



پهنه‌بندی کربن آلی خاک جهت مدیریت مناطق مستعد فرسایش بادی در بخشی از تالاب هامون

رضا رخشانی مهر^۱، علی شهریاری^۲، سعیده ملکی^۳، وحید راهداری^۴، ابوالفضل بامری^{۵*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. rakhshanimehr@uoz.ac.ir

۲- استادیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. Shahriari.ali@uoz.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل. smaleki@uoz.ac.ir

۴- استادیار، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، گروه مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، vrahdari@uoz.ac.ir

*۵- مربی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. rbameri@uoz.ac.ir

چکیده

خشکسالی‌های پی در پی تالاب هامون و وجود طوفان‌های ۱۲۰ روزه سیستان از معضلاتی است که با تأثیر مستقیم روی پارامترهای بافت، کربن آلی و کیفیت خاک علاوه بر خسارت و کاهش استعداد بالقوه خاک در باروری، صدمات جبران ناپذیری را از طریق افزایش فرسایش‌پذیری خاک در دشت سیستان وارد نموده است. لذا این مطالعه با هدف پهنه‌بندی کربن آلی خاک و درصد اجزای بافت خاک سطحی و عمقی خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و GIS در منطقه مطالعاتی واقع در تالاب هامون صابوری با مساحت حدود ۲۷۳ کیلومترمربع انجام شد. بدین منظور نمونه برداری خاک به روش تصادفی نظارت شده از ۹۲ نقطه در منطقه مورد مطالعه و از دو عمق ۱۵-۰ سانتی-متری (سطحی) و ۵۰-۱۵ سانتی-متری (عمقی) انجام شد. نتایج نشان داد که کربن آلی در هر دو عمق با پارامترهای محیطی مدل رقومی ارتفاع (DEM) و شاخص پوشش گیاهی NDVI دارای همبستگی مثبت و معنی‌داری می‌باشد و بهترین مدل جهت بیان تغییرات مکانی کربن آلی خاک در هر دو عمق نمائی می‌باشد. نقشه‌های تهیه شده نشان داد که تغییرات مکانی و توزیع پارامتر کربن آلی سطحی و عمقی در کل منطقه دشت سیستان از غیر یکنواختی بالایی برخوردار بوده است، هرچند این غیریکنواختی در مورد کربن آلی سطحی بیشتر می‌باشد که این امر را می‌توان به علت وجود شرایط رسوب‌گذاری و ماهیت دشت آبرفتی منطقه سیستان و همچنین به دلیل وجود خشکسالی‌های پی در پی و فرسایش ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان دانست.

واژه‌های کلیدی:

کربن آلی خاک، مدل رقومی ارتفاع، فرسایش بادی، کوکریجینگ، تالاب هامون

مقدمه

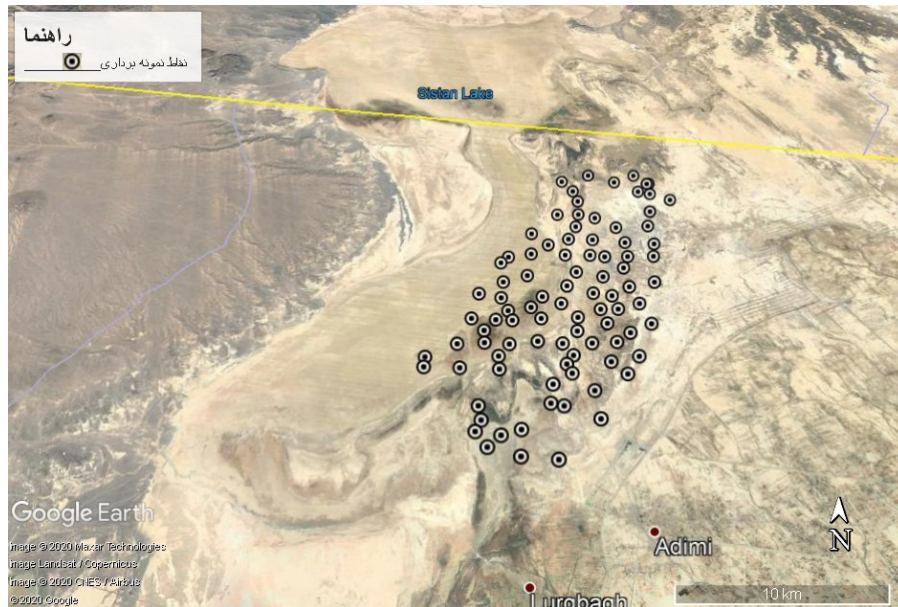
خاک جزء جدایی‌ناپذیر بسیاری از فرآیندهای فیزیکی و اکولوژیکی زیست کره می‌باشد و اطلاعات خاک به طور فزاینده برای ورودی مدل‌های اکولوژیکی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و مدل‌های محیطی دیگر مورد نیاز است. برای بسیاری از برنامه‌های مدیریتی حوضه‌های آبخیز، ارزش آراضی به طور مستقیم به خصوصیات خاک بستگی دارد که این خصوصیات از طریق مطالعات خاکشناسی مشخص می‌شوند. با این وجود شتاب در تخریب خاک، قدرت تولید و کیفیت خاک را کاهش و آلودگی محیط زیست و مشکلات فرسایش را افزایش می‌دهد. نگرانی‌های اخیر در مورد تخریب خاک، دستیابی به اطلاعات کمی قابل اعتماد خاک را به یک نیاز مبرم در سراسر جهان تبدیل کرده است (Pimentel, 2006). یکی از عوامل مهم در تعیین کیفیت و شدت تخریب خاک، میزان مواد آلی

