بررسی رابطه کربن آلی خاک و شاخص‌های توپوگرافی در مزراع گندم دیم

فاطمه بابائی [۱]، علی‌رضا واعظی [۲]، مهدی طاهری [۳]، محسن احدنژاد روشتی [۴]
۱-دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک دانشگاه زنجان ، ۲-دانشیار گروه خاکشناسی دانشگاه زنجان، ۳-عضو هیئت علمی مرکز پژوهشات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، ۴-دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه زنجان

چکیده
کربن آلی خاک از عوامل مهمی است که بر سلامت خاک، آب و اتمسفر مؤثر است. هدف از این پژوهش ارائه مدلی است که با استفاده از شاخص‌های توپوگرافی، کربن آلی خاک را توسط رگرسیون خطی چند متغیره برآورد نماید. بدین منظور، ۸۰ نمونه خاک به صورت تصادفی در ۳ تکرار از مزارع دیم گندم واقع در شهرستان خدابنده، زنجان در سال ۱۳۹۲ تهیه شد. درصد کربن آلی، در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. شاخص‌های توپوگرافی مختلفی با استفاده از مدل ارتفاع رقومی برای محدوده شهرستان خدابنده تعیین شد. نتایج این مطالعه نشان داد که در میان شاخص‌های توپوگرافی محاسبه شده، شاخص خیسی توپوگرافی، درصد شیب و انحنای حداکثر دارای همبستگی معنی داری با میزان کربن آلی خاک بودند. همچنین با توجه به نتایج رگرسیونی خطی گام به گام، شاخص خیسی توپوگرافی قادر به توجیه ۳۴ درصد از تغییرات کربن آلی خاک بود و رابطه ارائه شده در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

واژه های کلیدی: مدل ارتفاع رقومی، شاخص خیسی، انحنای حداکثر، شیب

مقدمه
کربن آلی خاک عامل مهمی است که بر سلامت و کیفیت خاک و آب، عملکرد محصول، گرم شدن زمین و شرایط اکوسیستم‌های مختلف مؤثر است (Lal, ۲۰۰۴). کربن آلی با تاثیر بر برخی از ویژگی‌های خاک، در بهبود کیفیت خاک از نقطه نظر تولید محصول و حفاظت خاک و آب ایفای نقش دارد. یکی از مهمترین دغدغه‌های پژوهشگران بررسی عوامل مؤثر بر میزان کربن آلی خاکها در شرایط و مقیاس‌های مختلف است (Guo and Gifford, ۲۰۰۲; Hook and Burke, ۲۰۰۰; Terra et al., ۲۰۰۴). به نظر می‌رسد که مقدار کربن آلی در خاک تابعی از اثرات متقابل اقلیم، پوشش گیاهی، زهکشی، مدیریت زراعی و کاربری اراضی و ویژگی‌های ذاتی خاک از جمله بافت خاک، کانی شناسی و ساختمان خاک است (Ayoubi et al., ۲۰۱۲).
توپوگرافی یکی از پنج عامل مهم خاکسازی است که بر فرآیندهای تشکیل خاک و فرسایش خاک مؤثر است (Buol et al., ۲۰۱۱; Sharma, ۲۰۱۰). فرسایش آبی خاک به طور جهانی مسئول تحرک ۱ گیگاتن کربن آلی در سال است (Renwick et al., ۲۰۰۴). از این رو توپوگرافی می‌تواند از عوامل مهم بر میزان کربن آلی در خاک باشد. موقعیت‌های مختلف توپوگرافی از نظر حفظ رطوبت خاک و ایجاد شرایط مناسب برای استقرار گیاهی و در نتیجه میزان انباشته شدن و تجزیه کربن آلی در خاک مؤثر باشند (Penna et al., ۲۰۰۹). مطالعات مختلفی تاکنون برای بررسی برخی از شاخص‌های توپوگرافی بر میزان کربن آلی خاک صورت گرفته است. محققان گزارش کرده‌اند که شیب با کلاس خاک، ماده مادری، میزان pH، کربن آلی و ازت خاک دارای همبستگی معنی‌دار منفی است (Wiesmeier et al., ۲۰۱۳). در پژوهشی که در فلات لسی چین در یک حوزه آبخیز انجام شد محققان گزارش کردند که الگوهای توزیع مکانی کربن آلی مشابه الگوهای ساختار توپوگرافی و کاربری اراضی است (Wang et al., ۲۰۰۹). همچنین نتایج پژوهش دیگری نشان داد که شاخص خیسی با میزان کربن آلی خاک همبستگی دارد. شاخص خیسی[۱۹۷] شاخصی از توپوگرافی است که توازن بین میزان رطوبت خاک و زهکشی را در مقیاس محلی نشان می‌دهد (Pei et al., ۲۰۱۰). ملکی و همکاران (۱۳۹۳) برای برآورد مکانی کربن آلی خاک بر اساس شاخص‌های توپوگرافی مختلف از روشهای زمین آماری در بخشی از اراضی شیب دار و لسی منطقه توشن، استان گلستان کردند. نتایج پژوهش‌های آنها نشان داد که شاخص خیسی دارای همبستگی مکانی بالایی با میزان کربن آلی بود. نقشه‌های درونیابی حاصل از مطالعه آن‌ها نشان داد که با افزایش درجه شیب مقدار کربن آلی خاک کاهش می‌یابد.
اهداف این پژوهش ۱) تعیین شاخص‌های توپوگرافی مؤثر بر میزان کربن آلی خاک و ۲) بررسی اثر آن‌ها بر میزان کربن آلی و ۳) در صورت امکان ارائه و ارزیابی مدلی برای برآورد کربن آلی است.

