



مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد نوزدهم، شماره دوم، ۱۳۹۱

<http://jwfst.gau.ac.ir>

تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیب‌دار لسی منطقه توشن استان گلستان

***ابوالفضل بامری^۱، فرهاد خرمالی^۲، فرشاد کیانی^۳ و امیراحمد دهقانی^۴**

^۱دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آدانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه علوم خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۳/۱

چکیده

در این پژوهش روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آماری برای تعیین تغییرات مکانی کربن آلی خاک در ارتباط با عامل پستی و بلندی و اجزا مختلف یک شیب در اراضی تپه ماهوری و لسی منطقه توشن استان گلستان مورد استفاده قرار گرفت. سه روش زمین‌آماری کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله، در این مطالعه استفاده و مورد ارزیابی قرار گرفت. به این منظور تعداد ۲۳۴ نمونه به‌صورت سیستماتیک و منظم از اجزا مختلف شیب تهیه شد. معیار ارزیابی در این پژوهش مقادیر میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده از روش اعتبارسنجی متقابل بود. نتایج نشان داد که در تخمین کربن آلی خاک در کل تپه ماهوری کوکریجینگ معمولی با متغیر کمکی رس و مقادیر RMSE برابر با ۰/۲۵۵۲ نسبت به دو روش کریجینگ و روش وزن‌دهی معکوس فاصله نتایج بهتری ارائه می‌دهد. نقشه درونیابی شده کربن آلی کل موقعیت شیب نشان داد که با افزایش ارتفاع و درجه شیب مقدار کربن آلی خاک کم‌تر شده است. نسبت همبستگی مکانی کربن آلی برای موقعیت‌های مختلف شیب متفاوت بود که این الگوها کاملاً به ساختار توپوگرافی وابسته بود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌آمار، لس، کربن آلی خاک، توشن، توپوگرافی

* مسئول مکاتبه: abolfazl_bamery@yahoo.com

مقدمه

اخیراً به دلیل نقش حیاتی کربن آلی خاک در چرخه جهانی کربن و قابلیت آن در تعدیل یا تشدید انتشار گازهای گل‌خانه‌ای، مطالعات بر روی ذخایر کربن آلی خاک متمرکز شده و استفاده و توسعه تکنولوژی برای کاهش غلظت روز افزون CO₂ اتمسفر به مهم‌ترین مشکل قرن ۲۱ تبدیل شده است (لل، ۲۰۰۸). ذخایر کربن آلی خاک در مقیاس جهانی در حدود ۱۵۰۰-۱۴۰۰ پتاگرم کربن (۱ پتاگرم = ۱۰^{۱۵} گرم) در ۱۰۰ سانتی‌متری لایه سطحی خاک برآورد می‌شود که ۲ برابر میزان کربن موجود در اتمسفر و ۳ برابر میزان کربن موجود در پوشش گیاهی سطح زمین می‌باشد (اسمیت، ۲۰۰۴)، بنابراین کاهش در میزان کربن آلی خاک در نتیجه ایجاد تغییرات در مدیریت و کاربری اراضی و یا وجود فرسایش خاک می‌تواند به طور قابل توجهی انتشار CO₂ به اتمسفر را افزایش دهد.

به طوری که طی ۲۵۰ سال گذشته، تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین موجب انتشار ۲۰۰ پتاگرم کربن به اتمسفر شده است (اسکولز و نوبل، ۲۰۰۱). فیتزسیمونس و همکاران (۲۰۰۴) تغییر کاربری اراضی را پس از سوخت‌های فسیلی مهم‌ترین منبع انتشار کربن از طریق انسان به اتمسفر می‌دانند. این در حالی است که قابلیت عملکرد خاک در مورد حفظ و ترسیب کربن برای کمک به کاهش هدررفت CO₂ از خاک ۰/۹-۰/۴۵ پتاگرم کربن در سال در مقیاس جهانی می‌باشد. ارزیابی دقیق تغییرات مکانی و ذخایر کربن آلی خاک در مقیاس‌های ملی و محلی، گام مؤثر و ضروری برای مدیریت کربن آلی خاک می‌باشد (لل، ۲۰۰۴).

عوامل بسیاری مانند توپوگرافی، کاربری اراضی، نوع خاک، مدیریت اراضی و پوشش گیاهی تغییرات مکانی کربن آلی را در مقیاس‌های مختلف کنترل می‌کنند. بررسی و ارزیابی این ناهمگنی‌های کربن آلی می‌تواند درستی برآورد ذخایر کربن آلی را بهبود ببخشد و ما را در پیاده‌سازی پیمایش مؤثر ذخایر کربن آلی یاری دهد. در سال‌های اخیر، پژوهش‌های زیادی برای تعیین تغییرات مکانی کربن آلی خاک در جهان ایجاد شده است و نتایج این پژوهش‌ها نشان داده‌اند که در مقیاس جهانی، تنوع اقلیم اولین عامل کنترل‌کننده میزان کربن آلی خاک و سرعت چرخه آن می‌باشد و توپوگرافی دومین عامل کنترل‌کننده در یک منطقه مشخص می‌باشد (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹). توپوگرافی با تأثیر بر توزیع آب و میزان انرژی دریافتی از عوامل مهمی است که در فواصل کوتاه تأثیر زیادی بر تغییرپذیری ویژگی‌های خاک از جمله کربن آلی خاک دارد. به دلیل ارتباط نزدیک بین ویژگی‌های توپوگرافی مانند شیب، جهت شیب و انحنای شیب ارتباط نزدیکی وجود دارد و همین حقیقت باعث شده است که

محققان زیادی در شرایط مختلف از عوامل خاک‌سازی، برای تخمین و تعیین میزان کربن آلی از ویژگی‌های توپوگرافی استفاده کنند.

اسکانیگ و همکاران (۲۰۰۶) برای تجزیه و تحلیل پراکنش مکانی کربن در جنگل‌های سرپا^۱ مطالعه‌ای را بر روی لويسول‌های توسعه‌یافته لس‌های تورینگا آلمان انجام دادند آن‌ها با نمونه‌برداری از لایه لاش‌برگ و بخش فعال خاک (سولوم^۲) خاک مشاهده کردند که پراکنش کربن در لایه لاش‌برگ بدون الگوی مکانی می‌باشد، در حالی که نیم‌تغییرنا ذخیره کربن آلی در عمق ۱۲-۰ سانتی‌متر و عمق بیش‌تر از ۱۲ سانتی‌متر سولوم دارای دامنه تأثیر کم‌تر از ۵/۴ متر می‌باشد.

وانگ و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در مزارع تک‌کاشت ذرت مشاهده کردند که غلظت کربن آلی خاک دارای توزیع نرمال و میانگین حسابی ۱۴/۹۱ گرم بر کیلوگرم می‌باشد و و بهترین مدل برازش داده شده برای کربن آلی، مدل کروی بود.

