عوامل کنترل کننده توزیع مکانی کربن آلی خاک در یک دشت نسبتا مسطح

محمدرضا پهلوان راد[۱] و علیرضا اکبری مقدم[۲]
[۱]استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران؛ [۲]کارشناس ارشد بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی سیستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زابل، ایران.
pahlavanrad@gmail.com

چکیده

اطلاع از توزیع مکانی کربن آلی خاک و فاکتورهای کنترل کننده آن برای مدیریت اراضی مناطق خشک ضروری است. در پژوهش حاضر مقادیر، توزیع و متغیرهای کمکی محیطی موثر بر توزیع کربن آلی خاک در سطح ۴۱۰۰۰ هکتار از اراضی زهک دشت سیستان بررسی شدند. تعداد ۴۶۰ نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ سانتیمتر با فواصل ۷۵۰ متری برداشت و کربن آلی خاک اندازه‌گیری شد. متغیرهای کمکی شامل خصوصیات اولیه و ثانویه مستخرج از مدل رقومی، داده‌های سنجش از دور و نقشه اجزای بافت خاک و کاربری اراضی بودند. از تکنیک درختان تصمیم‌گیری تصادفی جهت ایجاد ارتباط بین کربن آلی خاک و متغیرهای محیطی استفاده شد. نتایج نشان داد که کربن آلی خاک در محدوده مطالعاتی با میانگین ۰/۳۲ درصد از ۰/۰۱ تا ۱/۴ درصد متغیر بود. نقشه رس خاک، شاخص شوری و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده دارای بیشترین اهمیت در تخمین مکانی کربن آلی خاک بودند. نقشه های پیش‌بینی شده نشان داد که قسمت‌های دارای رس بیشتر داری کربن بالاتری بودند. مناطقی که دارای شوری خاک بالا و فرسایش بادی بودند کربن کمتری داشتند.

واژه های کلیدی: درختان تصمیم‌گیری تصادفی، مناطق خشک، مدل‌سازی.