مواد و روش‌ها
مطالعه حاضر در سال زراعی ۱۳۹۲ و در شهرستان خدابنده استان زنجان در سطح دیمزارهای گندم دیم صورت گرفت. با مراجعه به منطقه مورد مطالعه، نمونه برداری خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر از دیمزارهای گندم و مختصات جغرافیایی با دستگاه موقعیت‌یاب جهانی[۱۹۸] (GPS) ثبت شد. در کل ۸۰ نمونه تهیه شد. شکل (۱) موقعیت شهرستان مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری را

[۱۹۷]-Topographic wetness index
[۱۹۸]-Global positioning system

نشان می‌دهد. سپس در آزمایشگاه مقدار کربن آلی (OC) به روش سوزاندن تر (Nelson and Sommer, ۱۹۸۲) اندازه‌گیری شد. شاخص‌های توپوگرافیک مختلف شامل درصد شیب، انحنای قائم[۱۹۹]، انحنای افقی[۲۰۰]، انحنای مماسی[۲۰۱]، انحنای عمومی[۲۰۲]، انحنای حداقل[۲۰۳]، انحنای حداکثر[۲۰۴]، انحنای طولی[۲۰۵] و شاخص خیسی با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی[۲۰۶] (DEM) با ابعاد سلول ۸/۷۲ متر × ۸/۷۲ متر، توسط نرم افزار SAGA نسخه ۲.۱.۴ و ArcGIS نسخه ۱۰.۳ برای نقاط نمونه‌برداری بدست آمدند. ابتدا تمام متغیرهای (شاخص‌های توپوگرافی و کربن آلی خاک) از نظر نرمال بودن بررسی شدند و در صورت عدم نرمال بودن از روش تبدیل جانسون[۲۰۷] با استفاده از نرم افزار Minitab نسخه ۱۶ برای نرمال کردن آن‌ها استفاده شد. میزان کربن آلی از توزیع نرمال تبعیت می‌کرد اما ویژگی‌های توپوگرافیک هیچکدام از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کردند. با استفاده از روش همبستگی پیرسون، ضرایب همبستگی بین تمام متغیرها (n=۸۰) بررسی شد و متغیرهایی که در سطح احتمال ۹۵ درصد، دارای همبستگی معنی‌داری با میزان کربن آلی خاک بودند، به عنوان ورودی‌های رگرسیون چند متغیره خطی گام به گام انتخاب شدند. رابطه خطی ارائه شده با استفاده از روش اعتبارسنجی ضربدری ارزیابی شد. از نرم افزار R به این منظور استفاده شد.