یافنگ وانگ و همکاران (۲۰۱۰) تأثیر کاربری اراضی را روی تغییرات مکانی کربن آلی در تپه‌های لسی حوزه یانگجئونگو بررسی کردند و نتیجه گرفتند میزان کربن آلی با افزایش عمق در همه کاربری‌ها کاهش می‌یابد و مقدار کربن آلی را در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک پنج کاربری از بیش‌ترین به کم‌ترین به‌ترتیب در جنگل، باغ، مرتع، جنگل نوپا و مزارع شیب‌دار مشاهده کردند.

اسچوانگارت و جارمر (۲۰۱۱) از روش‌های زمین‌آمار و مدل رقومی پستی و بلندی برای تعیین ارتباط الگوی مکانی کربن آلی خاک با توپوگرافی استفاده کردند. این محققان مشاهده کردند که تغییرات مکانی در مقیاس کوچک، در اراضی با شیب‌های تند و بستر دره‌ها زیاد بوده، در حالی که پراکندگی کربن آلی خاک در مناطق پایین‌دست با پوشش گیاهان جالیزی به‌نسبت همگن بود.

اراضی شیب‌دار لسی استان گلستان به‌دلیل، عمیق بودن خاک، شکل منحصربه‌فرد زمین‌نما، تغییر کاربری وسیع از جنگل تا زراعی و فرسایش شدید دارای اهمیت خاصی هستند. اکوسیستم بسیار شکننده این اراضی، که به‌شدت به تغییرات کاربری اراضی حساس هستند، نقش اساسی در ذخایر کربن آلی منطقه ایفا می‌نماید.

به‌منظور برآورد دقیق ذخایر کربن آلی و توسعه کشاورزی پایدار و حفاظت و بازیابی اکوسیستم‌های موجود در اراضی شیب‌دار لسی، بررسی تغییرات مکانی کربن آلی در موقعیت‌های مختلف شیب ضروری به‌نظر می‌رسد. در استان گلستان، به‌طور کلی اطلاعات کمی و کیفی اندکی درباره تغییرات مکانی

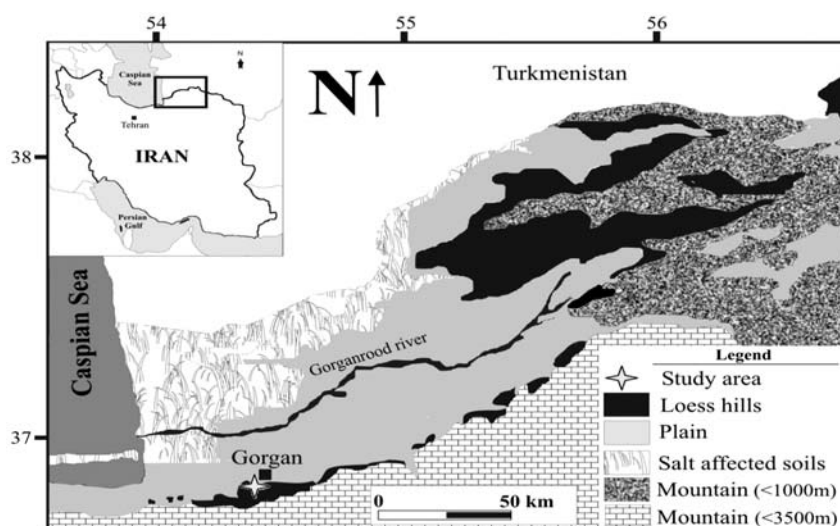
1- Standing Forest

2- Solum

کربن آلی خاک در سطوح زمین‌نما در دسترس می‌باشد که توانایی ما را برای ارزیابی ذخایر کربن آلی و پیش‌بینی پاسخ اکوسیستم به تغییرات محیطی کاهش می‌دهد. این پژوهش با هدف مطالعه ۱- تأثیر موقعیت‌های مختلف شیب بر روی کربن آلی خاک و ۲- مقایسه سه تخمین‌گر کریجینگ، کوکریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله برای پهنه‌بندی کربن آلی در موقعیت‌های مختلف شیب تپه انجام شد.

مواد و روش‌ها

حوضه توشن یکی از زیرحوضه‌های بزرگ قره‌سو در استان گلستان بوده که در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۶ دقیقه شمالی و در حدواسط حوضه زیارت و حوضه آبخیز انجیرآب واقع شده است. میانگین دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای حداقل متوسط و حداکثر متوسط به ترتیب ۸ و ۲۳/۳ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارندگی سالانه کل حوضه برابر با ۶۵۲ میلی‌متر و ارتفاع متوسط حوضه ۳۹۷ متر می‌باشد. بیش‌ترین ارتفاع حوضه توشن ۱۵۰۰ متر و کم‌ترین آن ۴۰ متر می‌باشد. حوضه مورد مطالعه از نظر جغرافیایی در محدوده البرز مرکزی و در زون گرگان- رشت واقع شده است. بیش‌تر رسوبات حوضه مربوط به دوره کواترنر بوده که مهم‌ترین رسوبات این دوره در این استان و این حوضه رسوبات لسی است (شکل ۱).



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه.

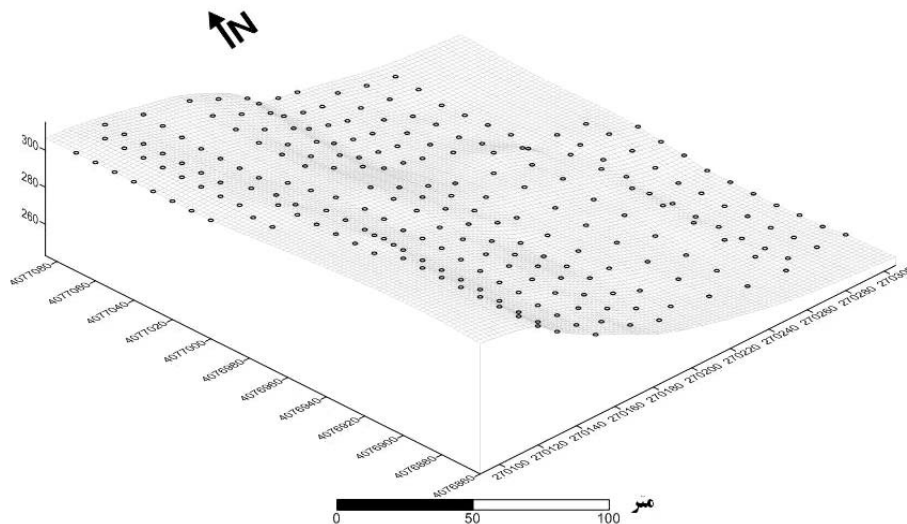
به منظور بررسی اثر موقعیت‌های مختلف شیب بر روی تغییرات مکانی کربن آلی خاک، یک شیب مناسب با ۵ موقعیت: قله‌شیب^۱، شانه‌شیب^۲، شیب‌پستی^۳، پای‌شیب^۴ و پنجه‌شیب^۵ با کاربری زراعی در این منطقه انتخاب شد. مطالعه تکامل پروفیل خاک در موقعیت‌های مختلف شیب نشان داد که خاک‌های این موقعیت‌ها دارای تکامل کمی هستند و رده اینسپتی‌سولز^۶ طبقه‌بندی شدند. به منظور انجام مطالعات زمین‌آماری، نمونه‌برداری به طریق سیستماتیک منظم صورت گرفت. به صورتی که ابتدا با استفاده از دوربین نقشه‌برداری خطوط پستی و بلندی منطقه مورد مطالعه محاسبه شد و سپس با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10 مساحت هر موقعیت شیب محاسبه و میزان و فواصل نمونه‌برداری در موقعیت‌های مختلف شیب تعیین شد. در تیرماه ۱۳۸۹ نمونه‌برداری خاک به صورت شبکه‌بندی سیستماتیک- منظم در ابعاد ۱۰×۱۵ متر و ۲۰×۲۰ متر از عمق ۲۰-۰ سانتی‌متری در ۵ موقعیت شیب انجام و موقعیت هر یک از نقاط روی زمین‌نما در صحرا هنگام نمونه‌برداری تعیین شد. در نهایت تعداد ۲۳۴ نمونه از منطقه موردنظر برداشت گردید. سپس نمونه‌های تهیه شده در مجاورت هوای آزاد خشک و به نرمی کوبیده شده و از الک (۱۰ mesh) ۲ میلی‌متری عبور داده شد. شکل ۲ موقعیت نمونه‌ها را در منطقه مطالعاتی نمایش می‌دهد. در جدول ۱ مساحت و تعداد نمونه‌برداری در هر یک از موقعیت‌های شیب ارائه شده است.