مقدمه

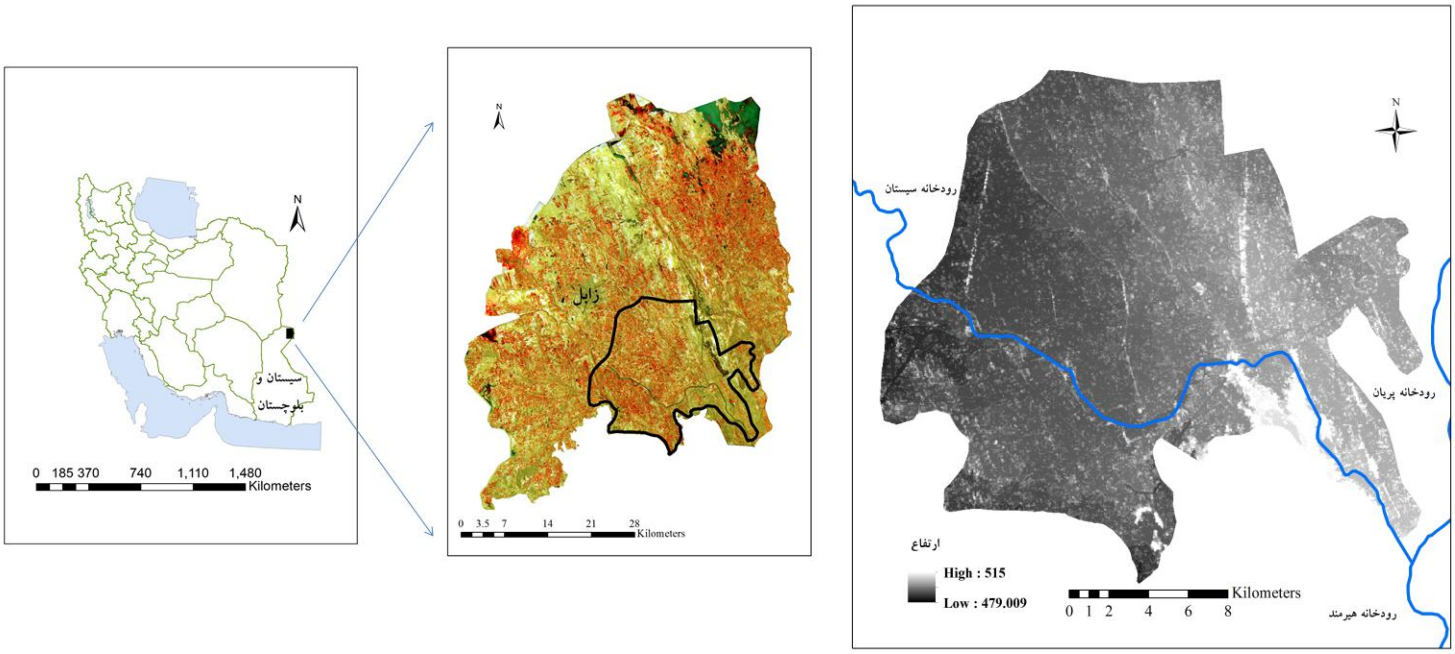
سنجش مقدار و توزیع مکانی کربن آلی خاک اهمیت زیادی دارد زیرا اطلاعات مهمی درباره وضعیت حاصلخیزی خاک، مقدار ترسیب کربن، اثرات تغییر کاربری و تغییر اقلیم فراهم می‌کند. کربن آلی خاک نقش حیاتی در نگهداری خصوصیات بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی و فرایندهایی موجود در خاک دارد. با نقشه‌برداری رقومی خاک[۱] می‌توان نقشه خصوصیات و کلاس‌های خاک مثل کربن آلی خاک را تهیه کرد. نقشه‌برداری رقومی خاک بیانگر مجموعه‌ای از محاسبات رایانه‌ای برای پیش بینی پراکنش خاک ها در سیمای سرزمین می باشد که همگام با پیشرفت های به وجود آمده در پردازش اطلاعات، تکامل یافته است و با استفاده از مدل های مختلف، اقدام به ساده سازی پیچیدگی‌های موجود در سامانه طبیعی خاک می‌نماید(Minasny et al., 2010). مدل‌های مختلفی در نقشه‌برداری رقومی خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل شبکه، عصبی مصنوعی، درخت تصمیم، فازی، درختان تصمیم گیری تصادفی (RF[۲]) و ... باشد.RF یک مدل با کارکرد پیچده، توسعه یافته از مدل طبقه‌بندی و رگرسیون درختی (CART[۳]) می‌باشد. در این تکنیک اهمیت متغیرها نیز تعیین می‌شود. مقادیر درست متغیرها با مقادیر که به طور تصادفی برای هر درخت تولید شده است جایگزین می‌شود و اثر این تغییر را روی پیش‌بینی اندازه‌گیری می‌کند؛ اگر این جایگزینی اثری روی خطای اندازه‌گیری نداشته باشد اهمیت آن متغیر کم است و اگر مقدار خطای اندازه گیری افزایش یابد آن متغیر مهم می‌باشد (Breiman and Cutler, 2004). Grimm et al. (2008) روش

[1] Digital soil mapping
[2] Random Forest
[3] Classification and regression trees