نتایج و بحث

میانگین و ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱-میزان کربن آلی و شاخص‌های توپوگرافی نرمال شده در محل‌های نمونه برداری

ویژگی های مورد مطالعه	میانگین	ضریب تغییرات
کربن الی	۹۸/۰	۵۴/۰
درصد شیب	۵۱/۴	۰۵/۱
انحنای قائم	-۵/۷×۱۰$^{-۵}$	-۹۶/۵
انحنای افقی	۰۰۰۷/۰	۰۶/۲۱
انحنای مماسی	×۱۰$^{-۶}$ -۵۲/۳	-۶۶/۱۰۸
انحنای عمومی	-۰۰۰۲/۰	-۶۴/۸
حداقل انحنا	-۰۰۰۳/۰	-۴/۱
انحنای حداکثر	۰۰۰۲/۰	۶۹/۱
انحنای طولی	-۰۰۰۱/۰	-۴/۶
شاخص خیسی	۱۱/۱۰	۲۵/۰

طبق جدول (۲) کربن آلی بیشترین همبستگی را با میزان شاخص خیسی (r = ۵۹/۰) دارد که در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار است. همینطور ضرایب همبستگی معنی‌داری بین کربن آلی و شیب (r = -۳۷/۰) و همینطور کربن آلی و حداکثر انحنا (r = -۳۴/۰) وجود دارد که هر دو در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار هستند. این نتایج حاکی از آن است که با افزایش میزان شاخص خیسی میزان کربن آلی در خاکهای منطقه افزایش نشان می‌دهد. این یافته‌ها با نتایج پژوهش Wiesmeier et al. (۲۰۱۳) که گزارش کردند شاخص خیسی با کلاس خاک، ماده مادری، میزان pH، کربن آلی و ازت خاک دارای همبستگی معنی‌دار مثبت است، مطابقت دارد. میزان افزایش شاخص خیسی با افزایش تجمع آب و میزان رطوبت خاک در ارتباط است (Schwanghart and Jarmer, ۲۰۱۱). از این رو، افزایش آن احتمالاً با ایجاد شرایط مساعد برای خاکسازی و استقرار گیاه و تجمع کربن آلی در ارتباط است. افزایش شیب و انحنای حداکثر (تحدب) موجب کاهش کربن آلی می‌گردد. افزایش شیب به دلیل کاهش تشکیل خاک، افزایش فرسایش خاک و رواناب شرایط نامناسبی برای استقرار پوشش گیاهی و تجمع کربن آلی ایجاد می‌شود. این نتیجه با یافته‌های محققان دیگر نیز مطابقت نشان داد (Hook and Burke, ۲۰۰۰; Terra et al., ۲۰۰۴). در کل موقعیت‌های مختلف روی شیب در میزان توزیع کربن آلی به دلیل فرسایش خاک و رسوبگذاری خاک موثر می‌باشد. در شیب‌های محدب میزان سرعت رواناب و فرسایش خاک بالاست و از این رو

[۱۹۹]-Profile curvature
[۲۰۰]-Plan curvature
[۲۰۱]-Tangential curvature
[۲۰۲]-General curvature
[۲۰۳]-Minimal curvature
[۲۰۴]-Maximal curvature
[۲۰۵]-Longitudinal curvature
[۲۰۶]-Digital elevation model
[۲۰۷]-Johnson transformation

شستشو و هدررفت خاک و کربن آلی نیز بالاست (Ritchie et al., ۲۰۰۷). پژوهش‌های قبلی نیز نشان داده که میزان کربن آلی خاک در شیب‌های محدب کم و در شیب‌های مقعر بیشتر است (Ritchie et al., ۲۰۰۷; Yoo et al., ۲۰۰۶).