در این مطالعه ارزیابی پایداری خاک‌دانه‌ها به روش الک مرطوب و سنجش میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها (کمپر و روسنا، ۱۹۸۶)، وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه (براشر و همکاران، ۱۹۶۶)، کربن آلی با اکسیداسیون توسط دی‌کرومات پتاسیم (نلسون، ۱۹۸۲) و بافت خاک با روش هیدرومتری (بویوکوس، ۱۹۶۲) تعیین گردیدند.

جدول ۱- مساحت و تعداد نمونه‌برداری در هر یک از موقعیت‌های شیب.

موقعیت	پنجه‌شیب	پای‌شیب	شیب‌پستی	شانه‌شیب	قله‌شیب	کل
مساحت (مترمربع)	۸۴۲۵	۱۱۳۲۱	۹۰۴۵	۸۱۶۶	۴۱۲۹	۴۱۰۸۶
تعداد نمونه برداشت شده	۵۱	۵۲	۵۱	۴۶	۳۴	۲۳۴

- 1- Summit
- 2- Shoulder
- 3- Backslope
- 4- Footslope
- 5- Toeslope
- 6- Inceptisols



شکل ۲- نقشه موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مطالعاتی.

در این پژوهش از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ و روش وزن‌دهی معکوس فاصله برای پهنه‌بندی کربن آلی استفاده گردید.

به‌منظور مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین روش زمین‌آمار، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به‌طوری‌که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. در این مطالعه از پارامترهای میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد.

$$MEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z - Z^*)^2} \quad (2)$$

که در آن‌ها، $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی در نقطه i ام و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه i ام می‌باشد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها در قالب طرح آشیانه‌ای و با نرم‌افزار SPSS 16 انجام گردید. برای مقایسه میانگین ابتدا تجزیه واریانس انجام شد و سپس به روش آزمون LSD اثر موقعیت‌های مختلف شیب روی کربن آلی خاک بررسی شد همچنین از نرم‌افزارهای Arc GIS 10 و Surfer برای آنالیزهای زمین‌آماري و تهیه نقشه استفاده شد.

نتایج و بحث

توصیف متغیرها: ضریب تغییرات به‌عنوان یک شاخص، تغییرات کلی از ناهمگنی کربن آلی خاک را در هر موقعیت نشان می‌دهد. براساس طبقه‌بندی نلسون و بوما (۱۹۸۵)، اگر ضریب تغییرات کم‌تر از ۱۰ درصد باشد، تغییرپذیری ضعیف، اگر بیش از ۱۰ درصد باشد متوسط و در نهایت ضریب تغییرات برابر با ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده تغییرات بسیار شدید متغیر می‌باشد. بنابراین همان‌طورکه در جدول ۲ دیده می‌شود می‌توان شدت تغییرات کربن آلی را در تپه ماهوری مورد مطالعه متوسط در نظر گرفت.

جدول ۲- خلاصه‌ای از وضعیت آماری کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب و کل منطقه.

متغیر	موقعیت	تعداد	حداقل (درصد)	حداکثر (درصد)	میانگین (درصد)	میانه (درصد)	انحراف معیار (درصد)	ضریب تغییرات (درصد)	چولگی	کشدگی
	پنجه‌شیب	۵۱	۰/۸۲	۲/۱۶	۱/۵۷	۱/۶	۰/۳۵	۲۲/۳	-۰/۴۳	-۰/۵۴
	پای‌شیب	۵۲	۰/۳۹	۱/۹	۰/۹۴	۰/۹	۰/۳۴	۳۵/۷	۰/۷۳	۰/۲۹
	شیب‌پشتی	۵۱	۰/۱۹	۱/۵۶	۰/۶۹	۰/۵۹	۰/۳۱	۴۵/۶	۰/۶۲	-۰/۱۴
	شانه‌شیب	۴۶	۰/۲۸	۰/۹۵	۰/۵۴	۰/۵۳	۰/۱۶	۲۸/۴	۰/۸۶	۰/۷۶
	قله‌شیب	۳۴	۰/۳۸	۱/۷۱	۰/۸۸	۰/۷۶	۰/۳۵	۳۹/۷	۰/۹۸	۰/۰۵
	کل	۲۳۴	۰/۱۹	۲/۱۶	۰/۹۴	۰/۸۳	۰/۴۸	۵۰/۹	۰/۷۴	-۰/۴۵

در بین موقعیت‌های مختلف شیب، مورد بررسی که در جدول ۲ نشان داده شده است، کربن آلی موقعیت شیب‌پشتی با داشتن ضریب تغییرات برابر با ۴۵/۶ بیش‌ترین ضریب تغییرات را دارا می‌باشد. یکی از دلایل این تغییرپذیری، تأثیر زیاد پستی و بلندی بر جابه‌جایی و انتقال آب در موقعیت‌های مختلف زمین‌نما است که به‌دنبال این فرآیند، ویژگی‌های خاک و حساسیت آن به فرسایش در