درختان تصمیم گیری تصادفی را برای پیش بینی و منشاء کربن آلی خاک در محیط تروپیکال استفاده کردند و آن را یک ابزار نیرومند برای تخمین مکانی و درک ارتباطات خاک- زمین یافتند. Ließ et al., (2012) روش‌های درختان تصمیم گیری تصادفی و درخت رگرسیون (RT[۴]) را برای پیش بینی توزیع بافت خاک استفاده کرده و مشاهده کردند که روش درختان تصمیم گیری تصادفی دارای دقت بالاتری نسبت به درخت رگرسیون بود. Pahlavan Rad et al.,(2014) روش درختان تصمیم‌گیری تصادفی را روش مناسبی برای به‌روزرسانی نقشه‌های خاک و تخمین کلاس‌های خاک و در استان گلستان یافتند و شاخص پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی و نقشه قدیمی خاک را به عنوان مهمترین متغیرها در پیش‌بینی کلاس‌های خاک معرفی کردند. Were et al., (2015) از تکنیک‌های مختلف، نقشه رقومی خاک ذخیره کربن آلی خاک، را تهیه کردند. نتایج آن‌ها دقت بالای نقشه‌های تهیه شده با روش RF را نشان داد و مهمترین متغیر کمی را غلظت نیتروژن کل یافتند. تحقیق حاضر جهت استفاده از مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی برای تعیین توزیع و فاکتورهای تاثیر گذار در تغییرپذیری کربن آلی خاک در اراضی شهرستان زهک دشت سیستان انجام شد.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد مطالعه دارای مساحت حدود ۴۱۰۰۰ هکتار، در اراضی شهرستان زهک دشت سیستان، و در شمال استان سیستان و بلوچستان واقع شده است (شکل ۱). منبع آب منطقه مورد مطالعه، رودخانه هیرمند بوده که از کوههای هندوکوش در افغانستان سرچشمه می‌گیرد و پس از ۱۱۰۰ کیلومتر به دشت سیستان در ایران می‌رسد. مواد مادری منطقه به‌طور عمده رسوبات آبرفتی رودخانه هیرمند هستند. رژیم رطوبتی منطقه اریدیک و رژیم حرارتی آن مورد هایپرترمیک است. میانگین بارندگی سالیانه حدود ۵۵ میلیمتر و میانگین تبخیر سالیانه حدود ۴۵۰۰ میلیمتر است. از لحاظ شیب، منطقه تقریبا" مسطح و با شیب ۲-۱ درصد می باشد. منطقه تحت تاثیر فرسایش بادی قرار دارد و در قسمت جنوب شرقی منطقه مطالعاتی تپه‌های شنی قرار دارد. نمونه‌برداری با فواصل ۷۵۰ متری در عمق ۳۰-۰ سانتیمتر و به تعداد ۴۶۰ نمونه انجام شد و پس از ارسال به آزمایشگاه و عبور از الک دو میلیمتری، هدایت الکتریکی عصاره اشباع نمونه‌های برداشت شده تعیین گردید.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

[4] Regression tree

از مدل ارتفاعی رقومی (DEM[5]) با بزرگ‌نمایی ۳۰ متر خصوصیات مختلف زمین شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، انحنای نیمرخ، شاخص خیسی، شاخص توپوگرافی LS (حاصل‌ضرب طول شیب و جهت شیب) و سطح پایه شبکه کانال‌ها، شبکه کانال‌ها و عمق دره با استفاده از نرم افزار SAGA استخراج شدند (Wilson & Gallant, 2000). از تصاویر IRS، لندست ۵ و لندست 8 باندهای مختلف و شاخص پوشش گیاهی نرمال شده(NDVI[6]) و شاخص شوری تفاضلی نرمال شده (NDSI[7]) تهیه و در مدل سازی استفاده شدند.

$$NDVI = \frac{NIR-Red}{NIR+Red} \quad (۱)$$

$$NDSI = \frac{Red-NIR}{Red+NIR} \quad (۲)$$

در این معادله NIR و Red مقادیر انعکاس امواج مادون قرمز نزدیک و قرمز هستند.

نقشه کاربری اراضی نیز به عنوان متغیر مورد استفاده قرار گرفت. نقشه اجزاء بافت خاک که با استفاده از دادهای بافت خاک در همان ۴۶۰ نقطه با روش میانیابی تهیه شده بود به عنوان متغیر کمکی استفاده شدند. فاصله از رودخانه هم با استفاده از GIS تهیه و در مدل‌سازی استفاده شد.