جدول ۲- ضرایب همبستگی پیرسون برای کربن آلی و شاخص‌های نرمال شده توپوگرافی

متغیر	درصد شیب	انحنای قائم	انحنای افقی	انحنای مماسی	انحنای عمومی	انحنای حداقل	انحنای حداکثر	انحنای طولی	شاخص خیسی
کربن الی	-۳۷۴/۰**	-۱۳۴/۰	-۱۷۰/۰	-۱۴۲/۰	-۱۴۸/۰	۰۴۳/۰	-۳۴۰/۰**	-۱۳۱/۰	۵۹۲/۰**

** معنی داری در سطح احتمال ۹۹ درصد

در پژوهشی Moore et al. (۱۹۹) نیز گزارش کردند که در بین شاخص های توپوگرافی، شیب به عنوان یکی از شاخص‌های اولیه و شاخص خیسی به عنوان یکی از شاخص‌های ثانویه توپوگرافی، بیشترین توانایی را برای توجیه تغییرات ویژگی‌های خاک دارند. نتایج پژوهش دیگری نیز نشان داد که شیب و شاخص خیسی قادر به توجیه ۴۲ درصد از تغییرات زمانی رطوبت خاک می‌باشند (Penna et al., ۲۰۰۹). نتایج آزمون همبستگی با نتایج پژوهش Yoo et al. (۲۰۰۶) مغایرت داشت و در مطالعه آنها میزان کربن آلی با انحنای توپوگرافی همبستگی نشان نداد که احتمالاً به دلیل تفاوت شرایط مطالعه آن‌ها می‌باشد. معادله رگرسیونی (۱) رابطه بین کربن آلی (درصد) و شاخص خیسی نرمال شده را نشان می دهد. طبق این رابطه، شاخص خیسی نرمال شده قادر است ۳/۳۴ درصد تغییرات درصد کربن آلی را در سطح احتمال ۹۹درصد در اراضی گندم استان زنجان توجیه کند.

$$OC=۰.۱۲۴۴\ nTWI+۰.۶۹۴۹ \quad (R^{۲}=۰.۳۴۳) \qquad [۱]$$

که در آن: OC، کربن آلی (درصد)، nTWI شاخص خیسی نرمال شده بر اساس تبدیل جانسون (بدون واحد) است. رابطه (۲) معادله تبدیل جانسون برای شاخص خیسی نرمال شده را نشان می‌دهد.

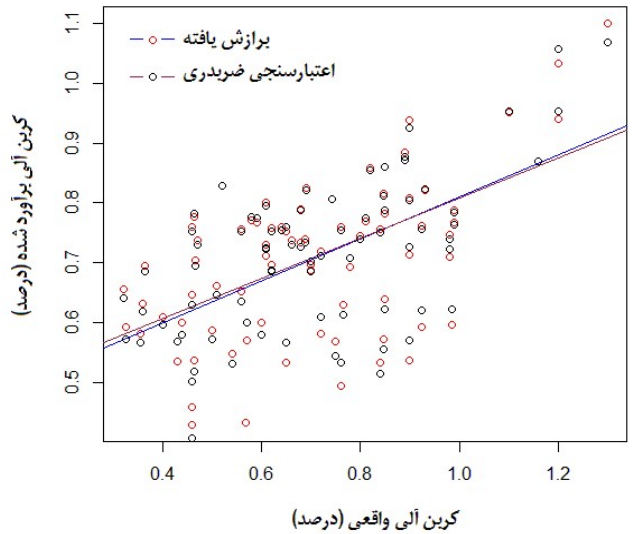
$$nTWI=۰.۱۰۸۸۰۰+۱.۲۰۹۸۳\ Asinh((TWI-۹.۳۹۱۴۹)/۲.۳۴۹۵۹) \qquad [۲]$$

که در آن، nTWI تعریف قبلی و TWI شاخص خیسی (بدون واحد) است. در پژوهش انجام شده توسط Wiesmeier et al. (۲۰۱۳)، رابطه رگرسیونی برای مدلسازی کربن آلی بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی و خاک ارائه شد که تنها قادر بود ۱۹ درصد از تغییرات کربن آلی را در اراضی زراعی توجیه کند و پارامتر اصلی در مدل رگسیونی شاخص خیسی بود. جدول (۳) تجزیه واریانس رابطه رگرسیونی را نشان می‌دهد. مدل نهایی ارائه شده توسط رگرسیون گام به گام زمانی بیشترین دقت را در برآورد میزان کربن آلی نشان داد که تنها عامل ورودی شاخص خیسی بود. طبق نتایج جدول مذکور، این مدل در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود.

