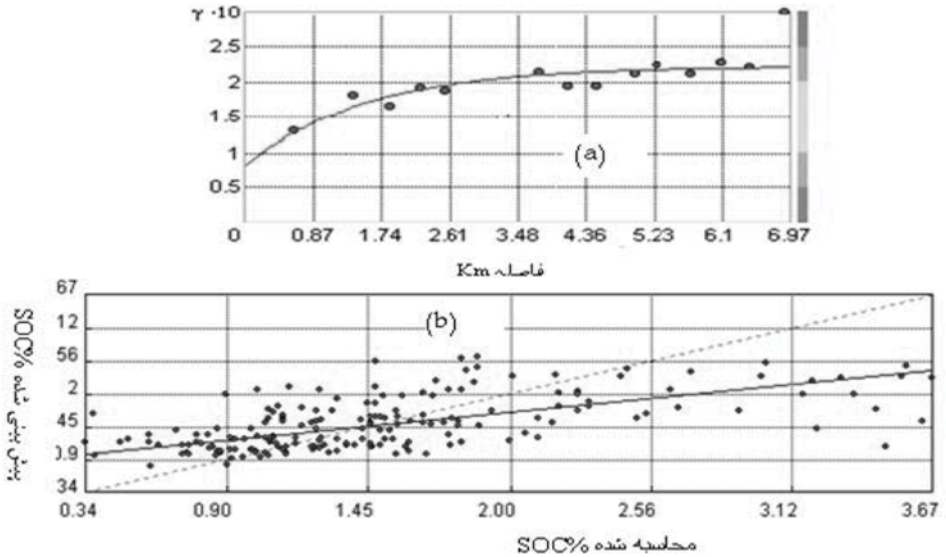
جدول ۱- برخی شاخص‌های آماری داده‌های کربن آلی خاک در کل حوزه و کاربری های مختلف

شاخص آماری	نوع کاربری			
	کل حوزه	زراعت	مرتع	جنگل
حداکثر(٪)	۰/۳۴	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۱۵
حداقل(٪)	۳/۶۷	۳/۷۲	۳/۵۵	۳/۶۷
میانگین(٪)	۱/۵۲	۱/۲۹	۲/۰۵	۱/۶۳
واریانس	۰/۵۱	۰/۲۹	۰/۷۶	۰/۸۲
انحراف معیار	۰/۷۱	۰/۵۴	۰/۸۷	۰/۹۱
ضریب تغییرات (٪)	۴۷	۴۲	۴۳	۵۶
چولگی	۱/۱۹	۰/۴۰	۰/۰۳	۰/۶۰
کشیدگی	۱/۱۵	۳/۲۵	-۰/۹۶	۰/۰۶
خطای استاندارد میانگین	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۳	۰/۱۴

جدول۲- مشخصات نیم‌تغییرنما و شاخص‌های ارزیابی روش‌های زمین‌آماری به‌کار رفته در درون‌یابی کربن آلی خاک در کل حوزه

روش درون‌یابی	مدل نیم‌تغییرنما	شعاع همبستگی (متر)	ناهمسانگردی	آستانه	واریانس قطعه‌ای	خطای اندازه-گیری (٪)	MBE	RMSE
کریجینگ معمولی	نمایی	۵۵۸۲	ندارد	۰/۱۳۰۳۱	۰/۰۷۹۹	۳۷	۰/۰۰۱۳	۰/۵۷
	گوسی	۵۰۸۰	ندارد	۰/۱۱۰۳۱	۰/۰۹۵۶	۴۶	-۰/۰۰۳	۰/۵۷
	کروی	۵۰۸۰	ندارد	۰/۰۹۲	۰/۱۰۶	۵۴	-۰/۰۱۴	۰/۵۸
کوکریجینگ	نمایی	۶۰۴۰	دارد	-۲/۰۴۵	-*	۴۹	۰,۰۰۱۹۹	۰/۶۲
	گوسی	۶۰۴۰	ندارد	-۲/۰۹	-	۵۰	-۰/۰۳۱	۰/۶۳
	کروی	۶۰۴۰	ندارد	-۲/۰۹	-	۵۰	-۰/۰۱۷	۰/۶۲۵

*: روش فاقد این شاخص است.

