تخمین تغییرات ماده آلی خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار و توابع عمق اسپلاین

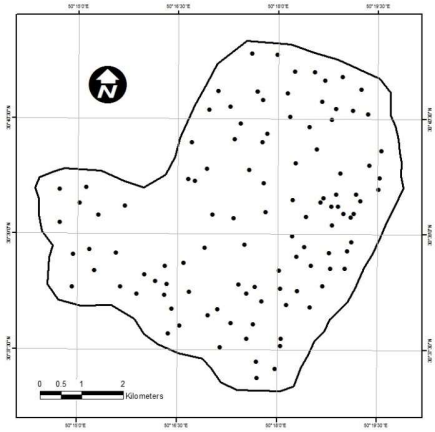
علیرضا امیریان چکان [۱]، صاحب خوردهبین [۲]، روح الله تقی زاده مهرجردی [۳]، شهرام یوسفی خانقاه [۱]
۱- استادیار دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ۲- کارشناس ارشد علوم خاک، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان ۳- استادیار دانشگاه اردکان

چکیده
داشتن داده‌های قابل اعتماد از توزیع پیوسته و سهبعدی ماده آلی اهمیت زیادی در تخمین ذخیره کربن آلی خاک و برآورد استعداد خاک‌ها برای ترسیب و ذخیره کربن دارد. در این مطالعه از ۱۰۹ موقعیت انتخاب شده در اطراف شهرستان بهبهان بر اساس روش نمونه‌برداری مکعب لاتین، نمونه‌های خاک تا عمق یکمتری برداشت شد. معادله عمق اسپلاین به داده‌های به دست آمده تا عمق یکمتری برازش داده شد و مقادیر تخمینی ماده آلی در پنج عمق استاندارد پروژه جهانی نقشه‌برداری رقومی به دست آمد و با استفاده از کریجینگ معمولی نقشه پیوسته ماده آلی برای همه عمق‌ها رسم شد. نتایج بیانگر کارآیی خوب معادلات عمق اسپلاین و روش‌های زمین آماری در نشان دادن تغییرات جانبی و عمودی ماده آلی بود. مقدار خطای تخمین‌ها به طور کلی در لایه‌های سطحی بیشتر از لایه‌های عمقی بود و پیوستگی مکانی مقادیر ماده آلی در همه لایه‌ها در حد متوسط بود.

واژه های کلیدی: معادلات عمق اسپلاین، ماده آلی، کریجینگ

مقدمه
کربن آلی خاک بیانگر حاصل‌خیزی طبیعی خاک و شاخصی رایج از حیات و عملکردهای اکوسیستم است که تخمین ذخایر فعلی و توزیع مکانی آن، گام اول در تخمین ظرفیت ذخیره و ترسیب کربن است (Cambule et al., ۲۰۱۴). به دلیل نقش کربن در تغییرات اقلیمی و سلامت خاک، در سالیان اخیر پیشبینی تغییرات مکانی کربن آلی خاک به یک مبحث مهم و کلیدی تبدیل شده است (Orton et al., ۲۰۱۴). بنابراین تخمینهای قابل اعتماد از کربن آلی خاک و تغییرات مکانی آن برای درک بهتر چرخه جهانی کربن، تخمین ظرفیت ذخیره کربن خاک و اجرای برنامههای ترسیب کربن ضروری میباشد (Mishra et al., ۲۰۱۰).
در بیشتر مطالعات کربن آلی خاک سطحی مورد توجه قرار گرفته است (Kempen et al., ۲۰۱۱) و مقدار کربن خاک عمقی و تغییرات تدریجی آن با عمق کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بررسیها نشان داده است که خواص خاک معمولا به صورت پیوسته و تدریجی با عمق تغییر میکنند (Ponce-Hernandez, ۱۹۸۶) و در نظر نگرفتن این موضوع میتواند منجر به بروز خطا در تخمینها شود. توابع عمق خاک ابزاری هستند که توزیع تدریجی و عمودی کربن آلی در خاک را میتوان توسط آنها مدل‌سازی کرد (Malone et al., ۲۰۰۹) و مقدار ذخیره کربن آلی را در هر عمق مورد نظر تخمین زد (Minansney et al., ۲۰۱۳).
با استفاده از معادلات عمق مقادیر کربن آلی در نقاطی جدا از هم و در اعماق مختلف تخمین زده میشود. ولی در عمل معمولا نیاز به نقشههای پیوسته از تغییرات جانبی متغیر مورد بررسی میباشد. با وجود این که نقشه‌های سنتی حاوی اطلاعات مفیدی در مورد خاک‌ها می‌باشند، ولی تغییرپذیری درون کلاس‌ها را تا حدودی از دید پنهان می‌نمایند (Lark, ۲۰۱۱) که منجر به ایجاد نقشه‌هایی با درجه قطعیت کمتری میشود (McBratney and Webster, ۱۹۸۶). روش‌های زمین آمار راهکاری برای بررسی تغییرات پیوسته متغیرهایی است که به دلایلی از جمله پیچیدگی فرایندها و وابستگی نتایج حاصل از آن‌ها به شرایط اولیه ناشناخته، نمیتوان آن‌ها را با روش‌های جبری تخمین زد (Lark, ۲۰۱۱). هدف از این مطالعه استفاده همزمان از معادلات عمق اسپلاین با سطح یکسان و زمین آمار برای تهیه نقشههای پیوسته تغییرات سه بعدی ماده آلی در اراضی اطراف شهرستان بهبهان در استان خوزستان بود.

