

بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: مسیر زابل به زاهدان)
ولی بهنام، احمد غلامعلی‌زاده آهنگر، محمد رحمانیان و ابوالفضل بامری

دوره ۵، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، صفحات ۲۶۳-۲۵۱

Vol. 5(3), Autumn 2019, 251 – 263

DOI: 10.22034/jewe.2019.200821.1330

Spatial Distribution of Some Physical and Chemical Properties of Soil using Geostatistic Methods (Case study: Zabol to Zahedan Route)

Behnam V., Gholamalizadeh Ahangar A., Rahmanian M. and Bameri A.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: بهنام و، غلامعلی‌زاده آهنگر ا، رحمانیان م. و بامری ا. (۱۳۹۸). بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین آمار (مطالعه موردی: مسیر زابل به زاهدان). مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۵، شماره ۳، صفحات: ۲۶۳-۲۵۱.

Citing this paper: Behnam V., Gholamalizadeh Ahangar A., Rahmanian M. and Bameri A. (2019). Spatial distribution of some physical and chemical properties of soil using geostatistic methods (Case study: Zabol to Zahedan route). J. Environ. Water Eng., 5(3), 251–263. DOI: 10.22034/jewe.2019.200821.1330.

بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی: مسیر زابل به زاهدان)

ولی بهنام^۱، احمد غلامعلی‌زاده آهنگر^۲، محمد رحمانیان^{۳*} و ابوالفضل بامری^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۲دانشیار، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

^۳استادیار، گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

^۴مربی، گروه علوم خاک، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

*نویسنده مسئول: m.rahmanian10@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۰۶/۱۶]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۷/۱۵]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۸/۰۷/۳۰]

چکیده

ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی هستند. شناخت و آگاهی از چگونگی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک از عوامل مؤثر در مدیریت پایدار اراضی است. درک بهتر تأثیر عوامل مدیریت بر ویژگی‌های خاک نیازمند کمی کردن غیریکنواختی و تغییرپذیری آن‌ها می‌باشد. این پژوهش با هدف بررسی تغییرات مکانی برخی از ویژگی‌های خاک از جمله بافت خاک (رس، سیلت، و شن)، کلسیم کربنات (CaCO_3)، کربن آلی و شوری خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار انجام شد. بدین منظور از منطقه مورد مطالعه تعداد ۲۵۲ نمونه خاک (از عمق ۰-۲۰ cm) تهیه و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد. پس از نرمال‌سازی داده‌ها، نیم‌تغیر نمای هر یک از ویژگی‌های مورد مطالعه محاسبه و بهترین مدل به آن‌ها برازش داده شد. سپس ویژگی‌های مورد مطالعه با روش‌های مختلف مکان‌یابی کریجینگ معمولی، کریجینگ ساده، کریجینگ گسسته، کوکریجینگ و وزن دهی عکس فاصله و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تخمین زده شدند. دقت تخمین با استفاده از میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بهترین مدل برای کربن آلی مدل گوسی و برای بقیه متغیرهای اندازه‌گیری شده مدل نمایی بود. همچنین، روش کوکریجینگ معمولی برای رس، کلسیم کربنات و کربن آلی، روش وزن دهی معکوس فاصله برای سیلت و شوری خاک و روش کریجینگ معمولی برای شن در مقایسه با سایر روش‌های به‌کاررفته مناسب‌تر بود و تخمین‌های دقیق‌تری ارائه داد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی؛ کوکریجینگ؛ مدیریت پایدار اراضی؛ ویژگی‌های خاک..

۱- مقدمه

آنالیز واریوگرام قابل بررسی است و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر به وسیله توابع زمین آماری از جمله کریجینگ (که مقادیر متغیرها را با استفاده از داده‌های موجود همان متغیر تخمین می‌زند) و کوکریجینگ (که از اطلاعات متغیرهای کمکی نیز جهت تخمین مقادیر استفاده می‌کند) می‌باشد (Hasani pak 1998).

مطالعات متعددی در کشورهای مختلف برای درون یابی و تعیین توزیع مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک وجود دارد. به منظور شناسایی و پهنه بندی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با روش های زمین آماری در منطقه سیستان از روش کریجینگ، کوکریجینگ و میانگین متحرک وزن دار در محیط GIS برای تهیه نقشه های بافت خاک (رس، سیلت و شن)، آهک، هدایت الکتریکی و رطوبت قابل دسترس در مکان های فاقد نمونه برداری استفاده شد (Hashemi et al. 2016). پراکنش مکانی برخی ویژگی های خاک مراتع شمال شرق سمنان با روش های زمین آمار مورد بررسی قرار گرفت که برای این منظور از روش کریجینگ و میانگین متحرک وزن دار در محیط GS^+ و GIS برای تهیه نقشه های رس، شن، آهک، هدایت الکتریکی و رطوبت قابل دسترس در مکان های فاقد نمونه برداری استفاده شد (Zare Chahouki et al. 2013). Sokouti et al. (2007) برای مقایسه کارایی روش های زمین آماری از روش تقاطعی با کمک دو پارامتر آماری MBE² و MAE² استفاده کردند. نتایج آن ها نشان داد که روش کریجینگ از دقت بالایی برای برآورد شوری در نقاط بدون داده، برخوردار است. خطای برآورد این روش ۱/۳۱ و انحراف آن dSm^{-1} ۰/۳۴^۱ - به دست آمد. پژوهشگران دیگری نیز پراکنش مکانی افق های خاک را با استفاده از روش های زمین آماری بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل کریجینگ معمولی مناسب ترین مدل است

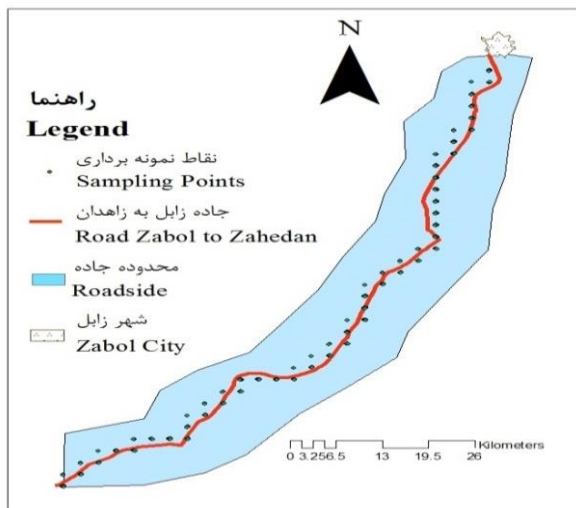
مدیریت پایدار بوم سازگان مستلزم شناخت و ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در ویژگی های آن به منظور بهره برداری بهینه و پایدار از منابع می باشد. وجود تغییرات مکانی در ویژگی های خاک امری معمول است ولی شناخت این تغییرات به ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه ریزی دقیق و مدیریت امری ضروری است. آگاهی از این مسئله برای افزایش سود و نیل به بهره برداری پایدار ضرورت دارد (Hashemi et al. 2016). ویژگی های خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی از مقیاس های کوچک تا بزرگ می باشند که تحت تأثیر ویژگی های ذاتی از جمله پارامترهای متأثر از مواد مادری خاک و ویژگی های غیرذاتی مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی قرار می گیرد (Yemefack et al. 2005).