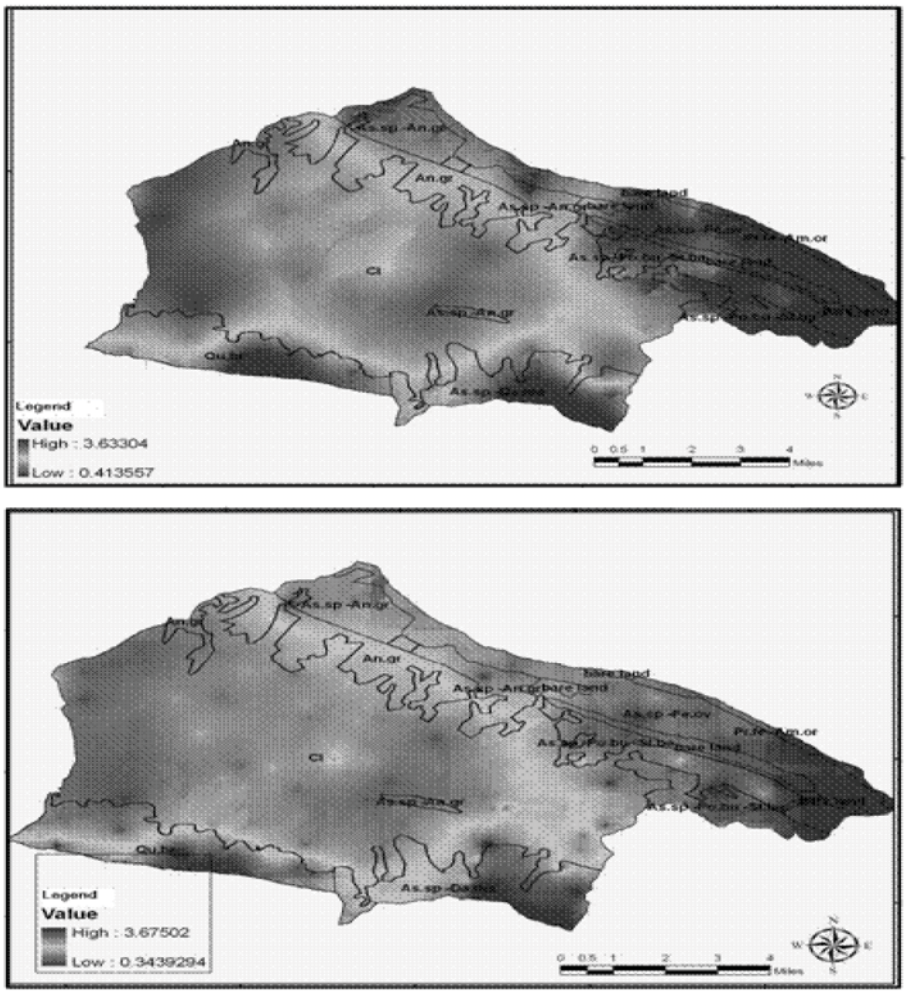


شکل ۲- مشخصات نیم‌تغییرنما (a) و نمودار پخشی مقادیر برآوردی در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده (b) در روش درون‌یابی کریجینگ معمولی برای داده‌های کربن آلی خاک در کل حوزه

جدول ۳- ارزیابی روش‌های درون‌یابی به منظور برآورد کربن آلی خاک

روش درون‌یابی	مدل یا تابع بهینه	MBE	RMSE	خطای اندازه گیری(٪)	ملاحظات
IDW	-	۰/۰۲۰۵	۰/۶۶	-*	پارامتر توان ۱/۲
RBF	Spline with tension	-۰/۰۰۶۶	۰/۶۳	-	پارامتر بهینه ۱/۲۹۳۵
کریجینگ معمولی	Exponential	۰/۰۰۱۳	۰/۵۷	۳۷	-
کوکریجینگ	Exponential	۰/۰۰۱۹۹	۰/۶۲	۶۹	متغیر کمکی درصد آهک