موقعیت‌های مختلف زمین‌نما متفاوت می‌شود. در موقعیت شیب‌پشتی به دلیل وجود درجه شیب به نسبت زیاد و دریافت مواد سطحی شسته شده از موقعیت شانه‌شیب، دارای تغییرپذیری بیش‌تری در مقایسه با سایر موقعیت‌ها می‌باشد. هتر و همکاران (۲۰۱۰) بیان می‌کنند شانه‌شیب با درجه شیب زیاد می‌تواند باعث فرسایش و انتقال ماده آلی و کربنات کلسیم معادل بیش‌تری شود. همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود، میانگین کربن آلی خاک در موقعیت‌های پنجه و شانه‌شیب به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان می‌باشد. بسیاری از مطالعاتی که برای بررسی همبستگی کربن آلی خاک و موقعیت‌های توپوگرافی انجام شده، عموماً میزان بالای کربن آلی را در موقعیت‌های پای و پنجه‌شیب گزارش کرده‌اند (برگ استروم و همکاران، ۲۰۰۱؛ پلی‌کوویچ و ل، ۲۰۰۴). بالاتر بودن این پارامتر در موقعیت پنجه‌شیب به دریافت مواد سطحی فرسایش‌یافته سطوح بالا و موقعیت پایدارش می‌باشد (مور و همکاران، ۱۹۹۳). همچنین پلی‌کوویچ و ل (۲۰۰۴) بیان می‌کنند میزان بالای کربن آلی در این موقعیت‌ها، به ورود بیش‌تر کربن آلی همراه با رواناب‌های سطحی مربوط می‌باشد. در موقعیت شانه‌شیب به موازات افزایش شیب، میزان تولید فرسایش و رواناب افزایش و میزان مواد آلی کاهش می‌یابد. خرمالی و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای بر روی اراضی شیب‌دار لسی استان گلستان بیان می‌کنند که کاهش سالیانه مواد آلی ورودی به همراه اکسیداسیون سریع مواد آلی در نتیجه تخریب جنگل و عملیات کشت و کار عامل اصلی کاهش قابل توجه ($<70\%$) میزان کربن آلی و نیتروژن کل در این اراضی می‌باشد.

در صورت نرمال بودن یا نزدیک به نرمال بودن توزیع داده‌ها، روش‌های تخمین مورد استفاده در زمین‌آمار از دقت بالایی برخوردار خواهند بود. مقادیر ضریب چولگی ارایه شده در جدول ۲ بیانگر این مطلب است که در تمامی موقعیت‌های شیب، کربن آلی خاک از توزیع نرمال برخوردار می‌باشد و ضریب چولگی بین ۱- و ۱+ قرار دارد. بنابراین، در تجزیه و تحلیل واریوگرافی و واریوگرام متقابل پارامترها، داده‌های واقعی کربن آلی مورد استفاده قرار گرفت.

در روش کوکریجینگ نیازمند استفاده از متغیر کمکی هستیم؛ به این منظور همان‌طورکه در جدول ۳ ملاحظه می‌شود بین پارامترهای اندازه‌گیری شده رابطه همبستگی برقرار شد و پارامترهای با ضریب همبستگی بالاتر به‌عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شد. همان‌طورکه در جدول یاد شده مشاهده می‌گردد کربن آلی در موقعیت‌های پنجه و پای‌شیب با درصد رطوبت اشباع، در موقعیت شیب‌پشتی با وزن مخصوص ظاهری و در موقعیت قله‌شیب با میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها همبستگی معنی‌داری

دارد. اسپیل و وگل و همکاران (۲۰۰۹) همبستگی مثبت معنی‌داری بین کربن آلی خاک و وزن مخصوص ظاهری در خاک‌های کمبی‌سولز^۱ جنگل‌های اروپای مرکزی گزارش نمودند. کانتن و همکاران (۲۰۰۹) و ایماز و همکاران (۲۰۱۰) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین کربن آلی خاک و میانگین وزنی قطر خاک‌دانه مشاهده نمودند.

جدول ۳- بررسی روابط همبستگی بین کربن آلی و پارامترهای اندازه‌گیری شده.

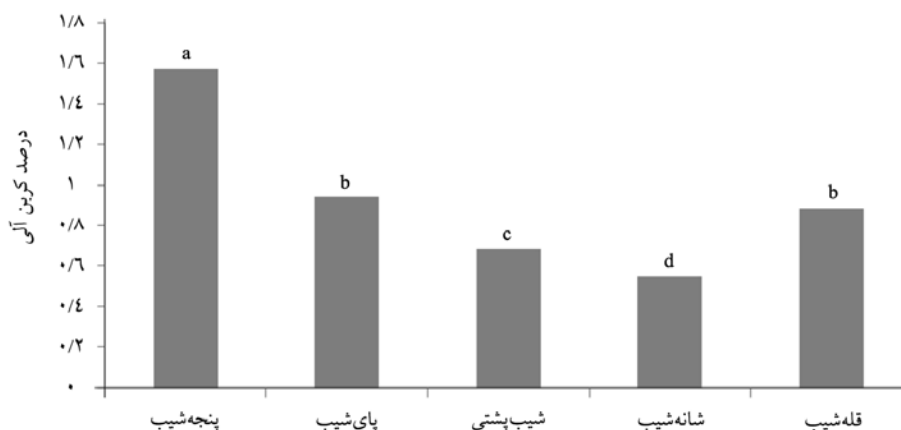
موقعیت	درصد رطوبت اشباع	MWD	وزن مخصوص ظاهری	رس	سیلت
پنجه‌شیب	۰/۲۸*	۰/۱	-۰/۲۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۴
پای‌شیب	۰/۸۴**	۰/۱۹	-۰/۱۶	۰/۱۲	۰/۲۶
شیب‌پشتی	-۰/۰۴۲	۰/۱۹	۰/۴۱**	-۰/۰۳	-۰/۲۹*
شانه‌شیب	۰/۴**	-۰/۰۷	۰/۰۷	-۰/۲۲	۰/۲۴
قله‌شیب	۰/۰۶	۰/۳۷*	-۰/۰۵	-۰/۱	-۰/۲
کل	۰/۱۱	۰/۳۷**	۰/۲۷**	۰/۵۸**	۰/۰۴۲

* همبستگی معنی‌دار در سطح ۵ درصد و ** همبستگی معنی‌دار در سطح ۱ درصد.

از طرفی در موقعیت شانه‌شیب به دلیل عملیات زراعی نامناسب و طولانی مدت و افزایش شدید تغییر و انتقال میزان خاک‌دانه‌ها و مواد آلی خاک همبستگی مثبت معنی‌داری بین کربن آلی با سایر پارامترها از نظر آماری وجود نداشت و تنها پارامتر سیلت با $r=0/241$ بیش‌ترین همبستگی را با کربن آلی در این موقعیت دارد.