جدول ۳- تجزیه واریانس رابطه رگرسیونی چند متغیره خطی گام به گام (تک متغیره)

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	مقدار F
رگرسیون	۱	۳/۱	۳۴/۱	۱۶/۴۲**
خطا	۷۸	۴۹/۲	۰۳/۰	

** معنی داری در سطح احتمال ۹۹ درصد



شکل ۱- برازش کربن آلی برازش یافته و اعتبار سنجی آن بر داده‌های واقعی کربن آلی

شکل(۱) کربن آلی برآورد شده بر اساس رابطه ارائه شده توسط مدل رگرسیون خطی و همچنین اعتبارسنجی ضربدری رابطه مذکور را نشان می‌دهد. برای اعتبارسنجی ضربدری R^2 برابر با ۳۲/۰ بود که در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی دار بود و RMSE نیز برابر با ۱۸/۰ بدست آمد.

به طور کلی، نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که کربن آلی در خاک‌های مورد مطالعه تحت تأثیر مثبت شاخص خیسی قرار دارد. افزایش مقدار این عامل موجب افزایش کربن آلی در خاکهای منطقه مورد مطالعه می‌گردد. از طرفی افزایش شیب و انحنای حداکثر (تحدب) نیز موجب کاهش میزان کربن آلی در اراضی مورد مطالعه گردید. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد که شاخص خیسی قادر به توجیه ۳۴ درصد از تغییرات کربن آلی در اراضی مناطق نیمه خشک است. این پژوهش تنها اثر شاخص‌های توپوگرافی را در اراضی گندم دیم مورد بررسی قرار داد، بدیهی است که سایر عوامل از جمله پارامترهای اقلیمی مانند بارندگی و دما، ویژگی‌های خاک، مدیریت زراعی و کاربری اراضی و غیره می‌توانند به نوبه خود نقش مهمی در تعیین میزان کربن آلی در اراضی این منطقه و سایر مناطق داشته باشد که می‌توان در پژوهش‌های آتی به آن‌ها پرداخت.

منابع

ملکی، ص. خرمالی، ف. و کریمی، ع. ۱۳۹۳. نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، جلد ۲۸، شماره ۲، صفحه های ۴۵۹ تا ۴۶۸.

Ayoubi S, Mokhtari Karchegani P, Mosaddeghi M R and Honarjoo N. ۲۰۱۲. Soil aggregation and organic carbon as affected by topography and land use change in western Iran. Soil and Tillage Research, ۱۲۱ : ۰, ۱۸-۲۶.

Buol S W, Southard R J, Graham R C and McDaniel P A. ۲۰۱۱. Soil genesis and classification, John Wiley & Sons.

Guo L B and Gifford R M. ۲۰۰۲. Soil carbon stocks and land use change : a meta analysis. Global Change Biology, ۸ : ۴, ۳۴۵-۳۶۰.

Hook P B and Burke I C. ۲۰۰۰. BIOGEOCHEMISTRY IN A SHORTGRASS LANDSCAPE : CONTROL BY TOPOGRAPHY, SOIL TEXTURE, AND MICROCLIMATE. Ecology, ۸۱ : ۱۰, ۲۶۸۶-۲۷۰۳.

Lal R. ۲۰۰۴. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. science, ۳۰۴ : ۵۶۷۷, ۱۶۲۳-۱۶۲۷.

Moore I D, Gessler P, Nielsen G and Peterson G. ۱۹۹۳. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science Society of America Journal, ۵۷ : ۲, ۴۴۳-۴۵۲.