برای درک بهتر تأثیر عوامل مدیریت و آلودگی و در نهایت دستیابی به عملیات زراعی مناسب نیازمند به کمی کردن غیریکنواختی و تغییرپذیری ویژگی های خاک است (Sun et al. 2003). زمین آمار ابزار قدرتمندی است که کمی کردن غیریکنواختی و تغییرپذیری را فراهم می کند. روش های تحلیلی زمین آماری به طور گسترده ای برای بررسی تغییرات مکانی متغیرهای ناحیه ای کاربرد دارند (Zare Chahouki et al. 2014). زمین آمار که بر پایه نظریه متغیر مکانی استوار بوده، قادر به ارائه مجموعه گسترده ای از تخمین گره های آماری به منظور برآورد ویژگی مورد نظر در مکانی که نمونه برداری نشده، با استفاده از اطلاعات به دست آمده از نقاط نمونه برداری شده است. امروزه محققان از روش های زمین آماری جهت ارزیابی توزیع مکانی ویژگی های خاک استفاده می کنند. در زمین آمار می توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه ها نسبت به یکدیگر ارتباط برقرار کرد؛ بنابراین در این روش ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده ها پرداخته می شود و در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده ها انجام می شود؛ بنابراین تخمین زمین آماری شامل دو مرحله است: مرحله اول شناخت و مدل سازی ساختار فضایی متغیر است که به وسیله

¹ - Mean Bias Error

² Mean Absolute Error

(Bauder 1986)، درصد کلسیم کربنات معادل با روش خنثی کردن کلسیم کربنات با اکلریدریکسید و تیتراسیون اسید اضافی با سود (Loeppert and Sparks 1996) و درصد کربن آلی به روش اکسایش تر (Nelson and Sommers 1996) اندازه‌گیری گردید.



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 Location of sampling stations in the studied area

۲-۳- تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای بررسی توزیع و آزمون نرمال بودن داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪، از آماره کلموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، از روش تبدیل لگاریتم برای نرمال کردن آن‌ها استفاده شد. ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شد. محاسبه‌های آماری اطلاعات به دست آمده در تحقیق با نرم‌افزار Excel انجام شد و برای رسم نمودارهای موردنظر از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۹) استفاده شد.

۲-۴- تجزیه و تحلیل‌های زمین‌آمار

به منظور بررسی و تشریح ارتباط و ساختار مکانی از تجزیه و تحلیل تغییر نما یا واریوگرام در نرم‌افزار GIS استفاده شد. اگر یک ویژگی به طور مداوم در ابعاد مکانی تغییر کند آن را می‌توان با تغییر نما نشان داد. تغییر نماها تغییرات فاصله‌ای یا تغییرپذیری ساختاری متغیرها را نشان می‌دهند. تغییر نما کمیته برداری

(Vanwalleghem et al. 2010)، (Bameri et al. 2012) نیز در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیب‌دار لسی استان گلستان از روش‌های زمین‌آمار استفاده کرده‌اند. (Wang et al. 2010) در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در مزارع تک کاشت ذرت مشاهده کردند که غلظت کربن آلی خاک دارای توزیع نرمال و میانگین حسابی $14/91 \text{ g/kg}$ می‌باشد و بهترین مدل برازش داده شده برای کربن آلی، مدل کروی بود. (Robinson et al. 2006) روش‌های کریجینگ معمولی، کریجینگ معمولی لوگ نرمال و فاصله معکوس وزنی را برای درون‌یابی ویژگی‌هایی از خاک که در مقدار محصول تأثیر دارند برای منطقه‌ای در استرالیا به کار بردند و نتایج مطلوبی را به دست آوردند. با توجه به موارد فوق پژوهش حاضر به منظور بررسی پراکنش مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک با روش‌های زمین‌آمار در مسیر زابل به زاهدان انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین عرض‌های جغرافیایی $20^{\circ} 57' 30''$ و $30^{\circ} 11' 6''$ و طول‌های جغرافیایی $61^{\circ} 29' 29''$ و $60^{\circ} 51' 38''$ قرار دارد. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۲- روش نمونه‌برداری

در مسیر جاده زابل- زاهدان ۴۲ ایستگاه برای نمونه‌برداری انتخاب شد. نمونه‌های خاک از فاصله ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ m از کنار جاده در عمق ۲۰-۳۰ cm برداشته شد. در هر نمونه‌برداری از هر ایستگاه شش نمونه خاک و به طور کلی ۲۵۲ نمونه خاک جمع‌آوری شدند (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه سیستم موقعیت‌یاب جهانی تعیین و ثبت گردید. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل و پس از خشک شدن در هوای آزمایشگاه، کوبیده شده و از الک 2 mm عبور داده شدند. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی نمونه‌های خاک مورد بررسی شامل قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع، بافت به روش هیدرومتر (Gee and

ارزیابی روش‌های مکان‌یابی از تکنیک ارزیابی متقابل^۲ و پارامتر آماری میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شده است. میانگین خطای مطلق مشخص‌کننده خطای نتایج می‌باشد. در شرایطی که MAE برابر صفر یا نزدیک صفر باشد، نشان‌دهنده این است که روش استفاده شده واقعیت را خوب شبیه‌سازی می‌کند. همچنین هرچه مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق کمتر باشد، دقت روش ارزیابی افزایش می‌یابد. پارامترهای میانگین خطای مطلق و مجذور میانگین مربعات خطا با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه می‌شوند:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |R_s - R_0|}{n} \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{i=1}^n (R_s - R_0)^2} \quad (2)$$

که، R_s : مقدار برآورد شده، R_0 : مقدار اندازه‌گیری شده و n : تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- توصیف آماری داده‌ها

توصیف آماری شامل میانگین، واریانس، ضریب تغییرات، مقادیر حداکثر و حداقل، چولگی و کشیدگی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک در نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه مطالعاتی در جدول (۱) خلاصه شده است. ضریب تغییرات (CV) معیاری از تغییرپذیری نسبی است. اگر $CV \leq 20\%$ باشد، نشان‌دهنده تغییرپذیری اندک، $20\% < CV \leq 50\%$ تغییرپذیری متوسط و اگر $CV > 50\%$ تغییرپذیری بالا است، درحالی‌که ضرایب تغییر بالاتر از 100% نشان‌دهنده تغییرپذیری بی‌نهایت بالا است (Karimi Nezhad et al. 2015).