خاک می‌باشد، چون نقش بسیار مهمی در تثبیت ساختمان، بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تأمین عناصر غذایی گیاه دارد (Mackenzie و Martel، ۱۹۸۰). از طرفی ماده آلای خاک یکی از حیاتی‌ترین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک می‌باشد که میزان دی‌اکسید کربن هوا و گرمایش جهانی را تعدیل کرده و نقش مهمی در تشکیل خاکدانه طی مرحله خاکدانه‌سازی خاک ایفا می‌کند. به علاوه، ماده آلای خاک به طرز چشمگیری شرایط فیزیکی خاک را طی مدت زمان طولانی بهبود می‌بخشد. محتوای ماده آلای خاک یکی از عوامل اصلی است که باید در ارزیابی سلامت و باروری خاک در نظر گرفته شود.

خشکسالی‌های پی در پی تالاب هامون و وجود طوفان‌های ۱۲۰ روزه سیستان از معضلاتی است که با تأثیر مستقیم روی پارامترهای بافت، کربن آلای و کیفیت خاک علاوه بر خسارت و کاهش استعداد بالقوه خاک در باروری، صدمات جبران ناپذیری را از طریق افزایش فرسایش پذیری خاک وارد نموده است. بنابراین شناخت توزیع فضایی و تغییرپذیری مکانی ماده آلای به عنوان یکی از مهمترین مشخصه‌های خاکشناخت، ویژگی اساسی جهت مدیریت بهینه اراضی تلقی می‌شود که آگاهی دقیق از این تغییرات مکانی به استفاده بهینه از زمین و در نهایت افزایش تولیدات کشاورزی منجر خواهد شد. در این ارتباط Rosemary و همکاران (۲۰۱۷) بیان می‌کنند برای شناخت ویژگی‌های خاک نیاز به درک صحیحی از الگوی تغییرپذیری آن‌ها می‌باشد و اطلاع از تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، پیش‌نیاز برای ارزیابی اراضی کشاورزی، مدیریت منابع خاک، کشاورزی دقیق و تولید پایدار است. تکنیک‌های مختلفی برای ارزیابی تغییرات مکانی خاک وجود دارد که شامل زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد (Foroughifar و همکاران، ۲۰۱۳). پیشرفت‌های اخیر در زمینه سیستم اطلاعات جغرافیایی و تکنیک‌های زمین‌آمار، تحقیقات در مورد تغییرپذیری خاک را تقویت کرده‌اند (Shao و Wang، ۲۰۱۳). Bameri و همکاران (۲۰۱۵) در تخمین کربن آلای خاک در استان گلستان در مقیاس تپه ماهوری به این نتیجه رسیدند کوکریجینگ معمولی با متغیر کمکی رس مقادیر RMSE برابر با ۰/۲۵۵۲ نسبت به دو روش کریجینگ و روش وزندهی معکوس فاصله نتایج بهتری ارائه می‌دهد. Mirzaee و همکاران (۲۰۱۶) بررسی تغییرات مکانی کربن آلای خاک را با استفاده از داده‌های سنجنش از دور از قبیل شاخص گیاهی NDVI در منطقه سلین در شمال آذربایجان شرقی ایران انجام دادند که در این مطالعه از مدل‌های زمین‌آمار و مدل‌های هیبریدی استفاده شد. نتایج نشان داد که کلاس وابستگی مکانی برای کربن آلای متوسط بود و مدل کروی بهترین مدل جهت پرازش به داده‌های تغییرنمای تجربی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. Song و همکاران (۲۰۱۷) پیش‌بینی توزیع مکانی کربن آلای خاک در منطقه ای در شرق چین را با استفاده از روش‌های هیبریدی و کریجینگ معمولی انجام دادند و نتیجه گرفتند که دقت پیش‌بینی مدل هیبریدی در مقایسه با سایر روش‌ها افزایش یافته است. علی‌رغم تحقیقات فراوان انجام گرفته در مورد تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در سطح جهان و ایران، مطالعات اندکی در مورد تغییرپذیری مکانی در تالاب هامون به عنوان منبع برداشت ریزگردهای دشت سیستان و در عمق‌های مختلف خاک انجام شده است. لذا این مطالعه با هدف پهنه‌بندی کربن آلای خاک سطحی و عمقی خاک با استفاده از تکنیک زمین‌آمار و GIS در منطقه مطالعاتی واقع در تالاب هامون با مساحت حدود ۲۷۳ کیلومتر مربع انجام شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شمال شهرستان زابل و در بخش شرقی بستر خشکیده هامون واقع شده است و محل برداشت رسوبات در زمان بادهای ۱۲۰ روزه و منشا ذرات گرد و غبار در طوفانهای شن منطقه می‌باشد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۲۷۳ کیلومتر مربع است که بین مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه برداری در سطح منطقه

نمونه برداری خاک به روش تصادفی نظارت شده از ۹۲ نقطه در منطقه مورد مطالعه و از دو عمق ۱۵-۰ سانتی-متری (سطحی) و ۵۰-۱۵ سانتی-متری (عمقی) انجام شد. در نهایت ۱۸۴ نمونه خاک جمع آوری شده، پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلیمتر عبور داده شد کربن آلی خاک با روش اکسیداسیون تر در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد.