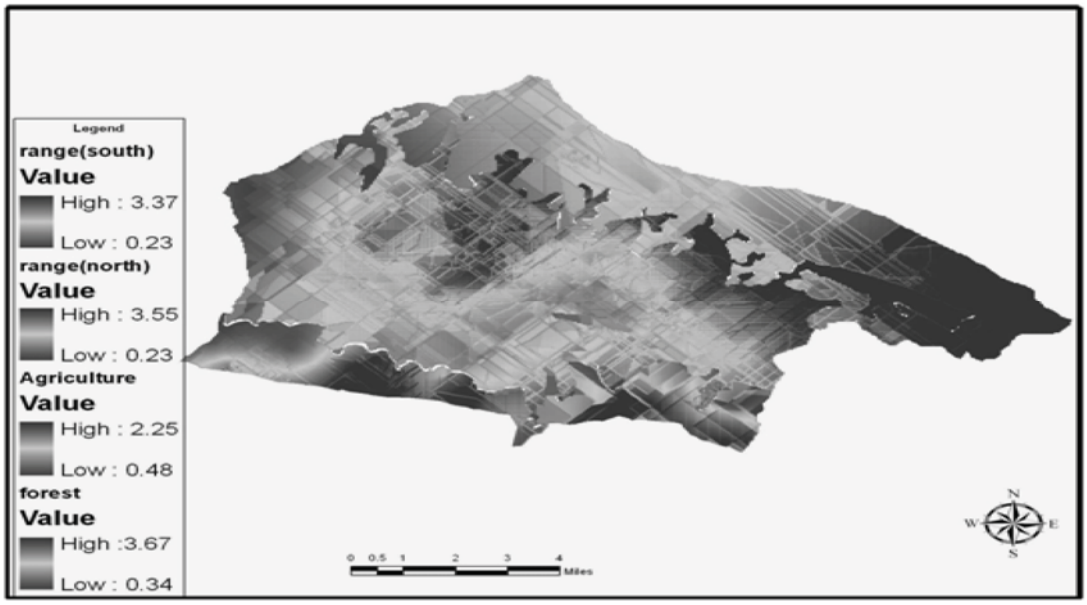
*: روش فاقد این شاخص است.



شکل ۳- نقشه پراکندگی کربن آلی خاک در کل حوزه با استفاده از OK (a) و RBF (b)

جدول ٤- شاخص‌های ارزیابی روش درون‌یابی پلی‌گونال کریجینگ در کاربری‌های مختلف

نوع کاربری	MBE	RMSE
زراعت	-۰/۰۰۶۱	۰/۳۷
مرتع دامنه جنوبی	۰/۰۱۹۸	۰/۶۸
مرتع دامنه شمالی	-۰/۳۲۷	۱/۲۱
جنگل	-۰/۰۱۹۴	۰/۶۹