مواد و روش‌ها
منطقه مورد بررسی با مساحت حدود ۴۶۰۰ هکتار و ارتفاع حدود ۳۵۰ متر از سطح دریا در شمال شرق شهرستان بهبهان در استان خوزستان واقع گردیده است (شکل ۱). میانگین سالیانه دما ۲۵ درجه سانتی گراد، بارندگی سالیانه ۳۲۳ و تبخیر سالیانه ۳۸۱۴ میلیمتر می باشد. کاربری غالب منطقه زراعت آبی، مرتع و باغ است. بر اساس سیستم جامع رده‌بندی خاکهای منطقه در زیر ردههای Fluvents، Ustepts و Orthents قرار گرفتند (Soil Survey Staff, ۲۰۱۴).



شکل ۱-محدوده مطالعاتی و پراکنش نقاط نمونه‌برداری

بر اساس روش نمونهبرداری مکعب لاتین[۱۶۷] (Minansny and McBratney, ۲۰۰۶)، تعداد ۱۰۹ مکان نمونهبرداری مشخص و نمونههای خاک تا عمق یک متری از افق‌های ژنتیکی برداشت و درصد ماده آلی آن‌ها به روش والکلی و بلک تعیین گردید. در این بررسی معادله عمق اسپیلاین با سطوح یکسان (Malone et al, ۲۰۰۹) به داده‌های ماده آلی خاک اندازه‌گیری شده در اعماق مختلف برازش داده شد و درصد ماده آلی در عمق‌های استاندارد پروژه جهانی نقشه‌برداری رقومی خاک که شامل اعماق ۵-۰، ۱۰-۵، ۳۰-۱۰، ۶۰-۳۰ و ۱۰۰-۶۰ سانتي‌متری مي‌باشد، تخمین زده شد. سپس با استفاده از کریجینگ معمولی نقطه‌ای نقشه پیوسته ماده آلی در اعماق مذکور تهیه گردید.