برای رسم نیم تغییرنمای پارامترها از نرم‌افزار GS+ کمک گرفته شد. انتخاب مناسب‌ترین مدل تغییرنما، بر اساس حداقل مجموع مربعات (RSS) و حداکثر میزان R^2 صورت گرفت. به منظور مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت برآورد پارامترهای خاک، 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، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. در این مطالعه از پارامترهای میانگین خطا (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

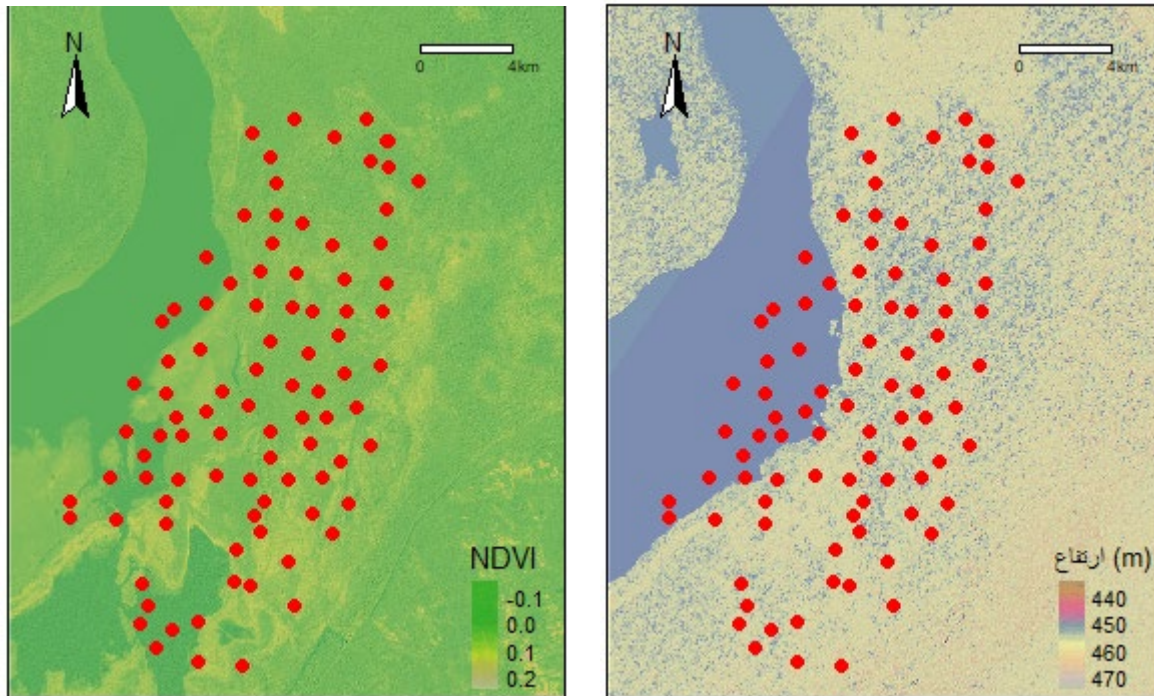
$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (1)$$

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

که در این دو معادله $Z^*(x_i)$ مقدار برآوردی در نقطه i ام و $Z(x_i)$ مقدار مشاهده‌ای برای نقطه‌ی نام می‌باشد (Bamerni و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین در روش کوکریجینگ نیازمند استفاده از متغیر کمکی هستیم، بدین منظور همبستگی کربن آلی با پارامترهای مدل رقومی ارتفاع (DEM) و شاخص پوشش گیاهی NDVI مورد بررسی قرار گرفت و در صورتی که پارامتر مورد بررسی، دارای همبستگی مثبت و معنی دار با کربن آلی خاک داشته باشد به عنوان متغیر کمکی در مدل سازی کوکریجینگ وارد می‌گردد. بدلیل پست و کم ارتفاع بودن منطقه مورد مطالعه، مدل رقومی ارتفاع استفاده شده در مدل سازی و تهیه نقشه رقومی کلاس بافت خاک، از اطلاعات ماهواره ALOS PALSAR با دقت ۱۲/۵ متر بدست آمد (شکل ۲). جهت تهیه شاخص پوشش گیاهی NDVI منطقه از تصاویر ماهوره‌ای سنجنده^۱ OLI لندست ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد (شکل ۲). جهت پهنه‌بندی و ارائه نقشه با توجه به مقادیر آماری مذکور از روشی استفاده گردید که دارای کمترین میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا می‌باشد. تجزیه

^۱Operational Land Imagery (OLI)

و تحلیل داده‌ها با نرم افزار SPSS 21 انجام گردید. همچنین از نرم افزار Arc GIS جهت آنالیزهای زمین‌آماری و تهیه نقشه استفاده شد.



