

شناسایی و پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک با استفاده از روش‌های زمین آماری در GIS (مورد مطالعاتی: منطقه میانکنگی؛ سیستان)

مسعود هاشمی¹ - احمد غلامعلی زاده آهنگر^{2*} - ابوالفضل بامری³ - فریدون سارانی⁴ - ابوالفضل حجازی زاده⁵

تاریخ دریافت: 1392/07/22

تاریخ پذیرش: 1394/11/10

چکیده

دسترس‌ی به اطلاعات دقیق تغییرات مکانی خصوصیات خاک، به‌منظور فراهم نمودن پایگاه داده‌ای در راستای مدیریت پایدار خاک، همچون کاربرد نسبت مناسب کودها، بسیار ضروری است. به این منظور در زمستان سال 1391 تعداد 189 نمونه خاک دست نخورده از عمق 0-30 سانتی‌متری سطح منطقه میانکنگی دشت سیستان به‌صورت شبکه‌بندی منظم با فواصل 500 متر جمع‌آوری و خصوصیات فیزیکو-شیمیایی آن‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. نرمال‌سازی داده‌ها صورت گرفت و مدل‌های نیم‌تغییرنا کروی، نمایی و کی-بسل به‌عنوان بهترین مدل برازش برای نتایج آزمایش بدست آمد. در نهایت بر اساس پارامتر میانگین مجذور مربعات خطا روش کوکریجینگ جهت تولید نقشه‌های اسیدیته خاک و هدایت الکتریکی با متغیر کمکی درصد رس، درصد رطوبت اشباع و کربنات کلسیم با متغیر کمکی سیلت و محتوای ذرات رس با متغیر کمکی هدایت الکتریکی مورد استفاده قرار گرفت. همچنین نقشه‌های محتوای ذرات سیلت و شن به‌روش کریجینگ گسسته تولید شد. هدایت الکتریکی خاک‌های منطقه با ضریب تغییرات 102/99، دامنه تأثیر کم (935 متر)، تغییرات مکانی بسیار شدیدی داشت که بیشتر متأثر از نوع خاک منطقه می‌باشد. همچنین، تجمع بالای مواد محلول در خاک منطقه، حاکی از گسترش هر چه بیشتر شوری در اراضی فاریاب منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر آبیاری و کوددهی می‌باشد که کاهش کیفیت و سلامت خاک را در پی داشته و نیازمند مدیریت صحیح و اجرای برنامه‌های هدفمند پیشگیری و مرتفع ساختن مسأله شوری در راستای بهبود کیفیت خاک و تحقق توسعه کشاورزی پایدار در این منطقه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: توزیع مکانی، دشت سیستان، زمین آمار، شوری خاک، همبستگی

مقدمه

عملکرد محصول به‌شمار می‌رود (23). یکی از اهداف اصلی در مدیریت پایدار اراضی، شناسایی مدیریت‌هایی است که از یک سو باعث ارتقا کمی و کیفی تولید در طولانی مدت شوند و از سوی دیگر، باعث حفظ کیفیت خاک گردیده و منجر به تخریب اراضی نشوند (37). وجود تغییرات مکانی در ویژگی‌های خاک امری معمول است ولی شناخت این تغییرات به‌ویژه در اراضی کشاورزی جهت برنامه ریزی دقیق و مدیریت اراضی امری ضروری است. آگاهی از این مسئله برای افزایش سود و نیل به بهره‌برداری پایدار ضرورت دارد (5). با این وجود اکثر کشاورزان بکارگیری یک سری از شیوه‌های مدیریتی خاص را برای کل زمین ترجیح می‌دهند، چنین مدیریتی‌های ناکارآمدی باعث افزایش هزینه‌های مدیریتی، کاهش بازدهی خالص اقتصادی، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی و ضایعات انرژی می‌گردد. بنابراین در دسترس بودن اطلاعات دقیق از خصوصیات خاک، در سطح مزرعه، منطقه و ملی باعث می‌شود تا کودها با توجه به نیازها، در بخش‌های مختلف اراضی به‌کار گرفته شوند (13 و 22).