ضریب تغییرات شوری خاک، بافت خاک و کربن آلی در نقاط اندازه‌گیری شده بالاتر از 50% می‌باشد که بیان‌گر وجود تغییرات زیاد این متغیرها در خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد درحالی‌که برای کلسیم

است که درجه همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را برحسب مربع تفاضل مقدار دونقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها نشان می‌دهد. این روش به‌طور گسترده در آنالیز اکولوژیکی ناهمگنی خاک از طریق محاسبه نیمه واریانس‌ها به کار می‌رود (Zheng et al. 2008). هر تغییر نما شامل پارامترهای اساسی زیر است که ساختار مکانی را توضیح می‌دهند:

سقف (آستانه) (CO+C): مقدار هر واریوگرام از مقدار کم شروع شده و پس از فراز و نشیب‌هایی ممکن است به حد ثابتی میل کند که به آن سیل یا سقف گفته می‌شود. بعضی از واریوگرام‌ها تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابتی از خود نشان نمی‌دهند که دلالت بر وجود روند در محدوده مورد مطالعه دارند. لذا در زمین‌آمار واریوگرام‌هایی که به سقف مشخصی می‌رسند، اهمیت بیشتری دارند (Hasani pak 1998).

شدت و درجه وابستگی مکانی متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل یا حد آستانه به دست آورد که گاهی به‌صورت درصد نیز بیان می‌شود. اگر این نسبت کم‌تر از 25% باشد وابستگی مکانی متغیر ضعیف است، اگر این نسبت بین 25% تا 75% باشد، وابستگی مکانی آن متوسط و اگر بالاتر از 75% باشد، وابستگی مکانی متغیر قوی است (Hu et al. 2006).

دامنه تأثیر فاصله‌ای است که در آن واریوگرام به حد ثابتی رسیده و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود. این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای برآورد متغیرهای مجهول استفاده کرد و هر چه بزرگ‌تر باشد دلالت بر پیوستگی مکانی گسترده‌تری می‌باشد. برای بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ، کوکریجینگ، وزن دهی معکوس فاصله (IDW)^۱ و مدل‌های مختلف (دایره‌ای، کروی، نمایی و گوسی) در محیط نرم‌افزار ArcGIS10 و GS+ استفاده شده است. به‌منظور

² - Cross validation

³ - Root Mean Square Error

¹ - Inverse Distance Weighted

کود و عوامل ذاتی مانند وضعیت زهکشی در خاک‌ها باشد (Foroughifar et al. 2010). به‌علاوه، ضریب تغییرات بالای هدایت الکتریکی می‌تواند ناشی از بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و شدت بالای تبخیر باشد که باعث به‌جا ماندن نمک‌های محلول در سطح خاک منطقه مورد مطالعه گردیده است.

کربنات معادل ضریب تغییرات کم‌تر از ۵۰٪ می‌باشد که بیان‌گر عدم وجود تغییرات خیلی زیاد این متغیرها است (Amini et al. 2006). ضریب تغییرات کم می‌تواند متأثر از عوامل ذاتی همچون مواد مادری در رفتار این ویژگی باشد درحالی‌که ضریب تغییرات زیاد می‌تواند ناشی از اثر متقابل عوامل مدیریتی مانند مصرف

جدول ۱- آمار توصیفی ویژگی‌های خاک در منطقه مورد مطالعه.

Table 1 Descriptive statistics of soil parameters in the study area

ویژگی‌های خاک	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی	کشیدگی
کربن آلی	0.019	2.89	0.36	0.33	90.00	-0.43	3.83
شوری خاک (dS/m)	0.017	67.20	13.50	11.61	86.00	3.61	.097
کلسیم کربنات معادل (%)	6.50	28.50	19.50	3.74	22.00	0.13	.012
شن (%)	6.00	95.20	57.26	21.99	38.40	-0.33	-0.92
سیلت (%)	0.50	73.70	26.95	16.23	60.22	0.53	.052
رس (%)	2.10	43.30	15.78	8.54	54.11	0.68	.029

دارای همبستگی مثبت ($p < 0.01$ و $r = 0.51$) است. Hu et al. (2014) گزارش نمودند که هدایت الکتریکی همبستگی مثبت معنی‌داری با درصد رس نشان داد.

۳-۲- همبستگی میان ویژگی‌های خاک

در جدول (۲) ضریب همبستگی پیرسون بین ویژگی‌های خاک نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج جدول نشان می‌دهد هدایت الکتریکی با ذرات رس

جدول ۲- ضریب همبستگی بین ویژگی‌های خاک

Table 2 Correlation coefficient of soil parameters

	رس	سیلت	شن	کربن آلی	کلسیم کربنات معادل	هدایت الکتریکی
هدایت الکتریکی						1.00
کلسیم کربنات معادل					1.00	-0.02
کربن آلی				1.00	.05	0.08
شن			1.00	-0.29**	-0.20**	0.03
سیلت		1.00	-0.94**	0.24**	0.23**	.01
رس	1.00	0.52**	-0.78**	0.28**	0.08	0.55**

همبستگی مثبت و معنی‌داری میان شن با دیگر ویژگی‌های اندازه‌گیری شده دیده نشد.