همچنین از میان ویژگی‌های خاک پارامتر درصد رس بیش‌ترین همبستگی را با میزان کربن آلی در کل تپه ماهوری نشان می‌دهد. دان‌وانگ و همکاران (۲۰۱۰) ارتباط مثبت و معنی‌داری بین میزان کربن آلی و درصد رس در اراضی شیب‌دار شمال چین گزارش کردند، این محققان بیان می‌کنند که بافت خاک با تأثیر بر پوشش گیاهی، رطوبت قابل استفاده و حاصل‌خیزی خاک تأثیر مستقیم بر میزان کربن آلی خاک دارد و همچنین میزان رس می‌تواند کربن آلی خاک را در برابر تجزیه محافظت کند.

تأثیر موقعیت شیب بر تغییرات کربن آلی خاک: آنالیز ANOVA و تست LSD برای بررسی این موضوع که آیا تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب معنی‌دار می‌باشد، انجام شد. بررسی نتایج درصد کربن آلی بین ۵ موقعیت شیب اختلاف معنی‌داری بین پنجه‌شیب و ۴ موقعیت دیگر در سطح ۱ درصد نشان داد بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که موقعیت پنجه‌شیب دارای بالاترین میزان کربن آلی می‌باشد. در مقابل موقعیت شانه‌شیب دارای کم‌ترین میزان کربن آلی می‌باشد. که دلیل این امر وجود درجه شیب زیاد در این موقعیت می‌باشد که موجب افزایش شستشوی سطحی و در نتیجه افزایش ازهم‌گسیختگی خاک‌دانه‌ها می‌شود. کم‌بردا و همکاران (۲۰۰۴) نشان داد، کربن آلی و ازت کل خاک در موقعیت‌های شیب‌پستی و شانه‌شیب در مقایسه با پای‌شیب، پنجه‌شیب و قله‌شیب کم‌ترین است. همچنین مقایسه دو موقعیت قله و پای‌شیب نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار این دو موقعیت در سطح ۵ درصد می‌باشد. بالا بودن کربن آلی در موقعیت قله‌شیب به وجود شرایط پایدار، کاهش پتانسیل فرسایش‌پذیری و تأثیر نداشتن سایر موقعیت‌های شیب بر این موقعیت می‌باشد.



شکل ۳- تأثیر موقعیت‌های مختلف شیب بر روی کربن آلی. اعداد هر ستون که دارای یک حرف مشترک هستند، بدون اختلاف معنی‌دار بر مبنای آزمون LSD در سطح ۵ درصد می‌باشد.

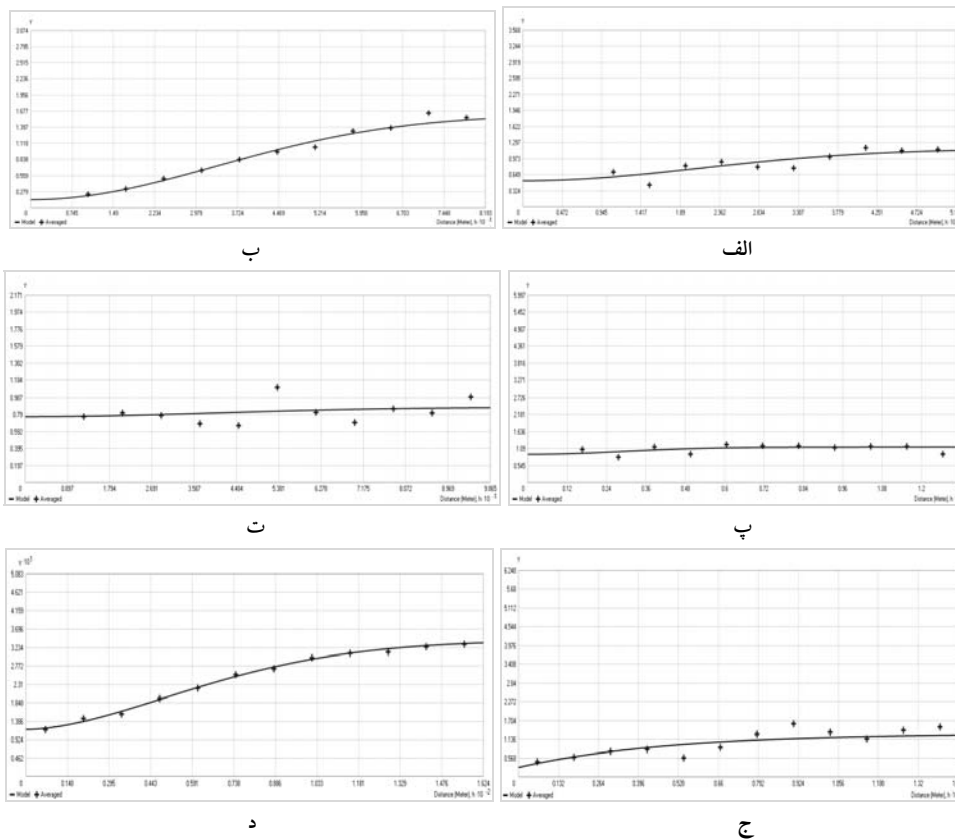
آنالیزهای زمین آماری: پس از بررسی آمار توصیفی، همبستگی مکانی کربن آلی در موقعیت‌های مختلف شیب مورد بررسی قرار گرفت. تعیین همبستگی و تغییرات مکانی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، محاسبه و الگوسازی تغییرنا را طلب می‌کند. در نتیجه به منظور بررسی و مطالعه ساختار تغییرات مکانی کربن آلی خاک و سایر ویژگی‌های خاک، تغییرنمای تجربی برای هر شاخص محاسبه و ترسیم گشت. بررسی تغییرنمای تجربی نشان داد که کربن آلی خاک در کل منطقه مورد مطالعه دارای همبستگی مکانی می‌باشد، به طوری که نتایج نسبت همبستگی نیز نشان می‌دهد کربن آلی دارای نسبت همبستگی متوسط (۷۵ درصد < نسبت همبستگی < ۲۵ درصد) در منطقه می‌باشد. وجود ساختار مکانی برای کربن آلی خاک در مقیاس مزرعه و زمین‌نما در مطالعات بسیاری نشان داده شده است (اسپیل‌وگل و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۰؛ اسپوانگارت و جارمر، ۲۰۱۱).

پس از به دست آوردن تغییرنماهای تجربی، مدل تئوری بر تغییرنا به کمک نرم‌افزار Arc GIS برازش داده شد و تغییرنا مناسب به داده‌های خصوصیات خاک از بین مدل‌های پایدار^۱، دایره‌ای^۲، کروی^۳، نمایی^۴ و گوسی^۵ برازش گردید.

تغییرنا ابزار اساسی برای تخمین به وسیله کریجینگ و کوکریجینگ است بنابراین انتخاب مدل مناسب و تعیین پارامترهای دقیق آن از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار بوده و باید درستی مدل‌های تغییرنا به نحو بهینه‌ای کنترل گردد. به منظور انتخاب مناسب‌ترین مدل تغییرنا، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل و پارامترهای میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد. پارامترهای تغییرنمای کربن آلی خاک و مدل‌های برازش شده به آن‌ها به همراه کنترل اعتبار تغییرنا در جدول ۴ خلاصه شده است.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود کربن آلی موقعیت‌های قله و پای شیب دارای همبستگی مکانی قوی و دو موقعیت شیب‌پستی و شانه‌شیب دارای همبستگی ضعیف و پنجه‌شیب و کربن آلی در کل شیب تپه دارای همبستگی متوسط می‌باشد.