لایه‌های مختلف متغیرهای تولید شده با پیکسل‌های ۳۰ متر مربعی و مقادیر مختلف کربن خاک وارد نرم افزار R 3.2.5 (۲۰۱۶)گردید و مدل درختان تصمیم گیری تصادفی اجرا گردید. در مدل‌های نهایی از متغیرهایی که اهمیت بیشتری داشتند، استفاده شدند. در مدل RF تعداد درختان در جنگل و تعداد متغیرهای محیطی در گره هر درخت توسط کاربر مشخص می‌شود و مناسب‌ترین مقدار این دو پارامتر با روش سعی و خطا جهت بدست آوردن کمترین مقدار خطا بدست آمد.

ارزیابی دقت مدل:

۳۶۱ نمونه برای آموزش دو مدل و از ۹۹ نمونه برای اعتبار سنجی استفاده شد (شکل۳). به منظور ارزیابی دقت مدل‌ها ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (بیان‌گر دقت میانگین پیش‌بینی می‌باشد و شدت خطا منتظره را نشان می‌دهد) و خطای میانگین (ME) (برای تعیین اریب و تمایل به کم یا بیش برآورد) برای داده‌های آموزش و تست محاسبه گردید.

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[z(x_i) - z^*(x_i)] \quad (۳)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}[z(x_i) - z^*(x_i)]^2}{N}\right]^{1/2} \quad (٤)$$

که $z^*(x_i)$ بیان‌گر مقادیر تخمینی، $z(x_i)$ مقادیر واقعی متغیرها و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

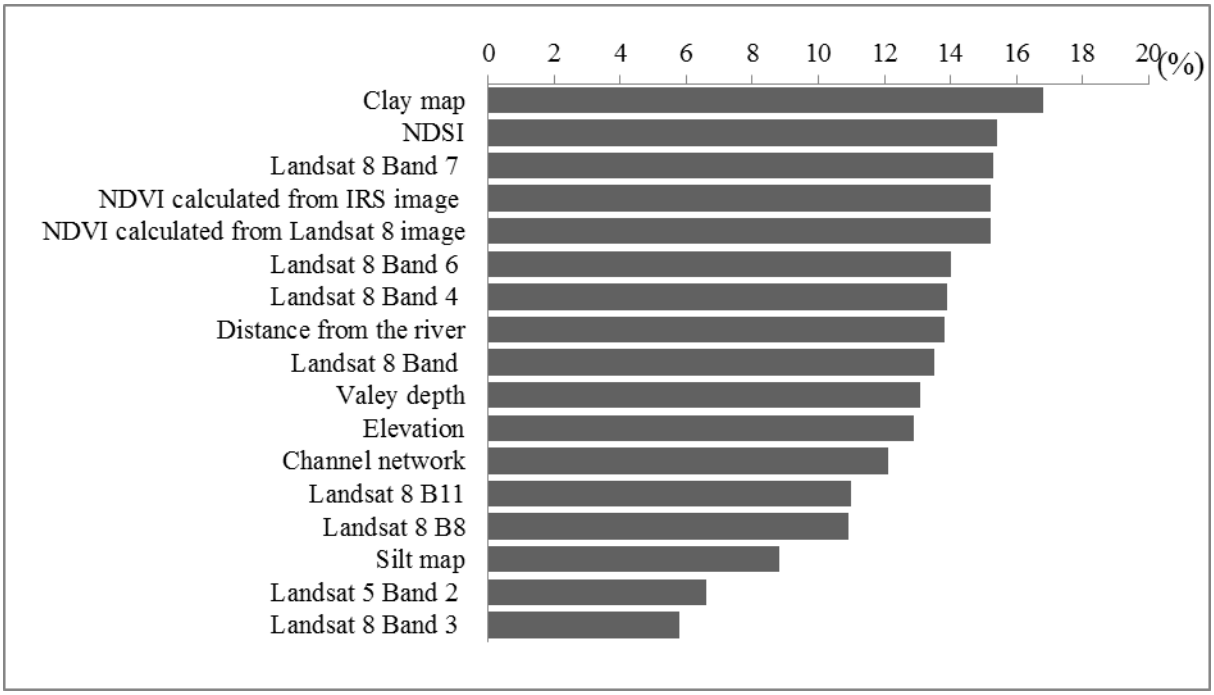
نتایج تحلیل آماری کربن آلی خاک نشان داد که مقدار کربن آلی خاک از مقدار ۰/۰۱ درصد که مربوط به نمونه تپه‌های شنی می‌باشد تا ۱/۴ درصد متغیر بود. میانگین کربن آلی نمونه‌های برداشت شده ۰/۳۲ درصد بود که شاید جزو پایین‌ترین مقادیر کربن آلی در کشور باشد. دمای بالا، تبخیر زیاد (حدود ۴۵۰۰ میلیمتر در سال) و بارندگی اندک (حدود ۵۵ میلیمتر در سال)، فرسایش شدید بادی از عوامل اصلی کم‌بودن کربن آلی در خاک‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد. همچنین افزایش بقایای گیاهی به خاک به دلیل برداشت برای مصرف دام نیز ناچیز می‌باشد.