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاع (شکل سمت راست) و شاخص پوشش گیاهی NDVI (شکل سمت چپ) منطقه مورد مطالعه

بحث و نتایج:

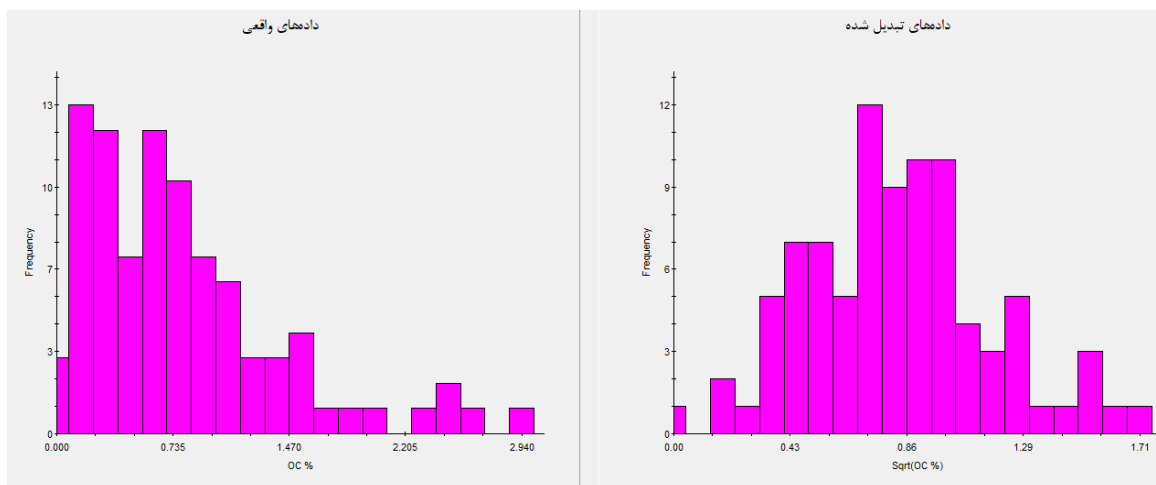
خلاصه آماری ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات آماری متغیرهای مورد مطالعه

پارامتر	عمق	حداقل	حداکثر	میانگین	معیار انحراف	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
OC (%)	۰-۱۵	۰/۰۲	۲/۹۴۳	۰/۷۹۳	۰/۶۲۸	۷۹/۲۲۳	۱/۳۳۲	۱/۵۹
	۱۵-۵۰	۰/۰۵۷	۲/۴۷۰	۰/۸۶۰	۰/۶۱۰	۷۰/۹۳۰	۰/۸۵	-۰/۱۲

طبق طبقه‌بندی Wilding و همکاران (۱۹۸۳) اگر ضریب تغییرات داده‌ها کمتر از ۱۵ درصد باشد، داده‌ها دارای تغییرپذیری کم هستند. اگر مقدار این ویژگی بین ۱۵ تا ۳۵ درصد باشد، کلاس تغییرپذیری متوسط و در صورتی که مقدار این آماره بیشتر از ۳۵ درصد باشد، حاکی از تغییرپذیری زیاد داده‌ها است. بنابراین همان طور که در جدول ۱ دیده می‌شود می‌توان شدت تغییرات کربن آلی خاک در هر دو عمق مورد مطالعه زیاد در نظر گرفت. با این وجود میزان تغییرات کربن آلی عمقی خاک کمتر از بخش سطحی می‌باشد دلیل این امر می‌تواند تاثیرپذیری بیشتر کربن آلی سطحی از شرایط محیطی منطقه از قبیل رسوب گذاری در نتیجه سیلاب های فصلی دریاچه هامون و همچنین انتقال با ذرات گرد و غبار در زمان طوفانهای ۱۲۰ روزه سیستان دانست. Dlugob و

همکاران (۲۰۱۰) در مطالعه ای در آلمان میزان ضریب تغییرات کربن آلی خاک را در سه عمق ۰ تا ۲۵، ۲۵ تا ۵۰ و ۵۰ تا ۹۰ به ترتیب ۱۳/۱۵٪، ۶۲/۶۲٪ و ۱۳/۶۲٪ گزارش کردند. اگرچه توزیع نرمال داده‌ها، شرط لازم و ضروری پردازش‌های زمین آماری نمی‌باشد لیکن در صورت نرمال بودن تخمین‌های زمین آماری از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند (محمدی، ۱۳۸۵). مقادیر ضریب چولگی ارائه شده در جدول مؤید این مطلب است، تنها پارامتر کربن آلی خاک سطحی از توزیع نرمال برخوردار نمی‌باشد و ضریب چولگی آن بین -۱ و +۱ قرار ندارد (Bameri و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین جهت نرمال سازی درصد کربن آلی خاک سطحی با توجه به اینکه با اعمال تبدیل لگاریتمی داده ها نرمال نشدند از تبدیل ریشه دوم استفاده گردید (شکل ۳).



شکل ۳- هیستوگرام کربن آلی خاک سطحی، (سمت چپ) قبل از نرمال کردن، (سمت راست) بعد از نرمال کردن.

