بررسی تغییرات سه بعدی ماده آلی خاک با استفاده از توابع عمق اسپلاین و نقشهبرداری رقومی

علیرضا امیریان چکان [۱]، صاحب خورده بین [۲]، روح الله تقی زاده مهرجردی [۳]، شهرام یوسفی خانقاه [۴]
۱ -استادیار دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ۲- کارشناس ارشد علوم خاک دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان، ۳- استادیار دانشگاه اردکان، ۴-استادیار دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان

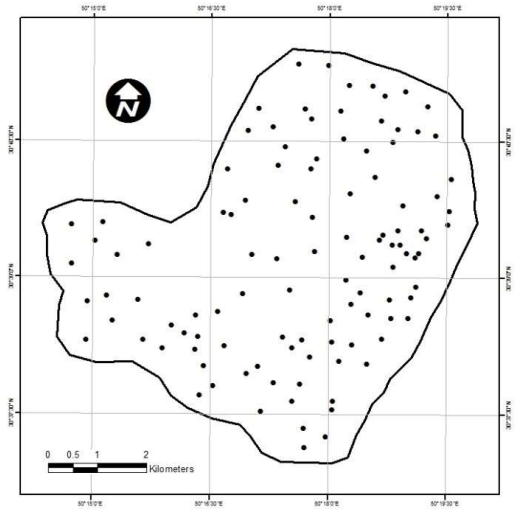
چکیده
اطلاع از چگونگی توزیع جانبی و عمودی ماده آلی خاک اهمیت زیادی در مطالعات زیست محیطی دارد. در این مطالعه بر اساس روش نمونه‌برداری مکعب لاتین از ۱۰۹ مکان در اطراف شهرستان بهبهان نمونه‌های خاک تا عمق یک متری برداشته شد و با برازش معادله عمق اسپیلاین به داده‌های ماده آلی، مقادیر ماده آلی در عمق‌های استاندارد پروژه جهانی نقشه‌برداری رقومی تخمین زده شد. از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تهیه نقشه پیوسته ماده آلی در اعماق مورد نظر با استفاده از داده‌های کمکی مستخرج از تصویر لندست ۸ و DEM استفاده گردید. نتایج بیانگر کارآیی خوب شبکه‌های عصبی و معادلات عمق در تخمین تغییرات سه بعدی مقدار ماده آلی به خصوص در لایه‌های سطحی بود. ضریب تبیین از ۷۸/۰ در لایه اول به ۳۷/۰ در لایه پنجم روند کاهشی داشت. همچنین نقشه‌های به دست آمده بیانگر اهمیت زیاد نوع کاربری، شیب و مواد مادری در توزیع ماده آلی خاک بودند.

واژههای کلیدی: معادلات عمق اسپلاین، مدل اسکورپن، ماده آلی، نقشهبرداری رقومی

مقدمه
کربن آلی خاک شاخص شناخته شدهای از کیفیت خاک است که حاصلخیزی و برخی خواص فیزیکی خاک را کنترل میکند (Johnson et al., ۲۰۰۴) و بزرگترین مخزن کربن در چرخه جهانی کربن است (Grace, ۲۰۰۴). در بیشتر مطالعات کربن آلی خاک سطحی مورد توجه قرار گرفته است (Kempen et al., ۲۰۱۱) و توزیع عمودی کربن و تغییرات تدریجی آن با عمق کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که خواص خاک معمولا به صورت پیوسته با عمق تغییر میکنند (Ponce-Hernandez, ۱۹۸۶)، در نظر نگرفتن این موضوع باعث افزایش خطای تخمین‌ها می‌شود. توابع عمق خاک ابزاری هستند که توزیع تدریجی 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). برای تهیه نقشه پیوسته خصوصیت برآوردی توسط توابع عمق خاک، میتوان از تکنیک نقشهبرداری رقومی استفاده کرد. اساس نقشهبرداری رقومی مدل اسکورپن[۹۸] است که توسط مک براتنی و همکاران برای توصیف رابطه تجربی بین خواص خاک و سایر متغیرهای مرتبط ارایه گردید (McBratney et al., ۲۰۰۳). اولین مرحله در نقشهبرداری رقومی استخراج دادههای کمکی مرتبط با خواص خاک از منابعی مثل تصویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع است. برای استفاده از داده‌های کمکی برای تخمین متغیر مورد نظر می‌توان از روشهایی مثل شبکه‌های عصبی مصنوعی (Malone et al., ۲۰۰۹) و درخت رگرسیون استفاده کرد (Taghizadeh et al., ۲۰۱۴).
استفاده همزمان از معادلات عمق خاک و تکنیک نقشهبرداری رقومی رویکرد مناسبی برای تهیه نقشههای سه بعدی خصوصیات خاک است (Lacoste et al., ۲۰۱۴). در این مطالعه از این رویکرد برای تهیه نقشه تغییرات جانبی و عمودی ماده آلی در اراضی اطراف شهرستان بهبهان در استان خوزستان استفاده گردید.