شکل ٤- نقشه پراکندگی توزیع کربن آلی خاک با استفاده از پلی‌گونال کریجینگ

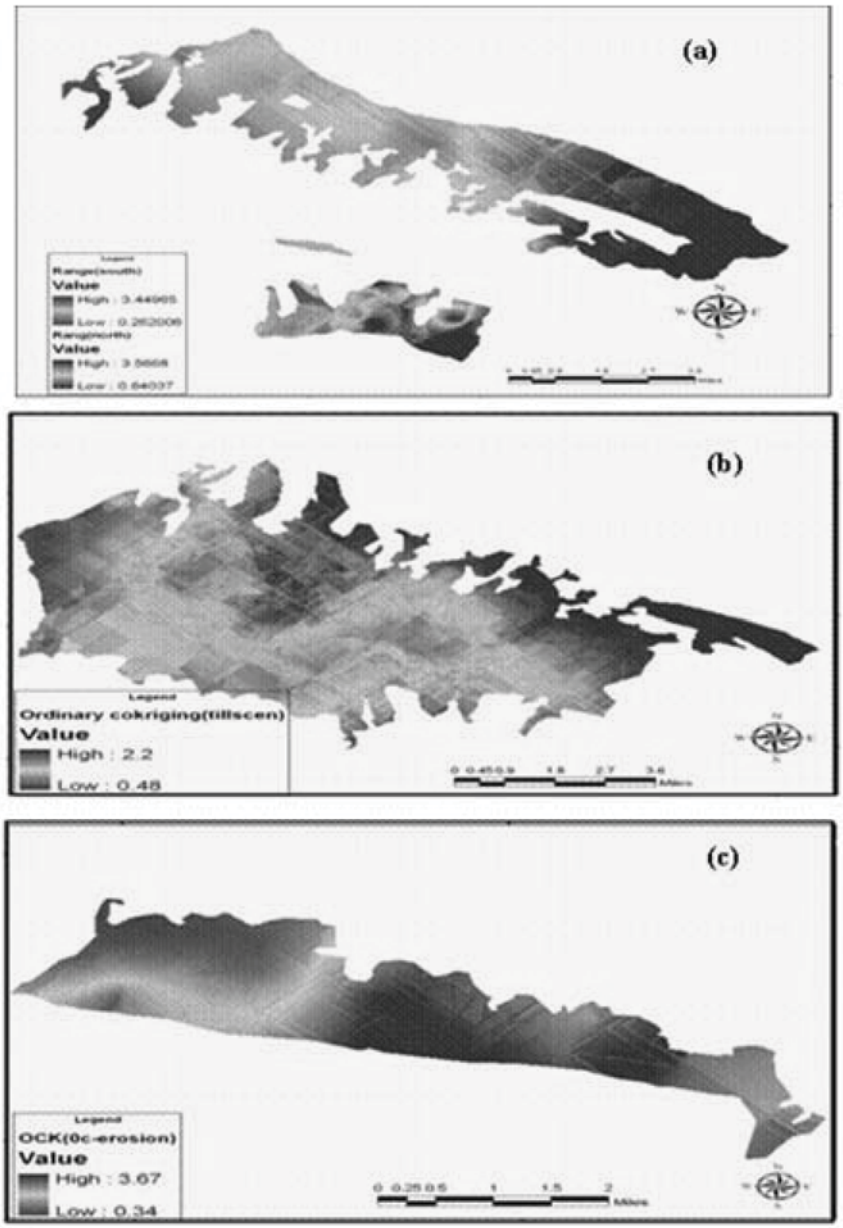
جدول ٥- مشخصات مدل برازش شده در روش درون‌یابی کوکریجینگ در کاربری‌های مختلف

نوع کاربری	متغیر کمکی	مدل تغییرنما	ناهمسان‌گردی	شعاع همبستگی	MBE	RMSE	خطای اندازه گیری(%)
زراعت	شاخص خاک‌ورزی	نمایی	ندارد	۳۵۰۰	-۰/۰۰۲	۰/۳۳	۶۰
مرتع(دامنه شمالی)	سنگریزه سطحی	نمایی	دارد	۳۸۰۰	۰/۰۲	۰/۵۸	۶۴
مرتع(دامنه جنوبی)	پوشش آسمانه	نمایی	دارد	۴۱۰۰	۰/۰۰۳	۰/۵۸	۵۳
جنگل	کلاس فرسایش	نمایی	دارد	۲۵۰۰	۰/۰۰۸	۰/۶۵	۳۲

در هر سه کاربری، روش کوکریجینگ بهترین برآورد یا درون‌یابی را انجام داده است؛ با این تفاوت که بهترین متغیر کمکی برای درون‌یابی در کاربری‌های زراعت، مرتع و جنگل، به‌ترتیب کمیت یا شاخص الگوی خاک‌ورزی (۴)، مقادیر حجمی سنگ‌ریزه سطحی و کلاس فرسایش خاک بود. متغیرهای یاد شده از میان ۲۷ متغیر فیزیکی و مدیریتی در کاربری های مختلف، دارای بیشترین قدر مطلق ضریب همبستگی با کربن آلی خاک بودند؛ لذا به‌عنوان متغیر کمکی توانستند شاخص‌های ارزیابی را در روش درون‌یابی کوکریجینگ ارتقا بخشند.