همانطور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود بین کربن آلی خاک و پارامترهای مدل رقومی ارتفاع و شاخص پوشش گیاهی NDVI رابطه همبستگی برقرار شد و با توجه به همبستگی این دو پارامتر با کربن آلی در هر دو عمق مورد بررسی، در مدلسازی کوکریجینگ به عنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شدند. به نظر می‌رسد گرچه توپوگرافی در منطقه مورد مطالعه تغییرات شدید ندارد، ام تغییرات جزئی موجود هم در تغییرات کربن آلی و پوشش گیاهی اثر معنی داری دارد. Douaoui و همکاران (۲۰۰۶) نقشه شوری خاک را برای منطقه‌ای در الجزایر با استفاده روش‌های زمین آماری تهیه کردند در این مطالعه از داده‌های تصاویر ماهواره‌های نظیر NDVI به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده شد و نتایج قابل قبولی بدست آمد.

جدول ۲- بررسی روابط همبستگی بین کربن آلی و پارامترهای محیطی

پارامتر	کربن آلی سطحی	کربن آلی عمقی	DEM	NDVI
کربن آلی سطحی	۱	-	۰/۲۳۴*	۰/۲۲۹*
کربن آلی عمقی	-	۱	۰/۳۵۶**	۰/۲۹۹**
DEM	۰/۲۳۴*	۰/۳۵۶**	۱	۳۵۹**/
NDVI	۰/۲۲۹*	۰/۲۹۹**	۰/۳۵۹**	۱

* و ** به ترتیب همبستگی معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد

پس از بررسی آمار توصیفی، همبستگی مکانی پارامترهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و تغییرنمای تجربی برای هر شاخص محاسبه و ترسیم گشت. بررسی تغییرنمای تجربی نشان داد که پارامتر مورد مطالعه در هر دو عمق دارای همبستگی مکانی می‌باشند،

به طوری که نتایج نسبت همبستگی نیز نشان می‌دهد پارامتر کربن آلی دارای نسبت همبستگی متوسط در سطح منطقه مورد مطالعه و نسبت همبستگی قوی در بخش عمقی منطقه می‌باشد. Bogunovic و همکاران (۲۰۱۷) در اراضی شرقی کرواسی کلاس همبستگی مکانی پارامتر کربن آلی را با مقادیر ۰/۲۲ قوی گزارش کردند. پس از بدست آوردن تغییرنماهای تجربی، مدل تئوری بر تغییرنما به کمک نرم افزار GS+ برازش داده شد و تغییرنما مناسب به داده‌های خصوصیات خاک از بین مدل‌های خطی^۱، خطی به سقف^۲، کروی^۳، نمایی^۴ و گوسی^۵ برازش گردید. پارامترهای تغییرنمای خصوصیات خاک و مدل‌های برازش شده به آنها به همراه کنترل اعتبار تغییرنما در جدول ۳ خلاصه شده است.

جدول ۳- پارامترهای واریوگرام خصوصیات خاک سطحی و عمقی

پارامتر	عمق	مدل	اثرقطعه ای	سقف	دامنه تاثیر (m)	نسبت همبستگی	کلاس همبستگی	R ²	RSS
OC (%)	۰-۱۵	نمایی	۰/۰۸۹۵	۰/۲۲۳	۲۷۱۴۰	۰/۵۹۹	متوسط	۰/۸۹۳	۰/۰۰۰۲۴
	۱۵-۵۰	نمایی	۰/۰۱۱	۰/۴۲	۱۹۱۰	۰/۹۷۴	قوی	۰/۸۶۲	۰/۰۲۵۲

همانطور که در جدول ۳ نشان داده شده است مدل نمایی بهتر توانسته تغییرات مکانی تغییرنمای تجربی پارامترهای کربن آلی خاک در هر دو عمق نمونه برداری توجیه کند (شکل ۴). Keskin و Grunwald (۲۰۱۸) مناسب ترین مدل^۱های برازش داده شده به نیم تغییرنمای تجربی خصوصیات اندازه^۲گیری شده در مطالعات پدولوژیکی را مدل های کروی و نمایی معرفی می کنند. مدل نمایی از جمله معمول ترین مدل^۱های دارای سقف زمین^۳ آماری برازش داده شده برای ویژگی^۱های خاک است (Minasny و McBratney، ۲۰۰۵). Vasu و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای بهترین مدل برازش داده شده بر خصوصیات pH و ماده آلی را نمایی به دست آوردند. Sun و همکاران (۲۰۱۲) نیز در مطالعات خود بر تغییرنمای تجربی واکنش خاک، رس و کربن آلی خاک مدل نمایی را برازش دادند. Bogunovic و همکاران (۲۰۱۷) توزیع مکانی خصوصیات شیمیایی خاک از قبیل فسفر قابل جذب، پتاسیم قابل جذب، pH و کربن آلی خاک، یک اکوسیستم کشاورزی در شرق کرواسی را با استفاده از زمین آمار مورد بررسی قرار دادند و مدل نمایی را برای کربن آلی و پتاسیم قابل جذب و مدل کروی را برای ویژگی^۱های pH و فسفر قابل جذب برازش دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که کلاس وابستگی مکانی برای کربن آلی و پتاسیم قابل جذب قوی در حالیکه برای pH و فسفر قابل جذب متوسط بود. با توجه به جدول ۳ و شکل تغییرنماهای ارائه شده، نتایج حاکی از آن است کربن آلی عمقی دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سقف دار می‌باشد. اما در مورد متغیر کربن آلی خاک سطحی مدل برازش داده شده، خطی^۱ می‌باشد. در واقع مدل خطی نشان دهنده کوچک بودن فواصل نمونه برداری و یکنواخت بودن تغییرات مکانی پارامتر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه می باشد که نیازمند بازنگری در طراحی نقاط و فواصل نمونه برداری می باشد. Mulla و McBratney (۲۰۰۲) بیان می کنند مهمترین پارامتر تغییرنما دامنه تاثیر می باشد به طوری که در فواصل بیشتر از دامنه تاثیر، مقادیر نقاط نمونه برداری با یکدیگر ارتباط و همبستگی مکانی ندارند و چنین فاصله ای حد همبستگی مکانی خصوصیت مورد نظر را مشخص نموده و برای انتخاب یک طرح نمونه گیری مناسب اطلاعاتی را در اختیار کارشناسان قرار می دهد. براساس نتایج جدول ۳، این پارامتر در مورد درصد کربن آلی