مواد و روش‌ها
منطقه مورد مطالعه به وسعت حدود ۴۶۰۰ هکتار 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 میباشد. کاربری غالب منطقه زراعت آبی، کشت دیم، مرتع و باغ است. از نظر زمین شناسی منطقه از سازندهای کواترنری و گچساران تشکیل شده است. بر اساس سیستم جامع رده بندی خاک، خاک‌های منطقه نیز در زیر ردههای Fluvents، Ustepts و Orthents قرار دارند (Soil Survey Staff, ۲۰۱۴). بر اساس روش نمونهبرداری مکعب لاتین[۹۹] (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.

[۹۸] - Scorpan
[۹۹] - Latin hypercube sampling



شکل ۱-موقعیت منطقه مطالعاتی و توزیع مکان‌های نمونه‌برداری

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 سانتی‌متری می‌باشد، با استفاده از معادله برازش داده شده تخمین زده شد.
در این مطالعه داده‌های کمکی برای پیش بینی ماده آلی از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و تصویر سنجنده ETM^+ ماهواره لندست ۸ استخراج گردیدند. با آنالیز حساسیت، متغیرهای کمکی موثر در پیش بینی ماده آلی انتخاب و از آنها برای تخمین مقدار ماده آلی در نقاط نمونه‌برداری نشده و تهیه نقشه پیوسته ماده آلی در همه اعماق با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. از کل داده‌ها، ۸۰ درصد برای آموزش و ۲۰ درصد باقیمانده برای تست مدل به طور تصادفی انتخاب شدند.

نتایج و بحث

بر اساس داده‌های ارایه شده در جدول ۱، مقدار ماده آلی در لایه‌های سطحی بیشتر و با افزایش عمق روند کاهشی دارد و در عمق ۶۰ تا ۱۰۰ سانتی متری به کمترین مقدار خود (۴۹/۰ درصد) میرسد. مقادیر انحراف معیار بیانگر تغییرات بیشتر ماده آلی در لایه‌های سطحی نسبت به لایه‌های عمقی است که میتواند بیانگر تغییرات کمتر عوامل کنترل کننده مقدار ماده آلی در لایه‌های عمقی باشد. مینازنی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند مقدار ماده آلی به صورت نمایی با عمق کاهش مییابد. 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 جدول ۲ نتایج کارآیی شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین ماده آلی در پنج عمق استاندارد نشان داده شده است. این نتایج نشان میدهند قابلیت پیشبینی ماده آلی توسط داده‌های کمکی با استفاده از مدل شبکه‌های عصبی به طور کلی در ۳۰ سانتیمتری سطحی خاک بیشتر از لایه‌های عمقی است. مقادیر ضریب تبیین از ۷۸/۰ در لایه سطحی تا ۳۷/۰ در لایه پایین متغیر بود. مقادیر RMSE نرمال شده نیز به طور کلی بیانگر افزایش مقدار خطای پیش بینیها با افزایش عمق بود. میانگین خطا نشان میدهد تخمینها در لایه سطحی مقداری بیشبرآورد شده بودند.

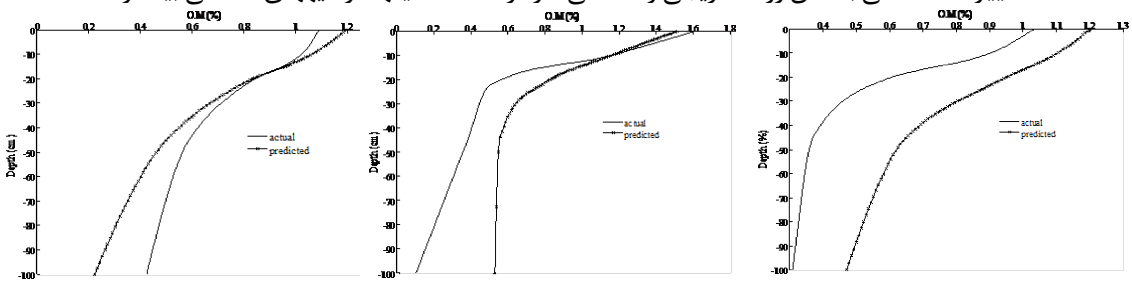
جدول ۲- نتایج ارزیابی مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی در تخمین مقدادر ماده آلی