در کلیه روش‌های درون‌یابی زمین‌آماری، مدل نیم‌تغیرنمای نمایی حداقل خطای برآورد را نسبت به مدل‌های دیگر نشان داد. انتخاب پارامتر گام در مراحل ارزیابی متقاطع نشان داد که گام بهینه برای همه روش‌های درون‌یابی و در کاربری‌های مختلف بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بود. با توجه به اینکه متوسط فاصله نقاط نمونه‌برداری در همین بازه قرار داشت، این امر نشان می‌دهد که الگوی نمونه‌برداری برای ترسیم سیمای توزیع کربن آلی در مقیاس مورد نظر مناسب بوده است. از این نظر دامنه جنوبی بخش مرتعی مستثنی بود که با اعمال گام با فواصل تا ۴۸۰ متر نیز تغییر در خطای برآورد و دقت تخمین مشاهده می‌شد؛ ولی خطای برآورد در حد قابل قبولی برای تخمین بود. مقدار دامنه تغییرات در کلیه روش‌های برآورد، حدود نصف گام در نظر گرفته شد.

همان‌گونه که از ساختار توزیع کربن آلی در حوزه پیداست، عرصه‌های زراعی نقاط ریسک یا بحرانی کربن آلی خاک می باشد. این شرایط در بخش‌های جنوب غربی، که دارای دامنه‌های با جهت شمالی می‌باشند، بحرانی‌تر است. همچنین در اراضی حاشیه‌ای، در کلیه روش‌های درون یابی تقلیل تدریجی در کربن آلی خاک با حرکت به سمت بخش‌های زراعی مشهود است. این تغییر حتی در زمانی که داده‌های بخش‌های مرتع و زراعت به طور مجزا و بدون دخالت داده‌های کاربری زراعت برای درون‌یابی استفاده شدند، مشهود بود (شکل ۵). همه این شواهد مؤید این مطلب است که اثرات دخالت عوامل انسانی و مدیریتی بر عوامل فیزیکی و اقلیمی کاملاً غلبه یافته و برای ترسیم تغییرپذیری کربن خاک در حوزه و تعیین عوامل اصلی در این تغییر پذیری باید ردپای عوامل مدیریتی را دنبال نمود.



شکل ۵- نقشه های توزیع کربن آلی خاک در کاربری های مرتع (a)، زراعت (b) و جنگل (c) با استفاده از روش‌های درون‌یابی کوکریجینگ معمولی

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش پلی‌گونال کریجینگ، در مقایسه با دیگر روش‌های درون‌یابی مورد استفاده در این تحقیق، با حذف هموارسازی‌هایی که ایجاد نویز در درون‌یابی نقاط بین دو کاربری مختلف می‌کند، مرز پیوسته بین داده‌ها را از بین می‌برد. ضمناً باید دقت کرد که در استفاده از این روش، روند واریوگرافی در هر پلی‌گون نسبتاً یکنواخت باشد، یا به بیان دیگر، عوامل تغییرپذیری در جهت یکسانی عمل نمایند. در غیر این صورت، تفاوت شدید در ساختار مکانی متغیر در پلی‌گون‌های مختلف، خطای درون‌یابی را زیاد می‌کند. به‌عنوان مثال، در مرتع دامنه جنوبی مقدار خطای تخمین به همین دلیل زیاد شده است. روش‌های زمین‌آماری درون‌یابی کریجینگ معمولی و کوکریجینگ قادر بودند با کارایی بیشتر و دقیق‌تری، سیمای توزیع کربن آلی را برای کل حوزه و نیز برای کاربری‌های منفک، نسبت به سایر روش‌ها، ترسیم نمایند. این نتایج با یافته‌های ژانگ و مک‌گراث (۱۹) هم‌خوانی دارد.