۳-۳- توزیع مکانی ویژگی‌های خاک

نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده‌شده به داده‌های مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. با در نظر گرفتن میانگین مطلق

این پژوهش‌گران دلیل این همبستگی را جذب کاتیون‌ها در سطوح رس‌های باردار بیان کردند. مقدار کلسیم کربنات موجود در خاک نیز در سطح یک درصد با ذرات سیلت رابطه مثبت معنی‌داری نشان داده است که دلیل این همبستگی می‌تواند وجود لایه‌های عظیم از رسوبات مارنی در منطقه باشد (Hashemi et al. 2016). با این‌وجود هیچ‌گونه

کلسیم کربنات در این منطقه می‌باشد. (2010) Foroughifar et al. نیز ضریب تغییرات پایین برای ویژگی‌های خاک را ناشی از تأثیر عوامل ذاتی مانند مواد مادری دانسته‌اند.

میانگین کربن آلی در منطقه موردنظر ۰/۳۶٪ و حداقل و حداکثر آن به ترتیب ۰/۱۹ و ۲/۸۹٪ است. ضریب تغییرات کربن آلی بیش‌تر از ۵۰٪ می‌باشد که بیان‌گر وجود تغییرات خیلی زیاد در منطقه مورد مطالعه است. میانگین شوری در منطقه ۱۳/۵۰، حداقل ۰/۱۷ و حداکثر ۶۷/۲ ds/m می‌باشد. ضریب تغییرات آن بیشتر از ۵۰٪ می‌باشد که بیان‌گر وجود تغییرات خیلی زیاد در منطقه مورد مطالعه است. با استناد به نتایج به‌دست‌آمده برای هدایت الکتریکی، خاک‌های منطقه مورد مطالعه با میانگین هدایت الکتریکی ۱۳/۵۰ ds/m در گروه خاک‌های شور قرار می‌گیرند (Sparks 2010). زیاد بودن مقدار شوری در منطقه به دلیل زیاد بودن تبخیر از سطح خاک و بارندگی کم می‌باشد.

خطا و مجذور میانگین مربعات خطا برای تمام پارامترها به جز کربن آلی، مدل نمایی بالاترین مقدار دقت و برای کربن آلی خاک مدل گوسی، دارای بالاترین مقدار دقت بود (جدول ۳).

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای بافت خاک مشاهده گردید که عموماً بافت خاک‌ها شنی و شنی لومی می‌باشد. حداکثر درصد رس، سیلت و شن به ترتیب ۴۳/۳۰، ۷۳/۷۰ و ۹۵/۲۰ می‌باشد و حداقل درصد رس، سیلت و شن به ترتیب ۲/۱۰، ۰/۵۰ و ۶ می‌باشد. مقدار آهک در خاک‌های منطقه مورد مطالعه با میانگین ۱۹/۵۰٪، رقم نسبتاً بالایی بوده و بیانگر رسوب کلسیم کربنات به‌عنوان یکی از مهم‌ترین املاح محلول در این خاک‌ها می‌باشد. در صورتی که سطح آب زیرزمینی بالا باشد در اثر تبخیر و تعرق شدید مقادیری از کلسیم کربنات در افق‌های خاک رسوب می‌کند تا جایی که مقدار کلسیم کربنات در استپ‌ها، خاک‌های صحرایی و لس تا ۲۰٪ و در بعضی موارد تا ۸۰٪ خواهد رسید (Baybordi 2008). پایین بودن ضریب تغییرات (۲۲٪) بیانگر منشأ زمین‌شناسی

جدول ۳- نتایج آنالیز همبستگی مکانی متغیرها و مدل‌های برازش داده شده به داده‌های مورد مطالعه

Table 3 The results of the analysis of spatial correlation of variables and models fitted to the data studied

پارامترهای ارزیابی مدل		نسبت همبستگی (/.) کلاس همبستگی	حد آستانه	دامنه تأثیر	اثر قطعه‌ای	مدل	متغیر
RMSE	MAE						
0.30	0.008	W 0.84	0.28	15393	0.36	گوسی	کربن آلی
3.12	-0.017	M 0.58	42.97	320.05	27.92	نمایی	شوری خاک
3.22	0.021	M 0.36	10.74	18528	7.22	نمایی	کلسیم کربنات
7.86	-0.013	M 0.75	23.63	30002	52.38	نمایی	رس
14.20	0.098	M 0.71	124.40	16123	168.12	نمایی	سیلت
19.52	-0.24	M 0.51	257.21	14312	298.92	نمایی	شن

(M) کلاس همبستگی متوسط (W) کلاس همبستگی ضعیف

مورد مطالعه دارای همبستگی مکانی می‌باشند (جدول ۳).

شدت و درجه وابستگی مکانی متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل یا حد آستانه به دست آورد که گاهی به‌صورت درصد نیز بیان می‌شود. چنانچه نسبت به‌دست‌آمده کمتر از

۳-۴- تجزیه و تحلیل نیم تغییر نما

تعیین همبستگی و تغییرات مکانی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار، نیازمند محاسبه و الگوسازی تغییر نما می‌باشد. در همین راستا، تغییر نماهای تجربی برای هر یک از ویژگی‌های خاک محاسبه و ترسیم گردید و مشخص گردید که ویژگی‌های خاک منطقه

دارد. López-Granados et al. (2002) وابستگی مکانی متوسط متغیر pH را گزارش کردند که مطابق با نتایج این پژوهش است. به‌طور کلی دامنه تأثیر، فاصله‌ای است که در مقادیر بالاتر از آن، نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و یا وابستگی کافی نشان نمی‌دهد و در واقع مستقل از یکدیگرند. چنین فاصله‌ای حد همبستگی ویژگی‌های موردنظر را مشخص ساخته و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه‌برداری ارائه می‌کند. دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری است (Pirysahragard and Piry 2016). در پژوهش حاضر دامنه تأثیر برای کلسیم کربنات ۱۸۵۲۸، کربن آلی خاک ۱۵۳۹۳، هدایت الکتریکی ۳۲۰، ذرات رس ۳۰۰۰۲، ذرات شن ۱۴۳۱۲، و ذرات سیلت ۱۶۱۲۳ می‌باشد (جدول ۳). دامنه تأثیر بالا در این پژوهش با نتایج (Jafari et al. 2008) مطابقت دارد. Rizwan et al. (2016) دامنه تأثیر را برای ویژگی‌های اسیدیته، هدایت الکتریکی، رس و شن به ترتیب برابر با ۵/۵۴، ۳/۸۵، ۶/۳۳ و ۶/۳۳ km بیان نمودند.