^۱- Linear

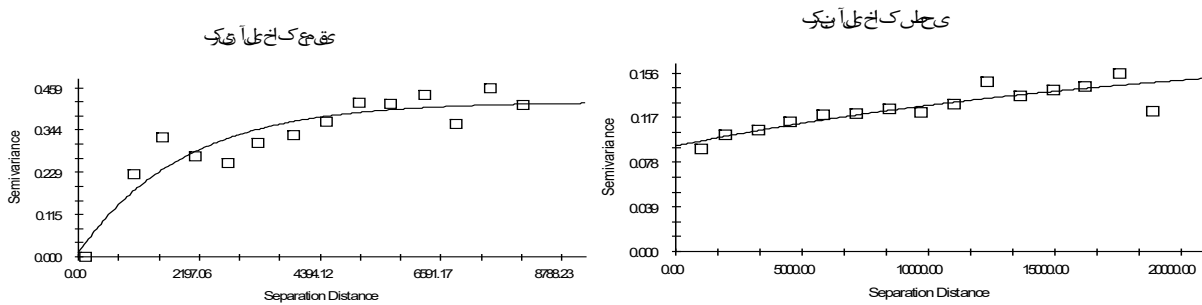
^۲- Linear to Sill

^۳- Spherical

^۴- Exponential

^۵- Gaussian

سطحی خاک بیشترین مقدار می باشد که در واقع تایید کننده ساختار خطی مدل برازش داده شده به تغییرنا تجربی این پارامتر می باشد. به عبارت دیگر هرچه دامنه گسترده تر باشد به تعداد نمونه کمتری جهت تعیین نقاط نمونه برداری نشده نیاز است.