نتایج و بحث

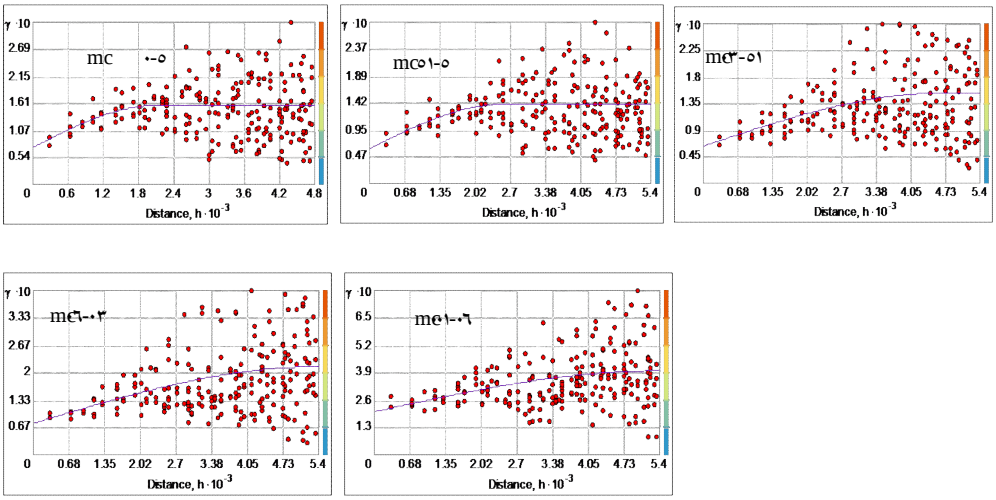
مقادیر تخمینی ماده آلی توسط معادلات عمق در پنج عمق استاندارد در جدول ۱ ارایه شده است. مقدار ماده آلی در سه لایه سطحی بیش از یک درصد و در لایه پنجم به کمترین مقدار خود میرسد. اورتون و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند مقدار ماده آلی در لایههای سطحی بیشترین و در لایههای عمقی کمترین مقدار را داشت. با توجه به مقادیر انحراف معیار، تغییرات ماده آلی در لایههای سطحی نسبت به لایههای عمقی بیشتر است که میتواند بیانگر تاثیر بیشتر انسان روی مقدار ماده آلی لایههای سطحی خاک باشد. میشرا و همکاران (۲۰۰۹) تغییرات زیاد ماده آلی در لایههای سطحی را به تفاوت در نوع خاک‌ها ارتباط دادند.

جدول ۱- خلاصه آماری مقادیر ماده آلی در ۵ عمق استاندارد

عمق (cm)	حداقل (%)	حداکثر (%)	میانگین (%)	انحراف معیار (%)
۵-۰	۶۸/۰	۰۰/۵	۶۱/۱	۷۰/۰
۱۵-۵	۶۲/۰	۷۱/۳	۴۵/۱	۵۷/۰
۳۰-۱۵	۴۳/۰	۱۵/۲	۰۸/۱	۳۹/۰
۶۰-۳۰	۱۷/۰	۴۴/۱	۷۰/۰	۲۹/۰
۱۰۰-۶۰	۰۸/۰	۲۳/۱	۴۹/۰	۲۷/۰

در شکل ۲ واریوگرام‌های تجربی درصد ماده آلی در پنج عمق استاندارد ارایه شده است. واریوگرام‌ها (به خصوص واریوگرامهای دو لایه سطحی) دارای ساختار نسبتا خوب می‌باشند. ساختار خوب واریوگرام می‌تواند بیانگر این باشد که فواصل نمونه برای نشان دادن ساختار مکانی متغیر مورد بررسی مناسب می‌باشد (Liu et al., ۲۰۱۲). همه مدل‌های برازش داده شده دارای واریانس قطعه و سقف می‌باشند. سقف‌دار بودن مدل‌ها یکی از دلایل صادق بودن فرضیات ایستایی نوع دوم است (Oliver and Webster, ۱۹۹۰). واریانس قطعه می‌تواند ناشی از عواملی چون خطای نمونه‌برداری، تغییرات کوتاه دامنه و تغییرات ذاتی باشد (Kerry and Oliver, ۲۰۰۳; Wang et al., ۲۰۰۹).