مدیریت پایدار اکوسیستم مستلزم شناخت و ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی در خصوصیات آن به‌منظور بهره‌برداری بهینه و پایدار از منابع می‌باشد. از مهمترین عوامل مؤثر در مدیریت پایدار اکوسیستم حفظ کیفیت خاک می‌باشد. خاک به‌عنوان جزئی از طبیعت، هم دارای تغییرپذیری ذاتی است که در نتیجه بر هم کنش عوامل تشکیل‌دهنده آن است و هم دارای تغییرپذیری غیر ذاتی می‌باشد که حاصل مدیریت کشت و کار، استفاده از اراضی و فرسایش است (38). تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، یکی از مهم‌ترین دلایل تغییرپذیری

1، 2، 3، 4 و 5- به ترتیب دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشیار، مربی و دانشجویان سابق کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل

(Email: ahangar@uoz.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه (منطقه میانکنگی) در 30 کیلومتری شرق شهرستان زابل هم مرز با کشور افغانستان، مابین عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ}04'51''$ تا $31^{\circ}08'17''$ شمالی و طول جغرافیایی $61^{\circ}49'56''$ تا $61^{\circ}49'56''$ شرقی واقع شده است (شکل شماره 2). مساحت منطقه 4500 هکتار، متوسط ارتفاع از سطح دریا 489/2 متر و کاربری منطقه کشاورزی، مرتع و همچنین زمین‌های غیر قابل استفاده است. متوسط بارندگی سالانه 55 میلی‌متر، و تبخیر و تعرق از سطح منطقه 4500 تا 5000 میلی‌متر می‌باشد. میانگین دراز مدت درجه حرارت منطقه 21/7 درجه و حداقل حرارت مطلق -7 درجه سانتی‌گراد می‌باشد (34).

کاربری اراضی: انواع کاربری اراضی در منطقه سیستان که بر اساس اطلاعات موجود در فرمانداری شهرستان زابل تهیه شد عبارتست از: زمین‌های بایر، مرتع، جنگل کاری، زمین‌های کشاورزی، مجموعه‌های آبی، پلایا، شن‌زار می‌باشد؛ لازم به ذکر است که به جهت اهمیت تالاب هامون در این مطالعه محل این تالاب‌ها بر روی نقشه جانمایی شده است ولی در واقعیت این تالاب‌ها خشک شده و تبدیل به شن‌زار یا زمین‌های بایر شده است. شکل 1 کاربری‌های مختلف اراضی را در منطقه سیستان نشان می‌دهد. پوشش گیاهی غالب منطقه قمیش، هزار نی، جگن و گز می‌باشد. در بخش‌های زیر کشت معمولاً گندم، جو و یونجه به صورت غرقابی کشت می‌گردد. آب مورد نیاز آبیاری از آب چاه‌نیمه و حفر چاه‌هایی در منطقه تامین می‌گردد. در سطح خاک‌های این منطقه به‌ویژه در دشت به دلیل بارش بسیار کم و تبخیر سالانه بسیار شدید، به‌وضوح می‌توان آثار شوره را مشاهده کرد. شکل‌های اراضی موجود در منطقه دشت آبرفتی رودخانه‌ای و اراضی پست می‌باشد.