-
- 1- Stable
 - 2- Circular
 - 3- Spherical
 - 4- Exponential
 - 5- Gaussian



شکل ۴- نیم تغییرنمای همه‌جهته کربن آلی (الف) موقعیت پنجه‌شیب، (ب) موقعیت پای‌شیب، (پ) موقعیت شیب‌پشتی، (ت) موقعیت شانه‌شیب، (ج) موقعیت قله‌شیب و (د) کل منطقه.

جدول ۴- پارامترهای تغییرنما و معیارهای انتخاب مدل و کنترل اعتبار تغییرنما برای کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب و کل منطقه.

موقعیت	مدل	اثر قطعه‌ای	سقف	حداکثر دامنه تأثیر (متر)	نسبت همبستگی (درصد)	کلاس همبستگی*	ME	RMSE
پنجه‌شیب	پایدار	۰/۵۲۵	۰/۶۴۳	۵۱/۹۶۱	۴۴/۹۶۸	M	-۰/۰۰۳۰۴	۰/۲۹۷
پای‌شیب	پایدار	۰/۱۴۴	۱/۴۷	۸۱/۹۳	۸/۹۵۱	S	۰/۰۰۰۵۳۴	۰/۱۷۶
شیب‌پشتی	پایدار	۰/۹۰۷	۰/۲۳۳	۷۰/۶۱۴	۷۹/۵۳	W	-۰/۰۰۰۸۹	۰/۳۰۵
شانه‌شیب	پایدار	۰/۷۶۶	۰/۱۰۹	۹۸/۶۵۴	۸۷/۴۶	W	-۰/۰۰۰۰۳	۰/۱۴۶
قله‌شیب	نمایی	۰/۲۷۶	۱/۰۴	۱۴۵/۱۹	۲۱/۰۲	S	۰/۰۰۴۳۴۳	۰/۲۲
کل	پایدار	۰/۱۱۸۲	۰/۲۲۴	۱۴۸/۳۳	۳۴/۵۲	M	۰/۰۰۱۶۴۹	۰/۴۲۲

* کلاس همبستگی: S (قوی)، M (متوسط) و W (ضعیف).

با در نظر گرفتن میانگین خطا (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) مدل مناسب در موقعیت‌های شیب‌پشتی، شانه، پای و پنجه‌شیب مدل پایدار و در موقعیت قله‌شیب، مدل نمایی انتخاب گردید. دامنه تأثیر کربن آلی پنجه‌شیب با مقدار ۵۱/۹ متر، کوچک‌ترین دامنه تأثیر نسبت به سایر موقعیت‌های شیب می‌باشد. این امر بیانگر این است که همبستگی مکانی بسیار سریع ناپدید می‌گردد و سطوح تخمین شاخص‌ها توسط تکنیک‌ها و روش‌های زمین‌آماری کاهش می‌یابد. در واقع همبستگی مکانی در فواصل کوچکی وجود دارد. این امر احتمالاً به علت تأثیر فرآیندهای ژئومورفویک و تأثیر فرآیندهای هیدرولوژیک و پدوژونیک بر این موقعیت می‌باشد. در مقابل، دامنه تأثیر کربن آلی قله شیب با مقدار ۱۴۵/۱۹ متر، بزرگ‌ترین دامنه تأثیر نسبت به سایر موقعیت‌های شیب می‌باشد که می‌توان دلیل این امر را وجود شرایط پایدارتر، کاهش پتانسیل فرسایش‌پذیری و تأثیر نداشتن سایر موقعیت‌های شیب بر این موقعیت ذکر کرد و در نتیجه وجود فرآیندهای خاک‌ساز دلیل این همبستگی مکانی کربن آلی در این موقعیت می‌باشد. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگ‌تر دلالت بر ساختار فضایی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌گردد که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر موردنظر در بلوک مجهول استفاده کرد. به عبارت دیگر هرچه دامنه گسترده‌تر باشد به تعداد نمونه کم‌تری برای تعیین نقاط نمونه‌برداری نشده نیاز است. موقعیت شانه شیب با داشتن درصد همبستگی ۸۷/۴۶، دارای بزرگ‌ترین درصد و کم‌ترین نسبت همبستگی در مقایسه با سایر موقعیت‌های شیب می‌باشد. این امر نشان‌دهنده وابستگی مکانی ضعیف تغییرات کربن آلی در این موقعیت می‌باشد که در نتیجه آن هر گونه درون‌یابی به دلیل وجود همبستگی مکانی ضعیف، دارای حساسیت کمی خواهد بود.

برای تشخیص ناهمسان‌گردی در این پژوهش از تغییرنمای سطحی استفاده شد. ناهمسان‌گردی تمام متغیرها کنترل شد. نظر به تقارن تغییرنمای سطحی، تمامی متغیرها همسان‌گرد هستند. این امر نشان‌دهنده آن است که تغییرپذیری این متغیرها در جهت‌های مختلف یکسان است.

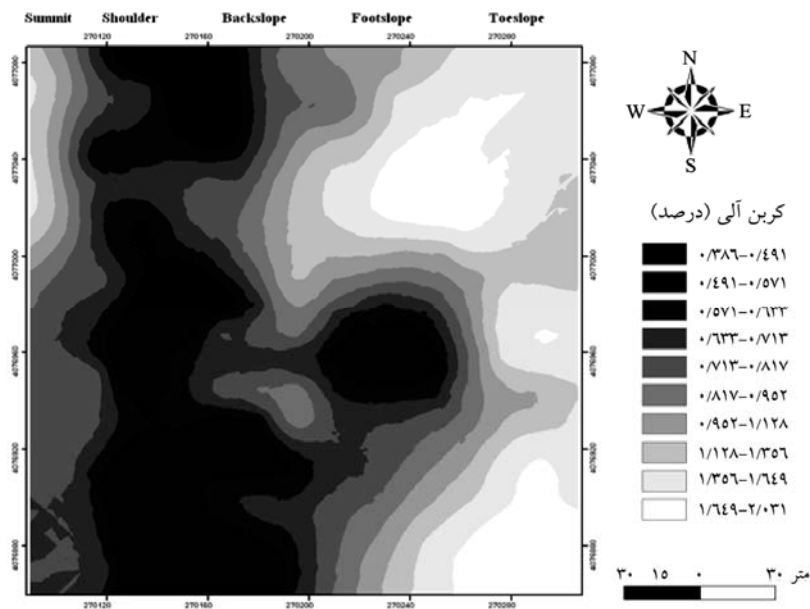
پس از تجزیه و تحلیل تغییرنما درون‌یابی داده‌ها به کمک نرم‌افزار Arc GIS به وسیله روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ و روش معین وزن‌دهی معکوس فاصله انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روش‌های زمین‌آماری کریجینگ و کوکریجینگ نسبت به روش معین وزن‌دهی فاصله معکوس تخمین بهتری را در همه موقعیت‌های شیب برآورد می‌کند.