اجرای مدل درختان تصمیم‌گیری تصادفی:

[5] Digital elevation model
[6] Normalized difference vegetation index
[7] Normalized difference salinity index

بهترین مدل، با روش سعی و خطا با ایجاد ۲۰۰۰ درخت و استفاده از ۱ متغیر بر مبنای کمترین خطای RMSE و ME به‌دست آمد.

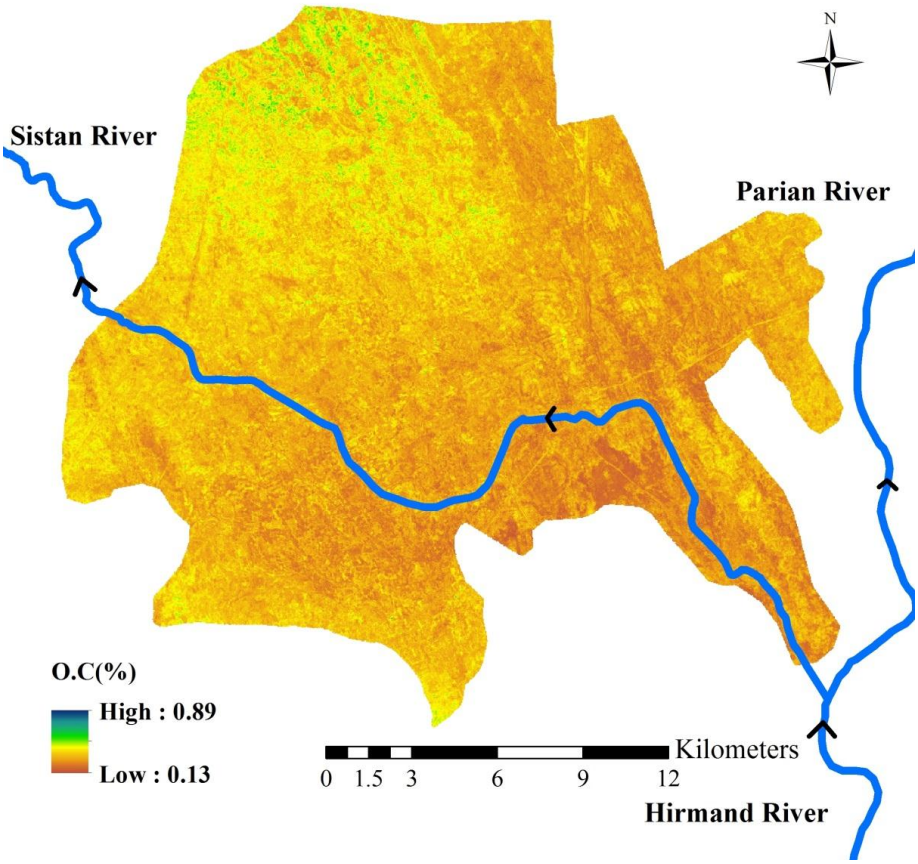
اهمیت متغیرها: نتایج نشان داد که رس خاک مهمترین متغیر کمکی در پیش‌بینی کربن آلی خاک بود (شکل ۲). مطالعات زیادی گزارش شده است که رس خاک بطورمثبتی با کربن آلی خاک ارتباط دارد (Anderson et al., 1981, Konen et al., 2003). Schillaci et al. (2017) نیز بافت خاک را به عنوان مهمترین متغیر در توزیع مکانی کربن آلی خاک در یک اقلیم مدیترانه‌ای یافتند. شاخص شوری، باند ۷ لندست۸ و شاخص پوشش گیاهی از دیگر متغیرهای کمکی مهم در توزیع کربن آلی در منطقه مطالعاتی بودند. در منطقه مطالعاتی شوری خاک بعد از کمبود رطوبت مهمترین عامل محدود کننده می‌باشد. بنابراین شوری به عنوان یک عامل محدود کننده رشد از طریق کاهش رشد گیاهان باعث کاهش مواد آلی خاک می شوند. پوشش گیاهی به عنوان یکی دیگر از متغیرهای مهم در منطقه زهک می‌باشد که نشان می‌دهد علیرغم اینکه افزایش مواد آلی و بقایای گیاهی در منطقه مطالعاتی کم می‌باشد، کشت و کار در این منطقه خشک از طریق افزایش حتی بقایای کم مواد آلی مثل بقایای ریشه و بقایای گیاهی باقیمانده نزدیک سطح زمین هم روی کربن و در نتیجه توزیع آن تاثیر دارد. Wang et al., 2016 در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک دریافتند که شاخص پوشش گیاهی و جهت شیب از متغیرهای مهم در توزیع مکانی کربن آلی خاک هستند.