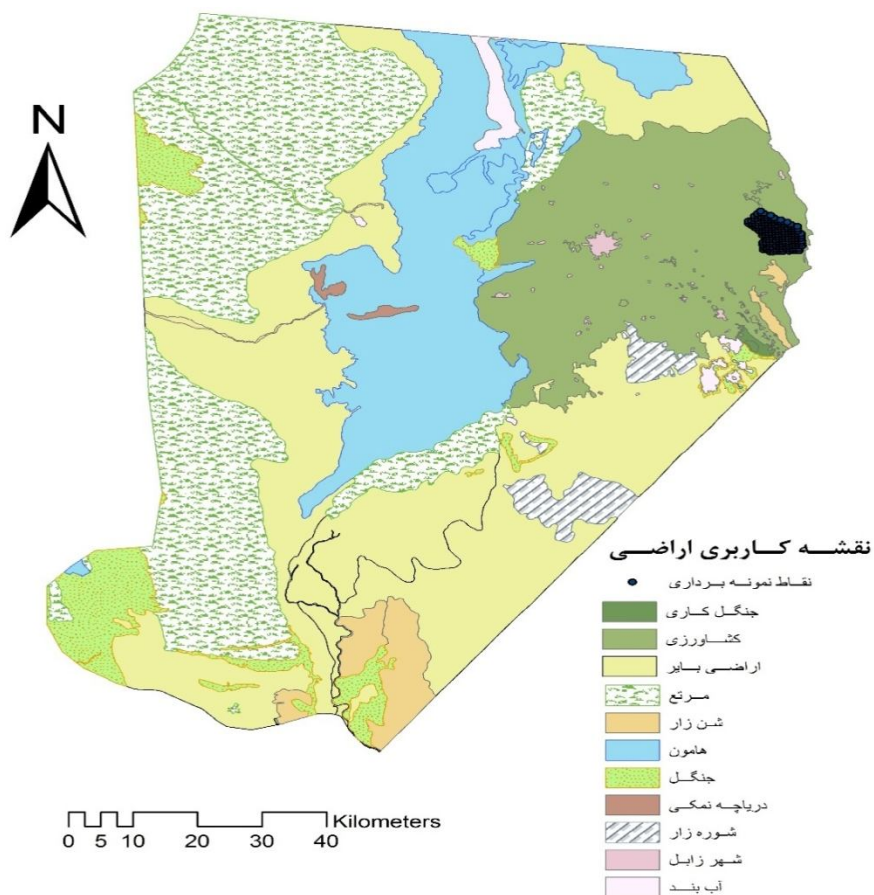
الگوی نمونه‌برداری از خاک سطحی بر اساس شبکه‌بندی منظم با ابعاد $500 * 500$ متر با استفاده از نرم افزار Arc GIS 10.1 طراحی گردید. موقعیت نمونه‌های خاک در محل هر گره از شبکه نمونه- برداری در منطقه مورد نظر تعیین و به دستگاه GPS انتقال داده شد و در مجموع 189 نمونه از خاک سطحی (30 - 0 سانتی‌متری) برداشت و به آزمایشگاه منتقل گردید. با انتقال نمونه‌های خاک به آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌ها هوا خشک و سپس از الک 2 میلی‌متری عبور داده شد. بافت خاک به روش هیدرومتری (11) و قابلیت هدایت الکتریکی عصاره اشباع به روش هدایت‌سنجی و اسیدیتته در گل اشباع اندازه- گیری شدند (33). درصد آهک (کربنات کلسیم معادل) به روش خنثی- سازی با اسید کلریدریک و تیتراسیون با سود (31) و درصد رطوبت اشباع خاک به روش وزنی اندازه‌گیری شدند.

از طرفی دسترسی به اطلاعات دقیق در مورد تغییرات مکانی خصوصیات خاک به جهت فراهم نمودن پایگاه داده‌ای¹ در راستای مدیریت خاک، همچون کاربرد نسبت مناسب کودها، بسیار ضروری است. به این منظور درک چگونگی توزیع مکانی خصوصیات خاک در عرصه‌های مختلف اکوسیستم و محیط زیست مهم و حیاتی می‌باشد (15). استفاده از روش‌های زمین آماری در علوم خاک توسط محققین مختلفی بکار گرفته شده است. مک‌براتی و همکاران (27)، با استفاده از روش‌های زمین آمار، سیستم اطلاعات جغرافیایی² و فن سنسج از دور برای مناطق وسیعی از استرالیا، نقشه‌های جامع خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک را تعیین کرده‌اند. نیل و همکاران (30) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در روش‌های مختلف مدیریتی برای منطقه‌ای در زاگرس را با کاربرد زمین آمار و روش‌های آماری درون‌یابی کردند. سری و همکاران (32) نیز از روش‌های زمین آمار برای تعیین خصوصیات خاک مناطق مناسب برای احداث چراگاه در حوضه آمازون در کشور برزیل استفاده کرده‌اند. بامری و همکاران (7) نیز در بررسی تغییرات مکانی کربن آلی خاک در موقعیت‌های مختلف شیب در اراضی شیبدار لسی استان گلستان از روش‌های زمین آماری استفاده کرده‌اند. همان‌طور که اشاره شد، روش‌های زمین آماری تکنیک‌هایی برای تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی خصوصیات خاک، مانند محتوای نیتروژن خاک را ارائه می‌دهد (39)، و این تکنیک‌ها امروزه به‌طور فزاینده‌ای به‌منظور اهداف مدیریتی خاص به- کار گرفته می‌شوند (8، 9، 14 و 27).