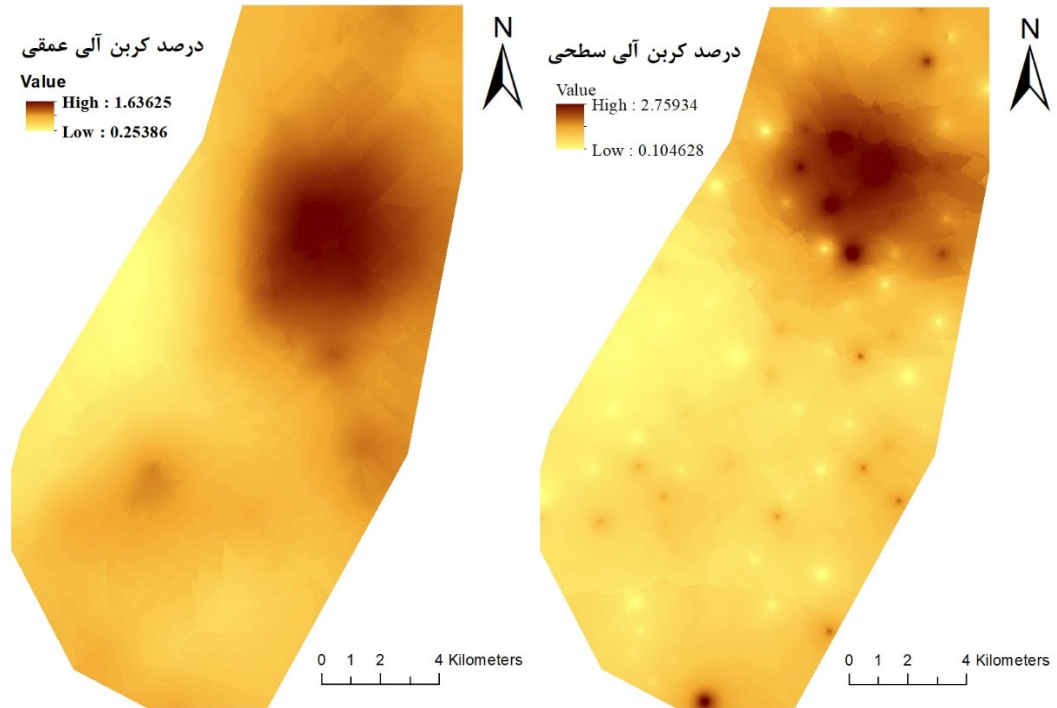


شکل ۴- نیم تغییرنمای درصد کربن آلی خاک در منطقه مورد مطالعه

پس از تجزیه و تحلیل تغییرنا درونیابی پارامترهای مختلف خاک به کمک نرم افزار GIS به وسیله روشهای زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ و روش معین وزن دهی معکوس فاصله انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان می دهد که روش معین وزن دهی معکوس فاصله در مورد پارامتر درصد کربن آلی سطحی نسبت به روشهای زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ تخمین بهتری را برآورد می کند. در مورد روش کوکریجینگ در بخش سطحی منطقه مورد مطالعه، از آنجایی که این روش از یک متغیر کمکی با همبستگی معنی دار در سطح پنج درصد جهت میانبایی استفاده می کند، عموماً باید منجر به نتایج بهتری نسبت به دو روش دیگر شود، اما به دلیل وجود فرآیندهای مختلف فرسایش های بادی، خشکسالی های متوالی و در نهایت کافی نبودن کلاس همبستگی پارامتر کربن آلی سطحی (متوسط)، این مدل آماری نتایج قابل قبولی را نشان نداد. اما جهت برآورد درصد کربن آلی عمقی، همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود برخلاف درصد کربن آلی سطحی روش کوکریجینگ ساده با هر دو متغیر کمکی NDVI و DEM براساس مقادیر آماره RMSE دارای خطای تخمین پایین تری نسبت به روشهای کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله می باشد. نقشه های پهنه بندی درصد کربن آلی خاک سطحی و عمقی خاک در شکل ۵ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقدار خطای برآورد شده پهنه بندی کربن آلی خاک در روشهای کریجینگ، کوکریجینگ و وزن دهی عکس فاصله

معیار ارزیابی	نوع مدل	متغیر کمکی	۰-۱۵		۱۵-۵۰	
			ME	RMSE	ME	RMSE
مدل کریجینگ	معمولی		۰/۱۱۱۵۹۹	۰/۵۹۹۲۸	۰/۰۶۸۴۶	۰/۵۴۵۷۴۷
	ساده		۰/۱۰۷۹۹۴	۰/۵۹۲۰۷۹	۰/۰۱۰۹۹۹	۰/۵۳۹۸۵۳
روش وزن دهی معکوس فاصله	توان ۱		۰/۰۲۴۶۱۴	۰/۵۸۳۱۵۸	۰/۰۳۳۹۷۹	۰/۵۳۳۴۳
	توان ۲		۰/۰۲۰۴۶۹	۰/۵۹۹۱۳۲	۰/۰۲۲۵۱۵	۰/۵۳۶۵۰۴
مدل کوکریجینگ	معمولی	DEM	۰/۱۰۸۷۸۶	۰/۵۹۱۳۳۸	۰/۰۰۹۲	۰/۵۳۴۱۱۷
	ساده		۰/۱۲۱۲۹۳	۰/۵۸۹۹۸۶	۰/۰۰۹۷۳۶	۰/۵۲۴۲۲۲
مدل کوکریجینگ	معمولی	NDVI	۰/۱۱۱۹۰۷	۰/۵۹۲۶۰۱	۰/۰۱۸۵۵۷	۰/۵۴۶۷۲۸
	ساده		۰/۱۱۸۴۶۹	۰/۵۸۴۹۷۹	۰/۰۱۱۸۱۱	۰/۵۳۱۲۴۹



شکل ۵- نقشه پهنه بندی درصد کربن آلی خاک در کل منطقه

با مقایسه دو نقشه سطحی و عمقی کربن آلی خاک مشاهده می شود که با تخلیه ذرات رس از مناطق شمالی، درصد کربن آلی نیز در این مناطق نسبت به خاک زیرین کاهش می یابد. از طرفی کربن آلی منتقل شده با ذرات رس به مناطق جنوبی، به دلیل عدم وجود رابطه پایدار بین اجزای رس و محیط رسوبی جدید تجزیه شده است و مقادیر آن در مناطق جنوبی کمتر از خاک عمقی می باشد. Ferreira و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که با کاهش میزان ماده آلی، نیتروژن و درصد رس خاک متعاقباً میزان فرسایش افزایش می یابد.