شکل ۲: اهمیت متغیرها درتخمین هدایت الکتریکی خاک

توزیع مکانی کربن آلی خاک:

نقشه‌های پیش‌بینی شده (شکل ۳) با بهترین مدل بدست آمده نشان می‌دهد که بیشترین مقدار کربن آلی خاک در شمالی منطقه مطالعاتی قرار دارد. در این قسمت رس خاک نسبت به سایر قسمتها بیشتر می‌باشد و همچنین با در نظر گرفتن اینکه نقشه رس خاک مهترین متغیر کمکی محیطی می‌باشد سبب بیشتر شدن کربن آلی در این قسمت شده است. کمترین مقدر مواد آلی در قسمت‌های جنوبی و شرقی واقع شده‌اند. در قسمت جنوبی مقدار شوری خاک بیشتر می‌باشد و در این قسمت کشت و کار انجام نمی‌شود. در قسمت های شرقی به دلیل وجود تپه‌های شنی و فرسایش بادی شدید که سبب کنده شدن خاک‌های سطحی اتفاق شده و هم رسوب ذرات شن اتفاق می افتد که سبب کاهش مواد آلی در این قسمت شده است.



شکل ۳- نقشه‌ها پیش‌بینی شده کربن آلی خاک (هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک) در منطقه مطالعاتی

منابع

Anderson D. W., and E. A. Paul. 1984. Organo-mineral complexes and their study by radiocarbon dating. Soil S ci. S oc. A m. J. 48:298–301.

Breiman, L., and Cutler, A. 2004. Random Forests. Department of Statistics, University of Berkeley. http://www.stat.berkeley.edu/~breiman/RandomForests/cc_home.htm

Grimm, R., Behrens, T., Marker, M., and Elsenbeer, H. 2008. Soil organic carbon concentrations and stocks on Barro Colorado Island - Digital soil mapping using random forests analysis. Geoderma. 146(1-2):102-113.