[۱۶۷] - Latin hypercube sampling



شکل ۲- واریوگرام‌های تجربی درصد ماده آلی در پنج عمق استاندارد

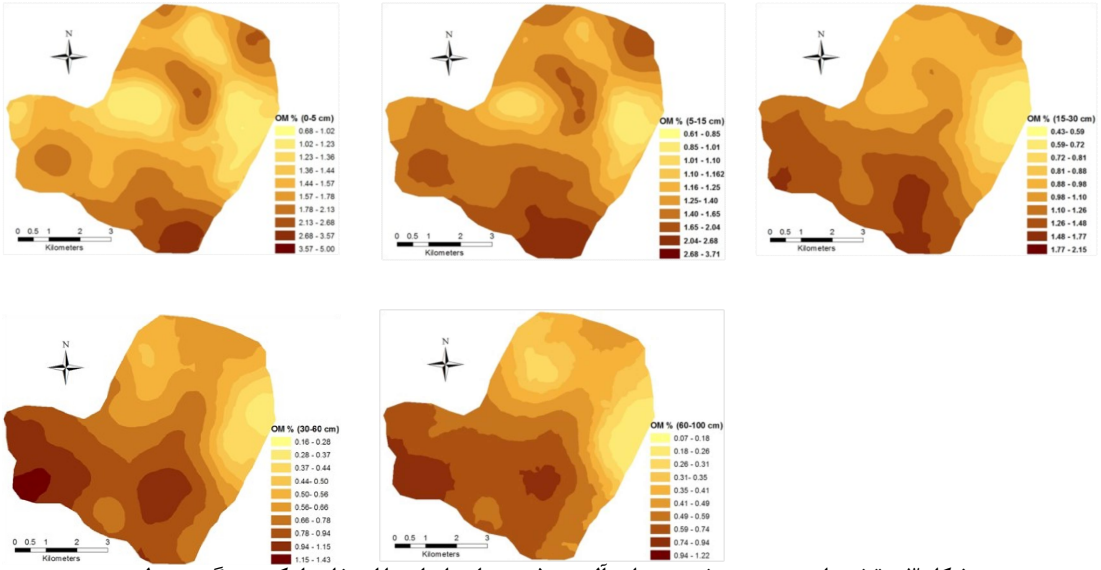
در جدول ۲ مدل‌های برازش داده شده، واریانس قطعه، آستانه، دامنه واریوگرام و نسبت واریانس قطعه به آستانه ارایه شده است. خصوصیاتی با پیوستگی متوسط تا قوی می‌توانند منجر به تولید نقشه‌هایی با کارآیی بالا گردند (Tesfahunegn et al., ۲۰۱۱). در صورتی که واریانس قطعه به آستانه کمتر از ۲۵ درصد باشد پیوستگی مکانی قوی، اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد پیوستگی مکانی متوسط و اگر بیشتر از ۷۵ درصد باشد بیانگر پیوستگی مکانی ضعیف است (Cambardella et al., ۱۹۹۴). نتایج نشان می‌دهد که در واریوگرام‌های همه اعماق نسبت اثر قطعه به آستانه بین ۲۵ تا ۷۵ درصد است که بیانگر پیوستگی متوسط متغیر مورد بررسی است. مقادیر دامنه واریوگرام‌ها از سطح به عمق به ترتیب افزایش یافته است (جدول ۲) که این نشان میدهد در اعماق پایین‌تر پیوستگی مکانی تا فاصله دورتری وجود دارد؛ هر چند که این پیوستگی در لایه‌های پایینی کاهش میابد (بجز در لایه پنجم). دامنه واریوگرام به مقیاس اندازه‌گیری و عوامل موثر بر تغییرات مکانی خاک بستگی دارد (۴). از دامنه می‌توان به عنوان معیاری در انتخاب فواصل نمونه‌برداری در مطالعات بعدی در منطقه و یا مناطق مشابه استفاده کرد (Tesfahunegn et al., ۲۰۱۱). این نتایج نشان میدهند بیشترین دقت تخمین‌ها و بیشترین پیوستگی مکانی مربوط به عمق پنجم است که میتواند به دلیل تغییرات کمتر مقدار ماده آلی در این عمق باشد. مقدار کم انحراف معیار درصد ماده آلی در این عمق (جدول ۱) تایید کنند این مطلب است.