۲۵ درصد باشد، متغیر دارای کلاس همبستگی قوی و اگر مقدار نسبت مذکور بین ۲۵ تا ۷۵٪ باشد، نسبت همبستگی متوسط می‌باشد. چنانچه این نسبت بیش از ۷۵٪ باشد، متغیر دارای کلاس همبستگی مکانی ضعیف خواهد بود (Backett and Webster 1971). با توجه به جدول (۳)، مشاهده می‌شود که کلاس همبستگی کربن آلی همبستگی ضعیفی نشان می‌دهد. بقیه ویژگی‌های خاک همبستگی متوسطی داشتند. در صورتی که نسبت همبستگی در مورد ویژگی‌ها برابر ۱۰۰٪ گردد و یا این که شیب منحنی تغییر نما نزدیک به صفر باشد ویژگی مربوطه فاقد وابستگی مکانی خواهد بود (Neal et al. 2004). اگر نسبت همبستگی برای ویژگی صفر شود بیانگر یک پیوستگی در وابستگی مکانی می‌باشد. در بررسی به‌منظور تعیین پراکنش ویژگی‌های خاک در کرج، وابستگی مکانی ضعیف، متوسط و قوی به ترتیب برای رس، شن و سیلت گزارش شد (Zareian et al. 2015). Sarmadian and Taghi zadeh (2010) و Mehrjerdi وابستگی مکانی متوسط در رس را مشاهده نمودند که با نتایج این پژوهش هماهنگی

جدول ۴- نتایج تخمین ویژگی‌های خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آماري کربجینگ
Table 4 Results of Kriging Geostatistic methods for estimating soil parameters

معمولی	ساده	گسسته	معیار ارزیابی	ویژگی‌های خاک
-0.003	0.002	0.001	MAE	کربن آلی
0.301	0.312	0.318	RMSE	
0.021	0.028	0.026	MAE	کلسیم کربنات
3.22	3.32	3.32	RMSE	
0.203	0.085	0.045	MAE	هدایت الکتریکی
12.72	12.93	12.25	RMSE	
0.034	-0.031	-0.038	MAE	رس
7.98	7.73	7.73	RMSE	
0.098	0.093	0.069	MAE	سیلت
14.20	14.12	14.09	RMSE	
-0.245	0.727	0.767	MAE	شن
19.12	19.21	19.22	RMSE	

های کوکربجینگ و IDW در تخمین ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۵) نشان داده شده است. با تکیه بر نتایج حاصل از محاسبه همبستگی در تحقیق حاضر، جهت تخمین ویژگی‌های خاک به روش کوکربجینگ، از درصد سیلت به‌عنوان متغیر کمکی برای برآورد کربنات کلسیم، از محتوای ذرات رس به‌عنوان متغیر کمکی برای تخمین هدایت الکتریکی و

پس از تجزیه و تحلیل تغییر نما درون‌یابی داده‌ها به کمک نرم‌افزار ArcGIS به‌وسیله روش‌های زمین‌آماري کربجینگ و کوکربجینگ و روش معین وزن دهی معکوس فاصله انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۴) آورده شده است. برای ارزیابی روش‌های مذکور پارامترهای میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا در نظر گرفته شد. نتایج روش-

مثبت و معنی‌داری نداشت از روش کوکریجینگ استفاده نشد و از روش‌های کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله به‌منظور پهنه‌بندی ذرات شن خاک استفاده شد.

کربن آلی، از هدایت الکتریکی به‌عنوان متغیر کمکی جهت برآورد محتوای ذرات رس و از کربنات کلسیم به‌عنوان متغیر کمکی برای برآورد محتوای ذرات سیلت استفاده گردید. از آنجایی که ذرات شن خاک با هیچ‌کدام از ویژگی‌های اندازه‌گیری شده خاک ارتباط

جدول ۵- نتایج روش‌های کوکریجینگ و IDW در تخمین ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه

Table 5 Results of Kriging and IDW methods for estimating soil parameters in the study area

ویژگی خاک	معیار ارزیابی	IDW	کوکریجینگ		
			معمولی	ساده	گسسته
کلسیم کربنات	AME	0.005	0.068	0.068	0.068
	RMSE	3.27	3.15	3.15	3.15
هدایت الکتریکی	AME	0.063	0.418	0.412	0.425
	RMSE	11.07	12.72	12.72	13.93
رس	AME	-0.234	-0.058	0.022	0.012
	RMSE	7.96	7.70	7.84	7.84
سیلت	AME	-0.179	0.160	0.177	0.150
	RMSE	13.60	13.83	13.43	13.42
کربن آلی	AME	0.006	-0.018	0.003	0.002
	RMSE	0.335	0.281	0.305	0.302