مدل نیم‌تغیرنمای مناسب در کلیه درون‌یابی های زمین‌آماری، مدل نمایی بود. این نتیجه با نتایج لیو و همکاران (۹) منطبق بود. این

درحالی است که حبشی و همکاران (۶) مدل کروی را مناسب تشخیص داده بودند؛ ولی خطای اندازه‌گیری در تخمین‌های آنها بیش از خطای اندازه‌گیری تحقیق حاضر در روش کریجینگ معمولی بود. گام بهینه برای همه روش‌های درون‌یابی و در کاربری‌های مختلف بین ۷۰۰ تا ۱۰۰۰ متر بود. این نتایج با یافته‌های لارک (۸) که فاصله ۶۰۰ تا ۸۰۰ متر را پیشنهاد می‌کند، نسبتاً هم‌خوانی دارد. این درحالی است که در یک تحقیق که دل و شارپلی (۲) انجام دادند، فاصله نمونه‌برداری مناسب برای بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک حدود ۳۰۰ متر تعیین شد.

در کلیه کاربری‌ها و در شرایطی که از داده‌های منفک آن کاربری جهت درون‌یابی استفاده می‌شد، روش کوکریجینگ موفق‌ترین روش در درون‌یابی کربن آلی خاک به کمک متغیرهای کمکی مدیریتی، نظیر الگوی خاک‌ورزی، متغیرهای پوشش سطحی و کلاس فرسایش خاک، بود. این نتایج با یافته‌های سیمباهان و همکاران (۱۳) منطبق بود؛ با این تفاوت که متغیر کمکی بهینه مورد استفاده ایشان هدایت الکتریکی خاک بود.

در این تحقیق، مقایسه نتایج در روش‌های مختلف درون‌یابی در کاربری‌های مختلف نشان داد که تأثیر نوع مدیریت رایج در هر کاربری، ضرورتی قطعی برای تبیین عوامل تغییرپذیری کربن آلی خاک در حوزه است؛ لذا تجزیه و تحلیل و آنالیز داده‌ها برای ردیابی عوامل این تغییرپذیری و شبیه‌سازی آن بایستی در هر کاربری به‌طور منفک انجام شود. این درحالی است که وانگ و همکاران (۱۷) بیان نمودند که نوع اقلیم و خاک، متغیرهای اصلی در روندیابی پراکندگی کربن آلی خاک در سطح حوزه هستند. البته همین محققین در یک‌سال بعد نتیجه گرفتند که باید نوع کاربری را در رتبه اول متغیرهای تأثیر گذار در تغییرپذیری کربن آلی خاک دانست (۱۶).

بررسی‌های میدانی و جمع‌آوری اطلاعات از اختصاصات مدیریتی حاکم بر هر کاربری نشان داد که شاکله مدیریت مرسوم در هر کاربری بسیار متفاوت از دیگر کاربری است؛ لذا رویکرد تحقیقی آتی بایستی با تکیه بر نوع کاربری و با شناخت شاکله سناریوهای مدیریتی هر کاربری انجام شود تا هم دقت درون‌یابی بیشتر شود و هم به شناخت عوامل تغییرپذیری کربن در حوزه کمک شود. همچنین توصیه می‌شود مطالعه هم‌زمان تغییرات مکانی و زمانی کربن آلی خاک، جهت روندیابی دینامیک کربن آلی خاک و بررسی اثرات مدیریت‌های مختلف در آن، صورت پذیرید.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت دانشگاه تهران و همکاری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمانشاه به انجام رسید که بدین وسیله از همراهی و مساعی ایشان کمال تشکر را داریم.