جدول ۲- مدل‌های برازش داده شده به واریوگرام‌های تجربی مقادیر ماده آلی و پارامترهای آنها

عمق (cm)	مدل	آستانه (C)	اثر قطعه (C_0)	$\left(\frac{C_0}{C}\right)*100$	دامنه (m)	گام (m)	تعداد گام	NRMSE (%)
۵-۰	کروی	۱۵۶/۰	۰۷۳/۰	۴۷	۲۰۷۸	۴۰۰	۱۲	۳۹/۰
۱۵-۵	کروی	۱۳۹/۰	۰۶۱/۰	۴۴	۲۵۹۱	۴۵۰	۱۲	۳۵/۰
۳۰-۱۵	کروی	۱۵۲/۰	۰۶۲/۰	۴۱	۴۶۵۷	۴۵۰	۱۲	۳۰/۰
۶۰-۳۰	کروی	۲۱۳/۰	۰۷۶/۰	۳۶	۵۳۳۴	۴۵۰	۱۲	۳۱/۰
۱۰۰-۶۰	کروی	۳۹۷/۰	۲۰۳/۰	۵۱	۵۳۳۴	۴۵۰	۱۲	۴۷/۰

در شکل ۳ تغییرات مکانی ماده آلی خاک در عمقهای مختلف ارایه شده است. بیشترین مقدار ماده آلی در بخشهایی از جنوب و مرکز منطقه دیده می‌شود که دلیل آن وجود باغ‌های مخلوط و اراضی درخت کاری شده و در نتیجه افزایش بیشتر ماده آلی به خاک این مناطق است. مقدار ماده آلی لایه سطحی خاک در بخشهای شرقی، شمالی و قسمتی از مرکز نسبت به سایر بخش‌ها کمتر است. وجود سازند گچساران که شرایط آن برای رشد گیاهان مناسب نیست در بخش‌های شرقی و شمالی و زیر کشت نرفتن اراضی و افزایش کم ماده آلی به دلیل خشکی منطقه در قسمت مرکزی، میتواند عامل کم بودن ماده آلی باشد. این روند کلی در عمق دوم نیز مشاهده می‌شود. در عمق سوم مقدار ماده آلی نسبت به لایههای بالایی کاهش یافته است. در اعماق چهارم و پنجم به دلیل کم شدن تراکم ریشه گیاهان، مقدار ماده آلی خیلی کمتر از لایههای بالاتر است.

فینر و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند کربن آلی در اراضی تحت کشت آبی در جنوب هند بیشترین مقدار و پس از آن اراضی جنگلی و مرتعی دارای بیشترین مقدار ماده آلی بودند. بررسیهای متعدد دیگری بیانگر اهمیت نوع کاربری در مقدار و توزیع کربن آلی خاک بود (مینازنی و همکاران ۲۰۰۶؛ لاکوستی و همکاران، ۲۰۱۴). میشرا و همکاران (۲۰۰۹) یکی از عومل کنترل کننده کربن آلی خاک را شیب دانستند و بیان داشتند که در مناطق شیب دار به دلیل فرسایش و خشکی خاک (زهکشی بهتر) معمولا ماده آلی کمتر است. لیو و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند مقدار ماده آلی علاوه بر کاربری اراضی به خصوصیاتی از قبیل شیب، جهت و شکل شیب بستگی زیادی دارد.



شکل ۳- نقشه‌های پیوسته پیشبینی ماده آلی در ۵ عمق استاندارد با استفاده از کریجینگ معمولی

منابع

Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F. and Konopka A.E.۱۹۹۴. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. J, **۵۸**: ۱۵۰۱-۱۵۱۱.

Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J. and Smaling E.M.A. ۲۰۱۴. Soil organic carbon stocks in the Limpopo National Park, Mozambique: Amount spatial distribution and uncertainty. Geoderma, ۲۱۳: ۴۶-۵۶.

Kempen B., Brus D. and Stoorvogel J.J. ۲۰۱۱. Three-dimensional mapping of soil organic matter content using soil type-specific depth functions. Geoderma, ۱۶۲: ۱۰۷-۱۲۳.

Kerry R. and Oliver M.A. ۲۰۰۳. Variograms of ancillary data to aid sampling for soil surveys. Precision Agriculture, ۴: ۲۶۱-۲۷۸.

Lacoste M., Minasny B., McBratney A., Michot D., Viaud V. and Walter C. ۲۰۱۴. High resolution ۳D mapping of soil organic carbon in a heterogeneous agricultural landscape. Geoderma, ۲۱۳: ۲۹۶-۳۱۱.