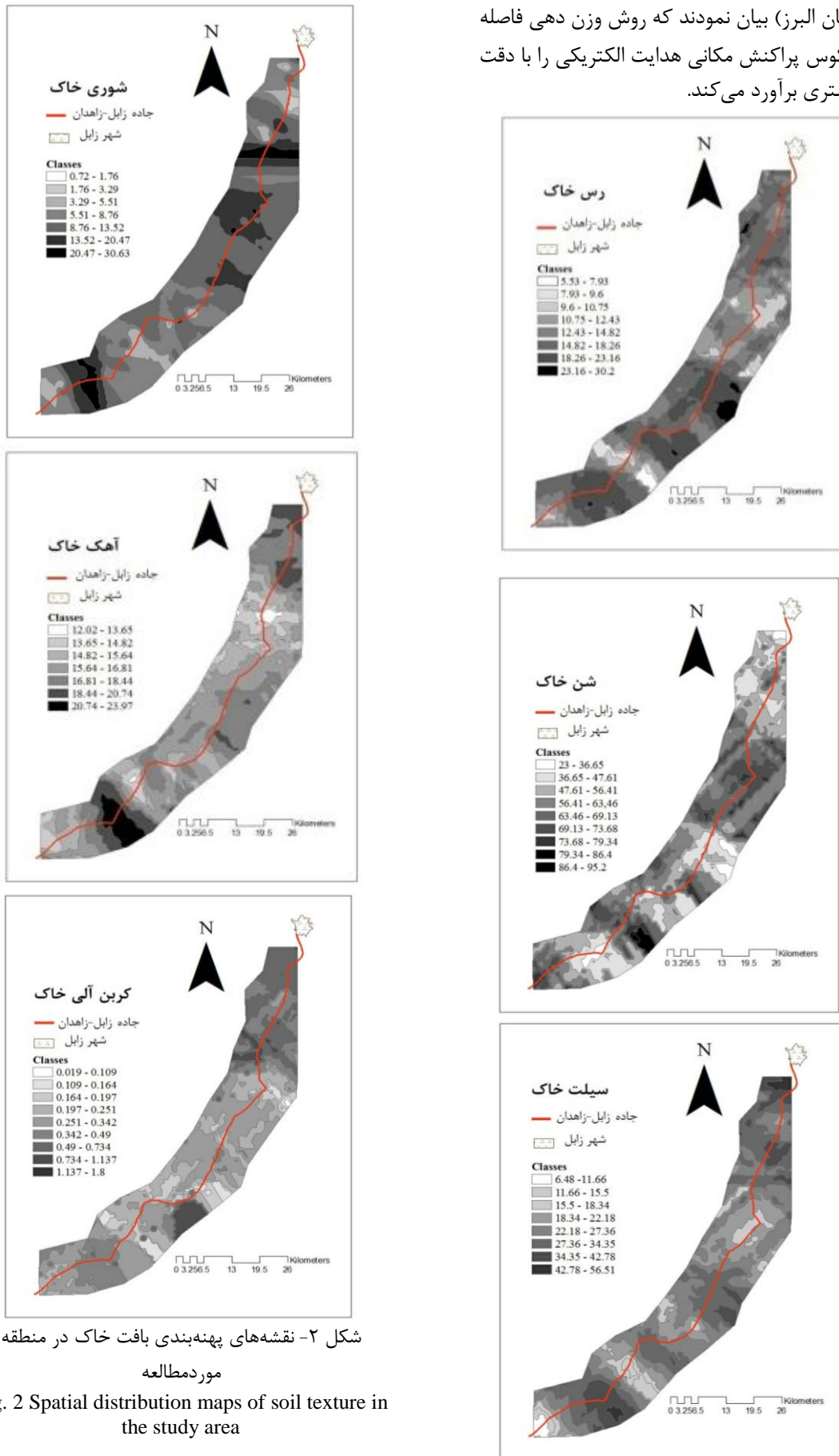
پهنه‌بندی مقدار ذرات شن با استفاده از روش کریجینگ معمولی که دارای کم‌ترین مجذور میانگین مربعات خطا نسبت به سایر روش‌های مورد ارزیابی بود صورت گرفت. به دلیل اینکه محتوای ذرات شن با هیچ‌کدام از ویژگی‌های دیگر خاک هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری نداشت به تخمین آن توسط کریجینگ بسنده شد.

با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های درون‌یابی، برای متغیر کلسیم کربنات و رس روش کوکریجینگ معمولی با مقادیر معیارهای خطای $MAE (0.12)$ و $RMSE (3.05)$ ، برای متغیر کربنات کلسیم و رس مقادیر $MAE (-0.058)$ و $RMSE (7.70)$ به دست آمد. کم‌ترین خطا نسبت به سایر روش‌ها بهترین نتیجه را داشت. همچنین بهترین نتیجه برای تهیه نقشه پراکنش مکانی متغیر هدایت الکتریکی در منطقه مورد مطالعه روش وزن دهی معکوس با کم‌ترین مقادیر خطا در معیارهای $MAE (0.063)$ و $RMSE (11.07)$ و مدل واریوگرام نمایی مناسب‌ترین روش تشخیص داده شد. (Zare Chahouki et al. 2013) در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز طالقان (شمال غربی

بر اساس نتایج جدول‌های (۴ و ۵) با در نظر گرفتن میانگین مطلق خطا و مجذور میانگین مربعات خطا روش کوکریجینگ معمولی درزمینه درون‌یابی مقادیر کربن آلی، کربنات کلسیم و درصد رس نسبت به کریجینگ و کوکریجینگ ساده و گسسته عملکرد بهتری نشان داد. روش وزن دهی معکوس فاصله به‌منظور پهنه‌بندی شوری خاک نسبت به روش کریجینگ و کوکریجینگ تخمین گر بهتری است که با نتایج (Zare Chahouki et al. 2013) هم‌خوانی دارد.

در این پژوهش مشاهده گردید که روش کوکریجینگ در بیش‌تر موارد تخمین بهتری داشت. (Bameri et al. 2012) نیز در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیب‌دار لسی استان گلستان گزارش دادند، در تخمین کربن آلی خاک در کل تپه‌ماهوری، روش کوکریجینگ معمولی نسبت به دو روش کریجینگ و وزن دهی معکوس فاصله نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

استان البرز) بیان نمودند که روش وزن دهی فاصله معکوس پراکنش مکانی هدایت الکتریکی را با دقت بیشتری برآورد می‌کند.



شکل ۲- نقشه‌های پهنه‌بندی بافت خاک در منطقه مورد مطالعه

Fig. 2 Spatial distribution maps of soil texture in the study area

دارند تأثیر آهک بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خیلی معنی‌دار نیست و خاک‌های غیر آهکی هستند. خاک‌های که دارای آهک ۱۵-۵٪ و بیش‌تر از ۱۵٪ هستند جزء خاک‌های با آهک نسبتاً زیاد قرار می‌گیرند که در بعضی از مناطق با pH بیش‌تر از ۷/۵ تناسب دارند. در نتیجه امکان کاهش جذب عناصر غذایی مثل آهن در این مناطق وجود دارد. برای متغیر آهک بهترین مدل برازش داده‌شده مدل نمایی بود و وابستگی مکانی متوسط نیز داشت. نقشه پهنه‌بندی شده آهک (شکل ۲) نشان می‌دهد که مقدار آهک در این منطقه نسبتاً بالاست. با توجه به داده‌های مربوط به نقشه می‌توان منطقه مورد مطالعه را جزء مناطق آهکی نام برد.