عمق (cm)	R^2	NRMSE	MAE (%)

۵-۰	۷۸/۰	۲۰/۰	۱۱/۰
۱۵-۵	۷۷/۰	۱۶/۰	۰۱/۰
۳۰-۱۵	۷۲/۰	۲۰/۰	-۰۱/۰
۶۰-۳۰	۵۲/۰	۲۸/۰	-۰۱/۰
۱۰۰-۶۰	۳۷/۰	۴۲/۰	-۰۳/۰

ملانو و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند دقت تخمین مقادیر کربن با افزایش عمق کاهش مییابد. کمپن و همکاران (۲۰۱۱) در هلند و لیو همکاران (۲۰۱۲) در چین به نتایج مشابهی رسیدند و علت آن را کاهش توانایی شاخصهای به دست آمده از تصاویر ماهوارهای و DEM در پیش بینی تغییرات ماده آلی با افزایش عمق دانستند.

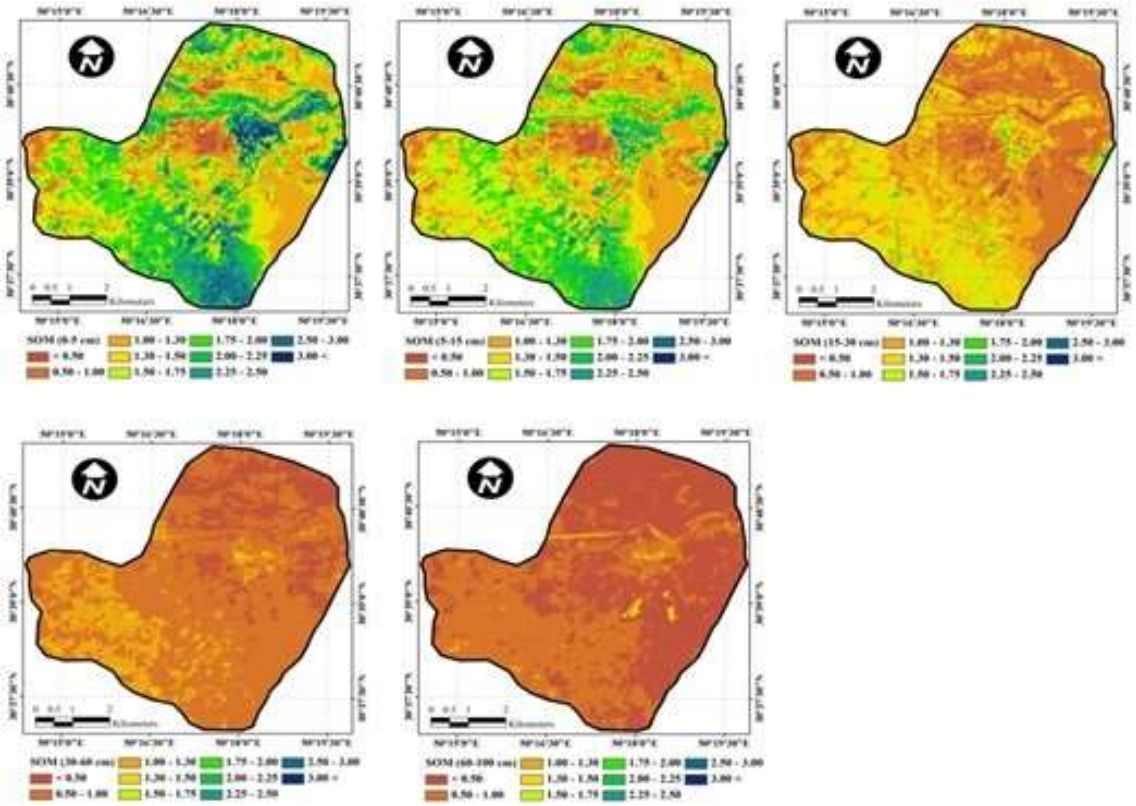
در شکل ۲ معادلات عمق برازش داده شده به دادههای واقعی و دادههای تخمینی برای سه نیمرخ خاک به عنوان نمونه نشان داده شده است. تغییرات ماده آلی با عمق روند تدریجی و کاهشی دارد و دقت تخمینها در لایههای سطحی بیشتر است.