Lark R.M. ۲۰۱۰. Two contrasting spatial processes with a common variogram, inference about spatial models from higher-order statistics. European Journal of Soil Science, ۶۱: ۴۷۹-۴۹۲.

Liu F., Zhang G., Sun J., Zhao Y. and Li D. ۲۰۱۲. Mapping the three-dimensional distribution of soil organic matter across a Subtropical Hilly Landscape. Soil Science Society of America Journal, ۷۷: ۱۲۴۱-۱۲۵۳.

Malone B.P., McBratney A.B., Minasny B. and Laslett G.M. ۲۰۰۹. Mapping continuous depth functions of soil carbon storage and available water capacity. Geoderma, ۱۵۴: ۱۳۸-۱۵۲.

McBratney A.B. and Webster R. ۱۹۸۶. Choosing functions for semi-variograms of soil properties and fitting them to sampling estimates. Journal of Soil Science, ۳۷: ۶۱۷-۶۳۹.

Minasny B., McBratney A.B., Mendonca-Santos M. L., Odeh I.O.A. and Guyon B. ۲۰۰۶. Prediction and digital mapping of soil carbon storage in the Lower Namoi Valley. Australian Journal of Soil Research, ۴۴: ۲۳۳-۲۴۴.

Minasny B., McBratney A.B. ۲۰۰۶. A conditioned Latin hypercube method for sampling in the presence of ancillary information. Computers & Geosciences, ۳۲: ۱۳۷۸-۱۳۸۸.
Minasny B., McBratney A.B., Malone B.P., Wheele I. ۲۰۱۳. Digital mapping of soil carbon. Adv . Agron, ۱۱۸: ۱-۴۷.
Mishra U., Lal R., Slater B., Calhoun F., Liu D. and Van Meirvenne M. ۲۰۰۹. Predicting soil organic carbon stock using pro le depth distribution functions and ordinary kriging. Soil Science Society of America Journal, ۷۳: ۶۱۴-۶۲۱.
Oliver M.A. and Webster R. ۱۹۹۰. Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. International Journal of Geographical Information System, ۴: ۳۱۳-۳۳۲.
Orton T.G., Pringle M.J., Page K.L., Dalal R.C., Bishop T.F.A . ۲۰۱۴. Spatial prediction of soil organic carbon stock using a linear model of coregionalisation. Geoderma, ۲۳۰-۲۳۱: ۱۱۹-۱۳۰.
Ponce-Hernandez R., Marriott F.H.C. and Beckett P.H.T. ۱۹۸۶. An improved method for reconstructing a soil profile from analysis of a small number of samples. Journal of Soil Science, ۳۷: ۴۵۵-۴۶۷.
Soil Survey Staff. ۲۰۱۴. Keys to soil taxonomy. Washington. USDA-NRCS.
Tesfahunegn G.B., Tamene L. and Vlek P.L.G. ۲۰۱۱. Catchment-scale spatial variability of soil properties and implications on site-specific soil management in northern Ethiopia. Soil and Tillage Research, ۱۱۷:۱۲۴-۱۳۹.
Wang Y., Zhang X. and Huang C. ۲۰۰۹. Spatial variability of soil total nitrogen and soil total phosphorus under different land uses in a small watershed on the Loess Plateau, China. Geoderma, ۱۵۰: ۱۴۱-۱۴۹.

Abstract

Reliable data of continuous and three-dimensional distribution of soil organic matter (SOM) is very important for the estimation of the carbon sink capacity and soil organic carbon (SOC) sequestration. In this study that was conducted in Khuzestan province, based on Latin hypercube sampling, soil samples were collected from genetic horizons to a depth of one meter. Spline depth function was fitted to the measured SOM and the amounts of SOM at five standard depth intervals were estimated. Ordinary kriging (OK) was employed to map lateral distribution of SOM in the specified depths. Results showed that the combination of spline depth functions and geostatistics techniques may be considered as a powerful tool for depicting lateral and vertical distribution of SOM. In general, the errors of OK predictions were higher in the top layers and the spatial dependence of SOM was moderate in the all five layers.