جدول ۵- نتایج روش‌های گوناگون تخمین کربن آلی در موقعیت‌های مختلف شیب و کل تپه ماهوری.

IDW	کوکریجینگ			کریجینگ			خطای تخمین	موقعیت
	گسسته	ساده	معمولی	گسسته	ساده	معمولی		
درصد رطوبت اشباع								
۰/۰۰۱۳۱	۰/۰۰۳۴۴	۰/۰۰۴۴۶	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۳۱۹	۰/۰۰۳۳۶	۰/۰۰۰۸۶	ME	پنجه‌شیب
۰/۳۰۲۲	۰/۲۹۴۲	۰/۲۹۵۳	۰/۲۹۳۸	۰/۲۹۷۴	۰/۲۹۸۴	۰/۲۹۶	RMSE	
درصد رطوبت اشباع								
۰/۰۰۰۸۱۵	۰/۰۰۲۰۹	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۰۳۸	۰/۰۰۲۳۸	۰/۰۰۱۶۱	۰/۰۰۰۰۴	ME	پای‌شیب
۰/۲۰۰۴	۰/۱۸۲۵	۰/۱۸۰۵	۰/۱۸۰۲	۰/۱۸۱۸	۰/۱۷۹۵	۰/۱۷۹۷	RMSE	
وزن مخصوص ظاهری								
۰/۰۰۰۹۲۳	۰/۰۰۲۳۸	۰/۰۰۲۳۶	۰/۰۰۰۵۴۷	۰/۰۰۰۷۶	۰/۰۰۰۸۹	۰/۰۰۰۳۷	ME	شیب‌پشتی
۰/۳۰۶۲	۰/۲۶۳۲	۰/۳۰۱۷	۰/۲۹۸۸	۰/۳۰۴۴	۰/۳۰۵۳	۰/۲۹۹۸	RMSE	
سیلت								
۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۷	۰/۰۰۰۰۴	ME	شانه‌شیب
۰/۱۵۹۷	۰/۱۴۷۲	۰/۱۴۸۲	۰/۱۷۳۶	۰/۱۴۶۷	۰/۱۴۷۲	۰/۱۴۹۷	RMSE	
MWD								
۰/۰۰۰۰۳	۰/۰۰۳۹۳	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۰۳۹۴	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۰۴۳	۰/۰۰۰۱۷	ME	قله‌شیب
۰/۲۳۲۴	۰/۲۲۳۸	۰/۲۱۶	۰/۲۰۵	۰/۲۲۷۷	۰/۲۲۰۵	۰/۲۰۹۶	RMSE	
رس								
۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۰۹۷	۰/۰۰۰۰۹۲	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۰۵۶	ME	کل
۰/۲۷۰۹	۰/۲۵۹	۰/۲۶	۰/۲۵۵۲	۰/۲۶۲۲	۰/۲۶۲۹	۰/۲۵۷۴	RMSE	

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در موقعیت شانه‌شیب و پای‌شیب روش کوکریجینگ در بهترین حالت به ترتیب با داشتن $RMSE=0/1472$ و $RMSE=0/1802$ دارای خطای تخمین بالاتری نسبت به روش کریجینگ می‌باشد. در مورد شانه‌شیب دلیل این امر را می‌توان همبستگی مکانی ضعیف کربن آلی بین نمونه‌ها و نبود همبستگی کافی بین کربن آلی و متغیر کمکی ذکر نمود. در مورد روش کوکریجینگ موقعیت پای‌شیب، از آنجایی که کربن آلی دارای کلاس همبستگی قوی می‌باشد و از یک متغیر کمکی با همبستگی معنی‌دار در سطح ۱ درصد برای میان‌یابی استفاده می‌کند، به‌طور عموم باید منجر به نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر شود، اما به دلیل وجود فرآیندهای ژئومورفیک، فرسایش موقعیت‌های مختلف و رسوب‌گذاری در موقعیت‌های پایین‌شیب و در نهایت کافی نبودن زمان برای ایجاد ارتباط بین مواد آلی و ذرات خاک، تغییرات کربن آلی به موازات تغییرات درصد رطوبت اشباع صورت نمی‌گیرد. در بقیه موقعیت‌ها روش کوکریجینگ از آنجا که از یک متغیر کمکی برای میان‌یابی استفاده می‌کند، به‌طور عموم منجر به نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر شد.

به منظور کاربرد مدیریت پایدار و دقیق در اراضی کشاورزی، دست‌یابی به تغییرات مکانی کربن آلی خاک در اراضی هم‌چون منطقه مورد نظر امری ضروری می‌باشد. براساس پارامترهای مورد بررسی در جدول ۵، روش کوکریجینگ معمولی دارای کم‌ترین خطای تخمین برای پهنه‌بندی کربن آلی کل منطقه بود که در نتیجه با استفاده از این روش نقشه پراکندگی مکانی کربن آلی خاک ایجاد گردید (شکل ۵). تار و همکاران (۲۰۰۵) در مقایسه دو روش کوریجینگ معمولی و کوکریجینگ نشان دادند که روش کوکریجینگ با متغیر کمکی هدایت الکتریکی و با داشتن مقدار آماره $RMSE=0/693$ و توانایی بهتری در پهنه‌بندی کربن آلی خاک را دارا می‌باشد. در شکل ۵ بیش‌ترین میزان کربن آلی در موقعیت‌های پایین شیب و قله شیب می‌باشد. بالا بودن میزان کربن آلی در قسمت‌های پایین شیب به دلیل ورود کربن آلی با مواد فرسایش یافته و در موقعیت بالای شیب به دلیل وجود شرایط پایدار می‌باشد. در حالی که مقادیر کم‌تر کربن آلی در مرکز و موقعیت‌های با شیب زیاد می‌باشد. از طرفی تغییرات کربن آلی به‌طور عموم عمود بر جهت شیب می‌باشد که تأثیر سطوح زمین نما بر این پارامتر می‌باشد که این الگوی توزیع مکانی کربن آلی سازگار با ساختار مکانی توپوگرافی در این اراضی می‌باشد. نتایج این پژوهش با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۰۹) هم‌سو می‌باشد.



شکل ۵- نقشه میان‌یابی شده درصد کربن آلی در کل منطقه توسط روش کوکریجینگ معمولی.