شکل ۲- معادلات عمق برازش داده شده به مقادیر واقعی و مقادیر تخمینی ماده آلی در سه نیمرخ خاک انتخاب شده

نقشه توزیع مکانی ماده آلی خاک در عمقهای مختلف در شکل ۳ ارایه شده است. بیشترین مقدار ماده آلی مربوط به بخشهایی از جنوب و مرکز منطقه مورد مطالعه است که دلیل آن وجود باغ در این منطقه و در نتیجه بالا بودن درصد ماده آلی است. کمترین مقادیر ماده آلی لایه سطحی در بخشهای شرقی، شمالی و قسمتی از مرکز منطقه مشاهده میشود. در بخشهای شرقی و شمالی وجود سازند گچساران که شرایط آن برای رشد گیاهان نامناسب است و در بخش مرکزی زیر کشت نرفتن اراضی و افزایش کم ماده آلی به دلیل خشکی منطقه، میتواند عامل کم بودن ماده آلی باشد. این روند کلی در عمق دوم نیز مشابه عمق اول است. در عمق سوم مقدار ماده آلی نسبت به لایههای بالایی کاهش یافته است. در اعماق چهارم و پنجم مقدار ماده آلی خیلی کمتر از لایههای بالاتر است ولی در بخشهای جنوب شرق منطقه، مقدار ماده آلی کمی بیشتر از جاهای دیگر است که میتواند به دلیل آبیاری اراضی و در نتیجه افزایش ماده آلی در این قسمتها باشد.

مینازنی و همکاران (۲۰۰۶) نشان دادند کاربری اراضی تاثیر زیادی روی مقدار کربن آلی خاک دارد و اراضی تحت پوشش جنگلی دارای بیشترین مقدار کربن آلی و اراضی زراعی دارای کمترین مقدار بودند. لاکوستی و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند مهمترین عمل در توزیع و مقدار کربن آلی خاک نوع کاربری اراضی بود. میشرا و همکاران (۲۰۰۹) یکی از عومل کنترل کننده کربن آلی خاک را شیب دانستند و بیان داشتند که در مناطق شیبدار به دلیل فرسایش و زهکشی بهتر خاک، معمولا ماده آلی کمتر است. لیو و همکاران (۲۰۱۲) نشان دادند مقدار ماده آلی به نوع کاربری اراضی و خصوصیات اراضی از قبیل شیب، جهت و شکل شیب، بستگی زیادی دارد. در بررسی انجام شده در اراضی لسی چین نیز نتایج مشابهی به دست آمد (Zhangbao et al., ۲۰۱۵).



شکل ۳- نقشه‌های پیوسته پیشبینی ماده آلی در ۵ عمق استاندارد

منابع

Grace J. ۲۰۰۴. Understanding and managing the global carbon cycle. Journal of Ecology, ۹۲: ۱۸۹ -۲۰۲.

Johnston C.A., et al. ۲۰۰۴. Carbon cycling in soil. Frontiers in Ecology and the Environment, ۲: ۵۲۲-۵۲۸.

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.

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.

Liu F., Zhang G., Sun J. and Zhao Y. 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., Mendonça-Santos M.L. and Minasny B. ۲۰۰۳. On digital soil mapping. Geoderma, ۱۱۷: ۳-۵۲.

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. and Wheeler 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.

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.

Taghizadeh Mehrjerdi R., Amirin Chakan A. and Sarmadian F. ۲۰۱۴. ۳D digital mapping of soil cation exchange capacity in Dorud, Lorestan province. Journal of Water and Soil, ۲۸: ۹۹۸ -۱۰۱۰.

Zhongbao X., Yunbin Q. and Xinxiao Y. ۲۰۱۵. Spatial variability in soil organic carbon and its influencing factors in a hilly watershed of the loess Plateau. China, Catena.

Abstract

Information on three dimensional distribution of soil organic matter (SOM) is very important in natural resources monitoring. In present study that was conducted at Khuzestan province, based on Latin hypercube sampling, soil samples were collected from genetic horizons to a depth of one meter. By fitting a spline depth function to the measured SOM, the amounts of SOM at five depth intervals were estimated. Artificial neural networks were employed to map lateral distribution of SOM at predefined depths using ancillary data derived from digital elevation model (DEM) and Land sat ۸ images. Results showed soil depth function and digital soil mapping (DSM) had good performance in ۳-dimensional mapping of SOM especially in top soils. $R^{۲}$ values varied from ۰.۷۸ at the upper layer to ۰.۳۷ at the lower layer. Continuous maps of SOM indicated the main factors influencing the distribution of SOM were land uses, slope and parent materials.