نتیجه گیری و پیشنهادها

شناسایی و مطالعات خصوصیات خاک از قبیل درصد کربن آلی خاک یکی از مهمترین مطالعات پایه‌ای برای شناسایی وضعیت منطقه و اصلاح و مدیریت اراضی به شمار می آید. لذا در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی و اندازه‌گیری این پارامتر شرایط و وضعیت خصوصیات خاک در تالاب هامون صابوری به عنوان یکی از مراکز برداشت رسوبات دشت سیستان مورد تحقیق و ارزیابی قرار بگیرد. نتایج تحقیق نشان داد کربن آلی سطحی خاک دارای همبستگی مکانی متوسط می‌باشند که این وابستگی مکانی متغیر تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک و اقلیم منطقه از جمله فرسایش بادی منطقه است. نقشه‌های تهیه شده نشان داد که تغییرات مکانی و توزیع پارامتر کربن آلی سطحی و عمقی در کل منطقه دشت سیستان از غیر یکنواختی بالایی برخوردار بوده است، هرچند این غیریکنواختی در مورد کربن آلی سطحی بیشتر می‌باشد که این امر را می‌توان به علت وجود شرایط رسوب‌گذاری و ماهیت دشت آبرفتی منطقه سیستان و همچنین به دلیل وجود خشکسالی‌های پی در پی و فرسایش ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان دانست. در این مطالعه بر اساس نقشه‌های تهیه شده برای درصد کربن آلی خاک مشخص شد که در منطقه مورد مطالعه میزان کربن آلی خاک با مقدار میانگین ۰/۸۳ درصد در محدوده کمبود قرار دارد و از آنجایی که کربن آلی خاک به عنوان یکی از عوامل پایداری ساختمان خاک می‌باشد، می‌تواند با ایجاد محدودیت برای رشد گیاه باعث افت عملکرد و افزایش فرسایش‌پذیری خاک



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبریزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبریزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



شود. با توجه به نتایج حاصله برای جلوگیری از افزایش میزان فرسایش پذیری و کاهش تخریب خاک ناشی از آن باید تمهیدی جهت افزایش پایداری ساختمان خاک و خاکدانه‌ها صورت پذیرد که این امر در وهله‌ی اول با افزودن ماده آلی به خاک و افزایش رطوبت خاک امکان پذیر خواهد بود.

منابع:

محمدی، ج. ۱۳۸۵- ب. پدومتری: آمار مکانی. انتشارات پلک.

Bameri, A., Khormali, F., Kiani, F., Dehghani, A.A. 2015. Spatial variability of soil organic carbon in different hillslope positions in Toshan area, Golestan Province, Iran: Geostatistical approaches. *J. Mountain Science*. (2015) 12: 1422.

Bogunovic, I., Trevisani, S., Seput, M., Juzbasic, D., Durdevic, B. 2017. Short-range and regional spatial variability of soil chemical properties in an agro-ecosystem in eastern Croatia. *Catena* 154 (2017) 50–62.

Dlugoß, V., Fiener, P., Schneider, K., 2010. Layer-specific analysis and spatial prediction of soil organic carbon using terrain attributes and erosion modeling. *Soil Sci. Soc.Am. J.* 74, 922.

Douaoui, A.E.K., Nicolas, H. and Walter, C. 2006. Detecting Salinity hazard within a semi-arid context by means of combining soil and remote – sensing data. *Geoderma*, 134:217-230

Ferreira, V., T. Panagopoulos¹, R. Andrade¹, C. Guerrero², and L. Loures. 2015. Spatial variability of soil properties and soil erodibility in the Alqueva reservoir watershed. *Solid Earth*, 6, 383–392.

Foroughifar, H., A. A. Jafarzadeh , H. Torabi , A. Pakpour & M. Miransari. 2013. Using Geostatistics and Geographic Information System Techniques to Characterize Spatial Variability of Soil Properties, Including Micronutrients, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44:8,1273-1281, DOI: 10.1080/00103624.2012.758279.

Keskin. H., Grunwald S. 2018. Regression kriging as a workhorse in the digital soil mapper's toolbox, *Geoderma*, Volume 326, Pages 22-41.

Martel, Y. A. and Mackenzie, A. F. 1980. Long-term effects of cultivation and land use on soil quality in Quebec. *Canadian Journal Soil Science*, 60, 411-420.

Minasny, B., McBratney, A.B., 2005. The Matérn function as a general model for soil variograms. In: *Geoderma, Pedometrics 2003*. vol. 128. pp. 192–207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.003>.

Mirzaee, S.; Ghorbani-Dashtaki, S.; Mohammadi, J.; Asadi, H.; Asadzadeh, F., 2016. Spatial variability of soil organic matter using remote sensing data. *Catena* 145, 118–127.

Mulla, D.J., McBratney, A.B., 2002. Soil spatial variability. In: Warrick, A.W. (Ed.), *Soil Physics Companion*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 343–347.

Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 119–137.

Rosemary F., Indraratne S.P., Weerasooriya R. and Mishra U. 2017. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena*, 150:53-61.

Song, Y.Q., yang, I.A., li, B., Hu, Y.M., wang, A.L., Zho, W., Cui, X.S. and liu, Y.L., 2017. Spatial Prediction of Soil Organic Matter Using a Hybrid Geostatistical Model of an Extreme Learning Machine and Ordinary Kriging. *Sustainability*, 9(5), 754, 1-17.

Sun, W., Minasny, B., McBratney, A., 2012. Analysis and prediction of soil properties using local regression-kriging. In: *Geoderma, Entering the Digital Era: Special Issue of Pedometrics 2009*, Beijing 171–172, pp. 16–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2011.02.010>

Vasu D., Singh S.K., Sahu N., Tiwary P., Chandran P., Duraisami V.P., Ramamurthy V., Lalitha M. and Kalaiselvi, B. 2017. Assessment of spatial variability of soil properties using geospatial techniques for farm level nutrient management. *Soil and Tillage Research*, 169: 25-34.

Wang Y.Q. and Shao M.A. 2013. Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of pr china subject to wind and water erosion. *land degradation & development*, 24 (3): 296-304.