نتیجه‌گیری

ذخایر کربن آلی در موقعیت‌های مختلف شیب تپه ماهوری، تغییرات مکانی گسترده‌ای را نشان می‌دهند که به‌وجود فرآیندهای ژئومورفیک در این اراضی نسبت داده می‌شود و با افزایش ارتفاع و درجه شیب از میزان کربن آلی خاک کاسته می‌شود و میزان کربن آلی از قسمت‌های بالای شیب به سطوح پایین‌تر افزایش می‌یابد. در تخمین کربن آلی خاک در کل تپه ماهوری کوکریجینگ معمولی با متغیر کمکی رس با داشتن مقادیر RMSE برابر با ۰/۲۵۵۲ نسبت به دو روش کریجینگ و روش وزن‌دهی معکوس فاصله نتایج بهتری ارائه می‌دهد. براساس نتایج به‌دست آمده پیشنهاد می‌شود، که می‌توان از نقشه‌های کوکریجینگ به‌دلیل درونیابی دقیق‌تر درصد کربن آلی خاک، برای مدیریت بهینه اراضی به‌منظور توسعه کشاورزی پایدار استفاده نمود. همچنین این اطلاعات می‌تواند برای طراحی و انجام مدیریت مؤثر در اراضی شیب‌دار لسی استان گلستان براساس تغییرات مکانی کربن آلی همراه با خصوصیات توپوگرافی مفید واقع شود.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از آقایان حمیدرضا بومری، علی بامری، مهدی صدوقی و حسین خیرآبادی برای تمام کمک‌های بی‌دریغ‌شان برای انجام این پژوهش، کمال تشکر و سپاسگزاری را ابراز نمایند.

منابع

1. Bergstrom, D.W., Monreal, C.M., and St Jacques, E. 2001. Spatial dependence of soil organic carbon mass and its relationship to soil series and topography. *Can. J. Soil Sci.* 81: 53-62.
2. Bouyoucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
3. Brasher, B.R., Franzmeier, D.P., Valassis, V., and Davidson, S.E. 1966. Use of Saran resin to coat natural soil clods for Bulk-density water retention measurements. *Soil Sci.* 101: 108.
4. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Andrews, S.S., and Karlen, D.L. 2004. Watershed-scale assessment of soil quality in the loess hills of southwest Iowa. *Soil & Till. Res.* 78: 237-247.
5. Cantón, Y., Solé-Benet, A., Asensio, C., Chamizo, S., and Puigdefábregas, J. 2009. Aggregate stability in range sandy loam soils Relationships with runoff and erosion. *Catena.* 77: 192-199.

6. Fitzsimmons, M.J., Pennock, D.L., and Thorpe, J. 2004. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. *Forest Eco. and manage.* 188: 349-361.
7. Hattar, B., Taimeh, A., and Ziadat, F. 2010. Variation in soil chemical properties along toposequences in an arid region of the Levant. *Catena.* 83: 34-45.
8. Imaz, M.J., Virto, I., Bescansa, P., Enrique, A., Fernandez-Ugalde, O., and Karlen, D.L. 2010. Soil quality indicator response to tillage and residue management on semi-arid Mediterranean cropland. *Soil & Till. Res.* 107: 17-25.
9. Kemper, W.D., and Rosenau, R.C. 1986. Aggregate stability and size distribution. P 425-442, In: Klute, A. (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part I: Physical Analysis.* SSSA. Madison, WI.
10. Moore, I.D., Gessler, P.E., and Nielson, G.A. 1993. Soil attribute prediction using terrain analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57: 443-452.
11. Nelson, R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: *Methods of Soil Analysis. Part II.* Page, A.L. (Ed.). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
12. Nielsen, D.R., and Bouma, J. (eds.). 1985. *Soil Spatial Variability.* In: *Proceedings of a Workshop of the ISSS and the SSSA.* Pudoc, Wageningen. Las Vegas, USA.
13. Polyakov, V., and Lal, R. 2004. Modelling soil organic matter dynamics as affected by soil water erosion. *Enviro. Inter.* 30: 547-556.
14. Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *Sci.* 304: 1623-1627.
15. Lal, R. 2008. Carbon sequestration. *Philos. Trans. R. Soc. B. Biol. Sci.* 363: 815-830.
16. Scholes, R.J., and Nobel, I.R. 2001. Storing carbon on land. *Sci.* 294: 1012-1013.
17. Schöning, I., Totsche, K.U., and Kögel-Knabner, I. 2006. Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma.* 136: 631-642.
18. Schwanghart, W., and Jarmer, T. 2001. Linking spatial patterns of soil organic carbon to topography-A case study from south-eastern Spain. *Geomorphology.* 126: 252-263.
19. Smith, P. 2004. Soils as carbon sinks-The global context. *Soil Use Manage.* 20: 212-218.
20. Spielvogel, S., Prietzel, J., Auerswald, K., and Kögel-Knabner, I. 2009. Site-specific spatial patterns of soil organic carbon stocks in different landscape units of a high-elevation forest including a site with forest dieback. *Geoderma.* 152: 218-230.
21. Tarr, A., Moore, K.J., Bullock, D.G., and Dixon, P.M. 2005. Improving Map Accuracy of Soil Variables Using Soil Electrical Conductivity as a Covariate. *Pres. Agric.* 6: 255-270.

22. Wang, D., Shi, X., Wang, H., Weindorf, D.C., Yu, D., Sun, W., Ren, H., and Zhao, Y. 2010. Scale Effect of Climate and Soil Texture on Soil Organic Carbon in the Uplands of Northeast China. *Pedosphere*. 20: 525-535.
23. 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: 486-495.
24. Wang, Y., Fu, B., Lu, Y., Song, Ch., and Luan, Y. 2010. Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Qua. Res.* 73: 70-76.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(2), 2012
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Spatial variability of soil organic carbon on different slope positions of loess hillslopes in Toshan area, Golestan Province

***A. Bameri¹, F. Khormali², F. Kiani³ and A.A. Dehghani⁴**

¹M.Sc. Student, Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2011/10/23; Accepted: 2012/05/21

Abstract

In this study, classical statistics and geostatistical methods were used to determine changes in spatial heterogeneity of soil organic carbon (SOC) in relation to topography and different slope positions in loess hillslopes in Toshan region located in Golestan Province. In this investigation, three different geostatistical methods i.e Kriging, Cokriging and Inverse distance weighted have been used and evaluated. Hence, 234 soil samples at regular grid were collected from different parts of a slope. In this research, the evaluation criteria were Mean Error and Root Mean Square Error with the Cross Validation method. The results showed that ordinary cokriging method with clay as covariate estimated better results in evaluation of SOC in whole parts of hillslope with RMSE values of 0.2552 in comparison with Kriging and Inverse distance weighted methods. Interpolation map of organic carbon from whole part of hillslope showed lower SOC concentrations with increasing elevation and slope gradient. Spatial correlation ratio of SOC was different in various slope positions and these patterns were closely related to the structure of topography.

Keywords: Geostatistics, Loess, Soil organic carbon (SOC), Toshan, Topography

* Corresponding Author; Email: abolfazl_bameri@yahoo.com