کربن آلی خاک نیز در نه کلاس طبقه‌بندی شده است که در دامنه ۰/۱۹ تا ۱/۸٪ قرار دارند. نقشه پهنه‌بندی شده کربن آلی (شکل ۲) نشان می‌دهد که مقدار کربن آلی در قسمت‌های شمالی و جنوبی به خاطر وجود اراضی کشاورزی و نهال‌کاری بیشتر است. در تحقیقی، Wang et al. (2009) پراکندگی کربن آلی خاک را در اراضی شمال شرق چین به کمک کریجینگ معمولی تعیین نمودند. در این تحقیق نمونه‌برداری به روش سیستماتیک بود و مدل واریوگرام مناسب از نوع کروی تشخیص داده شد. نتایج آن‌ها نشان داد بیشترین تجمع کربن در نواحی می‌باشد که دارای ارتفاع کمتر و پوشش گیاهی بیشتری هستند که با پراکنش کربن آلی در منطقه دماوند شباهت دارد. به‌طور کلی مقدار کربن آلی منطقه مورد بررسی بسیار پایین است که این موضوع به عدم وجود منبع آلی قابل توجه یعنی پوشش گیاهی بسیار ضعیف و خشک بودن منطقه مربوط می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش باهدف بررسی توزیع مکانی برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار در مسیر زابل به زاهدان انجام شد و نتایج را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود.

در مورد متغیر شن مقادیر معیارهای خطا در روش کریجینگ معمولی نسبت به روش‌های دیگر کمتر محاسبه شد. همچنین این محققان بیان کردند که در تخمین زمین‌آمار متغیر شن خاک کاربرد روش کریجینگ نسبت به روش وزن دهی معکوس دارای دقت بالاتری است. در مطالعه‌ای برای تخمین پراکنش مکانی شن خاک در تپه‌های شنی روش کریجینگ مناسب تشخیص داده شد (Zuo et al. 2009). بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه به کمک روش‌های زمین‌آمار برای هرکدام از ویژگی‌های خاک در شکل (۲) آورده شده است. با توجه به جدول (۴) و (۵) مقدار خطای پیش‌بینی مقدار رس در روش کوکریجینگ معمولی کمتر می‌باشد. در نتیجه از این روش برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی رس خاک استفاده گردید. با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده از مقدار رس ملاحظه می‌شود که درصد رس منطقه در هشت کلاس قرار گرفته است که بیش‌تر سطح محدوده مطالعاتی را کلاس ۲۳/۱۶-۱۸/۲۶ تشکیل می‌دهد (شکل ۲). بهترین مدل برازش داده‌شده برای رس، مدل نمایی بود که کلاس وابستگی مکانی متوسط را نشان داد.

در مورد درصد شن نتایج نشان می‌دهد که هشت کلاس وجود دارد که مقادیر در دامنه ۲۳ تا ۹۵/۲٪ متغیر می‌باشند (شکل ۲). برای متغیر شن بهترین مدل برازش داده‌شده مدل نمایی بوده و وابستگی مکانی متوسط نیز داشته است. مقدار شن از سمت شمال به جنوب افزایش یافته است که دلیل این امر می‌تواند خشک‌سالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر و افزایش بادهای ۱۲۰ روزه باشد که باعث افزایش تبخیر و تفرق شده و رسوب‌گذاری مانند قبل صورت نمی‌گیرد. همچنین درصد سیلت نیز در هشت کلاس طبقه‌بندی شده است که در دامنه ۶/۴۸ تا ۵۶/۵۱٪ قرار دارند (شکل ۲).

با توجه به داده‌های به‌دست‌آمده از آهک خاک نمونه‌های برداشت‌شده از منطقه مورد مطالعه، هشت کلاس وجود دارد که مقادیر در دامنه ۱۲/۰۲ تا ۲۳/۹۷٪ متغیر می‌باشند. خاک‌هایی که زیر ۲٪ آهک

انتخاب‌شده بعد از انجام سعی و خطای فراوان می‌باشند.

۳- روش کوکریجینگ معمولی برای کربن آلی، رس و آهک، روش وزن دهی عکس فاصله برای سیلت و شوری خاک و کریجینگ معمولی برای شن با کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا بیش‌ترین دقت را داشت.

۱- کربن آلی و شوری خاک بیشترین و آهک کمترین ضریب تغییرات را در منطقه به خود اختصاص داده است.

۲- در مورد متغیر کربن آلی مدل نیم تغییر نمای گوسی و در مورد بقیه متغیرها مدل نمایی نسبت به روش‌های دیگر بهترین مدل‌های مورد استفاده و

References

- Amini M., Afyoni M. and Khademi H. (2006). Modeling of mass balance of Cd and Pb in agricultural lands of Isfahan region. *J. Agri. Sci. Technol.*, 10(4), 77-89 [In Persian].
- Backett P. H. T. and Webster R. (1971). Soil variability: a review. *Soil Fertil.*, 34, 1-15.
- Bameri A., Khormali F., Kiani F. and Dehghani A. A. (2012). Spatial variability of soil organic carbon on different slope positions of loess hill slopes in Toshan area, Golestan Province. *J. Water Soil Conserv.*, 19(2), 43-60 [In Persian].
- Baybordi M. (2008). Classification and genesis soil. Tehran University Press, Ninth Edition, 780p. (in Farsi)
- Foroughifar H., Jafarzadah A. A., Torabi Gelsefidi H., Aliasgharzadah N., Toomanian N. and Davatgar N. (2010). Spatial variations of surface soil physical and chemical properties on different landforms of Tabriz plain. *J. Soil Water*, 21(3), 1-21 [In Persian].
- Gee G. W. and Bauder J. W. (1986). Particle size analysis. p. 383-411. In Klute A. (ed), *Methods of Soil Analysis. Part 1. 2nd edition. Agron. Monogr. 9.* ASA and SSSA, Madison.
- Hasani pak A. A. (1998). Geostatistical. Tehran University Press. 180p [In Persian].
- Hashemi M., Gholamalizadeh Ahangar A., Bameri A., Sarani F. and Hejazizadeh A. (2016). Survey and zoning of soil physical and chemical properties using Geostatistical methods in GIS (Case study: Miankangi region in Sistan). *Water Soil*, 30(2), 443-458.
- Hu K., Zhang F., Li H., Huang F. and Li B. G. (2006). Spatial patterns of soil heavy metals in urban-rural transition zone of Beijing. *Pedosphere*, 16, 690-698.
- Hu W., Shao M. A., Wan L. and Cheng S. B. (2014). Spatial variability of soil electrical conductivity in a small watershed on the Loess Plateau of China. *Geoderma*, 230-231, 212-220.
- Jafari M., Asgari H. M., Moazami M., Tahmoures M. and Beniaz M. (2008). Investigation of spatial distribution of soil properties by use of geostatistical methods. *Pajouhesh-Va-Sazandegi*, 21(3), 177-185 [In Persian].
- Karimi Nezhad M. T., Tabatabaai S. M. and Gholami A. (2015). Geochemical assessment of steel smelter-impacted urban soils, Ahvaz, Iran. *J. Geochem. Explor.*, 152, 91-109.
- Loeppert R. H. and Sparks D. L. (1996). Carbonate and gypsum. p.437-474. In: Sparks D.L. (ed), *Methods of soil analysis. Part 3: Chemical properties.* Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- López-Granados F., Jurado-Expósito M., Atenciano S., García-Ferrer A., Sánchez de la Orden M. and García-Torres L. (2002). Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant Soil*, 246, 97-105.
- Neal M., Khademi H. and Hajabbasi M. A. (2004). Response of soil quality

- indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran. *Appl. Soil Ecol.*, 27, 221-232.
- Nelson D. W. and Sommers L.E. (1996). Carbon, organic carbon, and organic matter. p. 961-1010. In Sparks D. L. (ed), *Methods of Soil Analysis*. Soil Science Society of America. Madison, Wisconsin.
- Pirysahragard H. and Piry J. (2016). Analysis of spatial structure of some soil properties using geostatistical methods (Case study: west rangelands of Taftan-Khash). *Rangeland*, 10, 224-236.
- Rizwan M., Siddique M. T., Ahmed H., Iqbal M. and Ziad T. (2016). Spatial variability of selected physico-chemical properties and macronutrients in the shale and sandstone derived soils. *Soil Environ.*, 35(1), 12-21.
- Robinson T. P. and Metternich G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Comput. Electron. Agri.*, 50, 97-108.
- Sarmadian F. and Taghi zadeh Mehrjerdi R. (2010). A comparison of interpolation methods for preparing soil quality maps: Case study: (Agricultural Faculty Experimental Field). *Iran. J. Soil Water Res.*, 40(2), 157-165 [In Persian].
- Sokouti R., Mahdian M., Mahmoodi Sh. and Ghahramani A. (2007). Comparing the applicability of some Geostatistic methods to predict the variability of soil salinity, a case study of Urmia Plain. *Pajauhsh Sazandegi*, 74, 90-98 [In Persian].
- Sparks L. D. (2010). Environmental soil chemistry attitude. In: Oustan, Sh. (ed.) 2nd ed. Tabriz University Press. 391p.
- Sun B., Shengiu Z. and Qiguo Z. (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the region of subtropical China. *Geoderma*, 115, 85-99.
- Vanwalleghem T., Poesen J., Mc Bratney A. and Deckers J. (2010). Spatial variability of soil horizon depth in natural loess-derived soils. *Geoderma*, 157, 37-45.
- Wang Y., Fu B., Lu Y., Song Ch. and Luan Y. (2010). Local-scale spatial variability of soil organic carbon and its stock in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Quat. Res.*, 73, 70-76.
- Wang Y., Zhang X. C., Zhang J. L. and Li S. J. (2009). Spatial variability of soil organic carbon in a watershed on the loess plateau. *Pedosphere*, 19, 486-495
- Yemefack M., Rossiter D. G. and Vomgang R. N. (2005). Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*, 125, 117-143.
- Zare Chahouki M. A., Abbasi M. and Azarnivand H. (2014). Spatial distribution modeling for *Agropyron intermedium* and *stipa barbata* species habitat using binary logistic regression (Case study: rangeland of Taleghan miany). *J. Plant Ecosys. Conserv.*, 4, 47-60 [In Persian].
- Zare Chahouki M. A., Khalasi Ahvazi L., Azarnivand H. and Zare Chahouki A. (2013). Examine the spatial distribution some of soil properties using spatial statistical methods in East Semnan rangeland. *J. Range Watershed*, 66(3), 378-399 [In Persian].
- Zareian F., Mahmoudi J. and Javadi M. R. (2015). Predicating the spatial variability of some soil properties by using Geostatistic methods in Darreh Viseh, Karaj. *Iran. J. Soil Res.*, 28(3), 511-520 [In Persian].
- Zheng J., He M., Li X., Chen Y., Li X. and Liu L. (2008). Effect of *Salsola passerine* shrub patches on the micro scale heterogeneity of soil in a mountain grassland, China. *J. Arid Environ.*, 72, 150-161.
- Zuo X., Zhao H., Zhao X., Zhang T., Guo Y., Wang S. and Drake S. (2009). Spatial pattern and heterogeneity of soil properties in sand dunes under grazing and restoration in Horqin Sandy Land, Northern China. *Soil Tillage Res.*, 99, 202-212.

Spatial Distribution of Some Physical and Chemical Properties of Soil using Geostatistic Methods (Case study: Zabol to Zahedan Route)

Vali Behnam¹, Ahmad Gholamalizadeh Ahangar², Mohammad Rahmanian^{3*} and Abulfazl Bameri⁴

¹Alumni, Department of Soil Science, Faculty of Soil Water Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

²Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Soil Water Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

³Assist. Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran

⁴Lecturer, Department of Soil Science, Faculty of Soil Water Engineering, University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding author: m.rahmanian10@yahoo.com

Original Paper

Received: August 07, 2019

Revised: October 07, 2019

Accepted: October 22, 2019

Abstract

Soil characteristics have spatial variations. Understanding spatial variations of soil characteristics is among the effective factors in sustainable land management. A better understanding the effects of management factors on soil characteristics need to quantify their heterogeneity and variability. This research was conducted with the aim of investigating spatial variations of some soil characteristics such as soil texture (clay, silt and sand), calcium carbonate (CaCO_3), soil acidity (pH), and soil salinity using geostatistic methods. For this purpose, 252 soil samples (from 0 to 20 cm depth) were prepared from the study area and physical and chemical properties of soil were measured. After normalizing the data, the half-shift of each of the studied characteristics was calculated and the best model was fitted to them. Then, the characteristics of the study were estimated through different methods of conventional Kriging, simple Kriging, discrete Kriging and Inverse Distance Weighted (IDW) using ArcGIS software. The accuracy of the estimation was evaluated using the mean absolute error (MAE), the mean bias error (MBE), and the root mean square error (RMSE). The results showed that the best model for the acidity was the spherical model and for the other measured variables was the exponential model. Moreover, the conventional CoKriging method for clay, calcium carbonate and acidity (pH), IDW method for silt and soil salinity, and conventional Kriging method for sand were better than other methods used and provided more accurate estimates.

Key word: Kriging; Cokriging; Soil Properties; Spatial Variations; Sustainable Land Management.