Nelson D W and Sommer L E. ۱۹۸۲. Total carbon, organic carbon, and organic matter, in Page, A. L., ed., Methods of Soil Analysis:, (Volume) Chemical and Microbiological Properties ASA Monograph, ۹ pp. (۵۳۹-۵۷۹), Madison, American Society of Agronomy.

Pei T, Qin C-Z, Zhu A X, Yang L, Luo M, Li B and Zhou C. ۲۰۱۰. Mapping soil organic matter using the topographic wetness index : A comparative study based on different flow-direction algorithms and kriging methods. Ecological Indicators, ۱۰ : ۳, ۶۱۰-۶۱۹.

Penna D, Borga M, Norbiato D and Dalla Fontana G. ۲۰۰۹. Hillslope scale soil moisture variability in a steep alpine terrain. Journal of Hydrology, ۳۶۴ : ۳-۴, ۳۱۱-۳۲۷.

Renwick W, Smith S, Sleezer R and Buddemeier R W. ۲۰۰۴. Comment on" managing soil carbon"(ii). Science, ۳۰۵ : ۵۶۹۰, ۱۵۶۷-۱۵۶۷.

Ritchie J C, McCarty G W, Venteris E R and Kaspar T C. ۲۰۰۷. Soil and soil organic carbon redistribution on the landscape. Geomorphology, ۸۹ : ۱-۲, ۱۶۳-۱۷۱.

Schwanghart W and Jarmer T. ۲۰۱۱. Linking spatial patterns of soil organic carbon to topography—a case study from south-eastern Spain. Geomorphology, ۱۲۶ : ۱, ۲۵۲-۲۶۳.

Sharma A. ۲۰۱۰. Integrating terrain and vegetation indices for identifying potential soil erosion risk area. Geo-spatial Information Science, ۱۳ : ۳, ۲۰۱-۲۰۹.

Terra J, Shaw J, Reeves D, Raper R, Van Santen E and Mask P. ۲۰۰۴. Soil carbon relationships with terrain attributes, electrical conductivity, and a soil survey in a coastal plain landscape. Soil science, ۱۶۹ : ۱۲, ۸۱۹-۸۳۱.

Wang Y-Q, Zhang X-C, Zhang J-L and Li S-J. ۲۰۰۹. Spatial Variability of Soil Organic Carbon in a Watershed on the Loess Plateau. Pedosphere, ۱۹ : ۴, ۴۸۶-۴۹۵.

Wiesmeier M, Hü bner R, Barthold F, Sp rlein P, Geu U, Hangen E, Reischl A, Schilling B, von Lü tzow M and K gel-Knabner I. ۲۰۱۳. Amount, distribution and driving factors of soil organic carbon and nitrogen in

cropland and grassland soils of southeast Germany (Bavaria). Agriculture, Ecosystems & Environment, ۱۷۶: ۰, ۳۹-۵۲.

Yoo K, Amundson R, Heimsath A M and Dietrich W E. ۲۰۰۶. Spatial patterns of soil organic carbon on hillslopes: Integrating geomorphic processes and the biological C cycle. Geoderma, ۱۳۰: ۱-۲, ۴۷-۶۵.

Abstract

Soil organic carbon is a crucial parameter that effects soil quality and health, crop yield and global warming and various ecosystems condition. The present research scope was developing a model using topographic indices which was able to estimate the soil organic carbon by multivariate linear regression. Therefore, ۸۰ soil samples in ۳ replicates were collected randomly from rainfed wheat farms located in Khodabandeh county, Zanjan, in ۲۰۱۳. Soil organic carbon was measured in the laboratory. Various topographic indices were calculated using digital elevation model for the Khodabandeh county extent. The results revealed that among all the calculated topographic indices, topographic wetness index, slope steepness and maximal curvature were correlated to soil organic carbon, significantly. Also, regarding the stepwise linear regression, topographic wetness index could describe ۳۴ percentages of soil organic carbon variations and the presented relationship were significant in ۹۹ percentage probability level.