منابع

1- Arrouays D., Deslais W., and Badeau V. 2001. The carbon content of topsoil and its geographical distribution in France, Soil Use and Management, 17: 7-11.
2- Dell C.J., and Sharpley A.N. 2006. Spatial variation of soil organic carbon in a northeastern U.S. watershed. Journal of Soil and Water Conservation, 61(3):129-136.
3- EPA. 2004. Developing spatially interpolated surfaces and estimating uncertainty. U.S. Environmental Protection Agency. Technical report, 454/R-04-004.
4- Ferraro D.O., and Ghersa C.M. 2007. Quantifying the crop management influence on arable soil condition in the Inland Pampa (Argentina), Geoderma, 141:43–52.
5- Frogbrook Z.L., and Oliver M.A. 2001. Comparing the spatial predictions of soil organic matter determined by two laboratory methods, Soil Use and Management, 17:235– 244.
6- Habashi H., Hosseini M., Mohammadi J., and Rahmani R. 2007. Geostatisyic application in soil science study of forest regions, Journal of Agriculture and Natural Resources Science, 14(1):1-10. (In Farsi)
7- Law M.C., Balasundram S.K., Husni M.H.A., Ahmed O.H., and Harun M.H. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in oil palm, International Journal of Soil Science, pp. 1816-4978.
8- Lark R.M. 2002. Optimized spatial sampling of soil for estimation of the variogram by maximum likelihood. Geoderma, 105:49–80.
9- 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.
10- Mohammadi J. 2007. *Pedometrics: geostatistics*. Tehran: Pelk, Iran, (In Farsi)
11- Saldana A., Stein A., and Zinck J.A. 1998. Spatial variability of soil properties at different scales within three terraces of the Henare River (Spain), *Cantena*, 33:139–15
12- Schnitzer M., and Khan S.U. 1989. Soil organic matter. Developments in Soil Science (8th ed.) New York: Elsevier Science
13- Simbahan G.C., Doberm A., Goovaerts P., Ping J., and Haddix M.L. 2006. Fine-resolution mapping of soil

organic carbon based on multivariate secondary data, Geoderma, 132:471–489.
14- Sparling G.P., Wheeler D., Wesely E.T., and Schipper L.A. 2006. What is soil organic matter worth?, Journal Environmental Quality, 35:548–557.
15- Walder K., Walder O., Rinklebe J., and Menz J. 2008. Estimation of soil properties with geostatistical methods in floodplains, Archive of Agronomy and Soil Science, 54(3):275-295.
16- Wang Y., Zhang X.C., Zhang J.L., and Li S.J. 2009. Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the loess plateau, Pedosphere, 19(4): 486–495.
17- Wang Z.M., Zhang B., Song K.S., Liu D.W., Li F., Guo Z.X., and Zhang S.M. 2008. Soil organic carbon under different landscape attributes in croplands of Northeast China, Plant Soil Environment, 54(10): 420–427.
18- Webster R., and Oliver M.A. 2007. Geostatistics for environmental scientists. Second Edition. New York: Wiley
19- Zhang X.C., 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

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 162-172

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۱، ص. ۱۷۲-۱۶۲

Spatial Variability Delineation of Soil Organic Carbon in Different Land Use Type of a Semi-arid Watershed

Y. Parvizi[1*]- M. Gorji[2]- M.H. Mahdian[3]- M. Omid[4]

Received: 30-5-2011
Accepted: 2-9-2011

Abstract

Soil organic carbon (SOC) is a very important component of soil that supports sustainability and quality in all ecosystems, especially in semi-arid region, and is so important for climate change mitigation. This study was conducted to determine optimum interpolation method for draw SOC spatial variability in a semi-arid region from west of Iran. Cross validation results indicated that ordinary Kriging, Co-Kriging with calcareous percent as secondary variable and RBF with Spline with tension function and optimized parameters, were more efficient to interpolate SOC contents when all data in all land use were applied for interpolating. After division land uses, best interpolation methods were co-Kriging with secondary variable included: surface gravel percent, calcareous percent and soil degradation classes for rangelands, agriculture and forest lands respectively. Exponential model was suitable semivariogram model for all geostatistical methods in all land use types. Optimum lag size and measurement errors in all methods were 750 to 1000 meters and 35-65%, respectively. Application of polygonal Kriging analyses spatial structure of SOC with land use discrimination and abrupt borders between different land use types. But polygonal Kriging did not improve efficiency indices in interpolation, significantly. Estimation error specially increased in south part of ranges because of differences in anisotropy direction and trend existence from data in this location and base variogram in polygonal Kriging.

Keywords: Soil organic carbon, Land use, Polygonal Kriging, Kriging, Co-Kriging and RBF

1- Assistant Professor, Agriculture and Natural Resource Research Center of Kermanshah
(*- Corresponding Author: yparvizi1360@gmail.com)
2- Associate Professor Department of Soil Science Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University of Tehran
3- Associate Professor, AEERO, Tehran
4- Professor, Department of Agriculture Machinery, Faculty of Agricultural Engineering, University of Tehran