Konen M. E., C. L. Burras, and J. A. Sandor. 2003. Organic carbon, texture and quantitative color measurement relationships for cultivated soils in North Central Iowa. Soil Sci. Soc. Am. J. 67:1823–1830

Ließ, M., B. Glaser, and B. Huwe. 2012. Uncertainty in the spatial prediction of soil texture comparison of regression tree and random forest models. Groderma, 170: 70-79.

Minasny, B., A.B. McBratney and A.E. Hartemink. 2010. Global pedodiversity, taxonomic distance, and the World Reference Base. Geoderma, 155: 132-139.

Pahlavan Rad, M.R., F. Khormali, N.Toomanian, C.W. Brungard, B. Komaki and P. Bogaert. 2014. Mapping and Updating Soil Series Using Random Forest and Conditioned Latin Hypercube Sampling in the Loess Soils of Northern Iran. Geoderma, (232-234): 97-106.

Schillaci, C., Acutis, M., Lombardo, L., Lipani, A., Fantappiè, M., Märker, M., Saia, S., 2017. Spatio-temporal topsoil organic carbon mapping of a semi-arid Mediterranean region: The role of land use, soil texture, topographic indices and the influence of remote sensing data to modeling. Science of the Total Environment 601 –602 : 821 –832.

Sreenivas, K., V.K. Dadhwal, S. Kumar, G.S. Harsha, T. Mitran, M.A. Fyzee and T. Ravisankar. 2016. Digital mapping of soil organic and inorganic carbon status in India. Geoderma, 269: 160-173.

Taghizadeh-Mehrjardi, R., F. Sarmadian, M.J. Rousta, M.H. Rahimian, M.Omid and N. Toomanian. 2015. Digital mapping of apparent electrical conductivity using regression kriging and local variogram in Ardakan region. Journal of Soil Management and Sustainable, 4(4): 1-29 (In Persian).

Wang, S ., Q. Wang, K. Adhikari, S. Jia, X. Jin, H. Liu. 2016. Spatial-Temporal Changes of Soil Organic Carbon Content in Wafangdian, China. Sustainability, 8: 1154; doi:10.3390/su8111154.
Were, K., D.T. Bui, B. Disk, and B.R. Singl. 2015. A comparative assessment of support vector regression, artificial neural networks, and random forest for predicting soil organic carbon stocks across an afromonkane land scape. Ecological indicator, 52: 394-403

Factors controlling the spatial distribution of soil organic carbon in a relatively flat plain

M. R. Pahlavan-Rad[1] and A. Akbarimoghadam[2]

[1]Assistance Prof., Soil and Water Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran
[2]MSc, Soil and Water Research Department, Sistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Zabol, Iran

Abstract

Understanding the spatial distribution of soil organic carbon (SOC) and its controlling factors in the arid areas is necessary for the management of these regions. In the present study, the amounts, distribution, and auxiliary environmental variables affecting the distribution of organic carbon were investigated for an area of ~ 41,000 ha in Zahak county, Sistan and Baluchestan province. 460 soil samples were collected from 0-30 cm depth along a 750 m by 750 m grid and SOC was measured. Auxiliary variables Auxiliary variables including primary and secondary characteristics of the digital elevation model, remote sensing data and map of soil texture components and land use. Random Forest (RF) technique was used to link relationship soil organ carbon (SOC) concentration and auxiliary variables. The results showed that the organic carbon varied from 0.01 to 1.4% with a mean of 0.32% in the study area. Soil clay map, salinity index and normalized vegetation index have the most importance in estimating the organic carbon content of soil. The predicted maps showed that the parts with higher clay content had higher carbon. The parts with higher salinity and severe wind erosion had lower carbon.

Keywords: Random Forest, Dry region, Modeling.