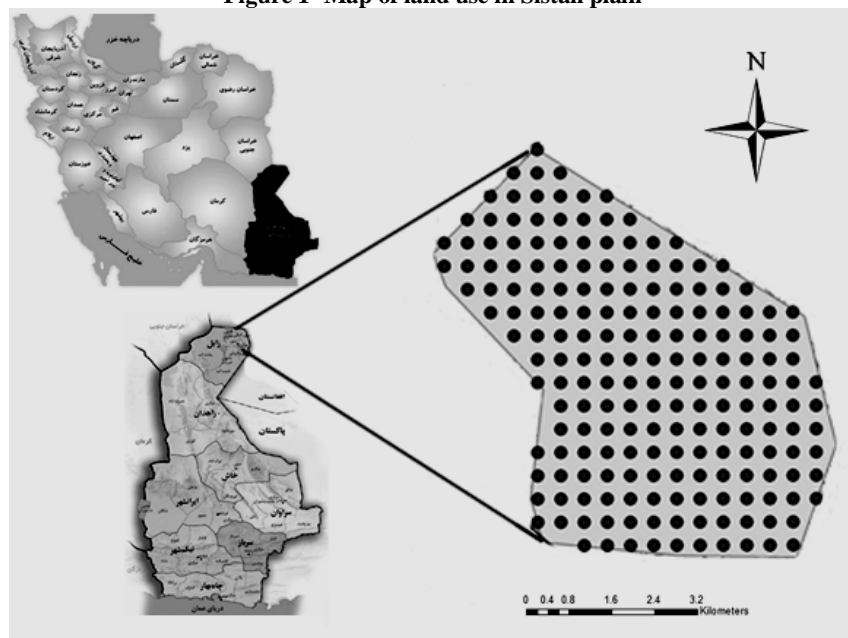
دشت سیستان از دیرباز یکی از قطب‌های کشاورزی در مناطق خشک ایران (سیستان) بوده و چندی است که به علت خشکسالی، سیاست نادرست کشور افغانستان در خصوص جلوگیری از ورود آب رود هیرمند به منطقه سیستان و مواجه شدن این منطقه با کم آبی شدید، روش‌های نامناسب و نادرست آبیاری و مزید بر همه این مسائل، وضعیت آب و هوایی نامناسب، بارندگی سالانه ناچیز و تبخیر بسیار شدید از سطح منطقه به میزان قابل توجهی حاصلخیزی اراضی منطقه کاهش یافته و همچنین بادها و طوفان‌های شدید تابستانه، تمام سطح زمین را به شوره زار تبدیل کرده است و زمین دیگر قابلیت محصول دهی قبلی را ندارد. از آنجا که شناخت چگونگی توزیع مکانی خصوصیات خاک در یک عرصه کمک شایانی به مدیریت هر چه بهتر آن می‌نماید، به‌همین منظور هدف مطالعه حاضر شناخت خصوصیات خاک‌های منطقه مورد مطالعه و تهیه نقشه‌ها و استخراج اطلاعات، از روش‌های زمین آماری در نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

1- Data Base

2- Geographic Information System



شکل 1- نقشه کاربری اراضی در دشت سیستان
Figure 1- Map of land use in Sistan plain



شکل 2- نقشه جغرافیایی سطح منطقه نمونه‌برداری؛ میانکنگی، زابل، سیستان
Figure 2- Geographic map of the sampling region; Miankangi, Zabol, Sistan

روش‌های زمین آماری

روش‌های زمین آماری مورد استفاده به منظور درون‌یابی ویژگی‌های خاک در این تحقیق شامل روش‌های کریجینگ، کوکریجینگ (متغیر کمکی انتخابی با بیشترین نسبت همبستگی)، وزن‌دهی معکوس¹ و درون‌یابی چند جمله‌ای محلی² بود.

روش فاصله وزنی معکوس (IDW): روش فاصله وزنی معکوس، یکی از روش‌های درون‌یابی است که درون‌یابی را به سادگی انجام می‌دهد. این روش با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست آورده و درون‌یابی را انجام می‌دهد. بنابراین هر نقطه اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای) دارای یک اثر محلی است و با افزایش فاصله، از تاثیر آن کاسته می‌شود. بدین ترتیب نقاط نزدیک‌تر دارای وزن بیشتری هستند. این روش با توان‌های 1 و 2 و 3 بررسی شد. در این روش فاصله هر نقطه یا پیکسل با پیکسل مجاور سنجیده می‌شود و سپس بر حسب مقدار فاصله به آن سلول، ارزش یا ضریب وزن داده می‌شود و در نهایت ارزش سلول مرکزی ماتریس با جمع ارزش‌های نقاط همسایه و میانگین وزنی آن‌ها بدست می‌آید. الگوریتم این روش به صورت زیر است:

$$X = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Z_i}{D_i}\right) / \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{D_i}\right) \quad (1)$$

که در این معادله، X، ارزش برآورد شده از روش میان‌یابی، Z_i ، ارزش نقاط موجود (نقاط همسایه)، D_i ، فاصله بین x و هر نقطه موجود می‌باشند (28).

روش چند جمله‌ای محلی (LPI): این روش حداقل مجذورات متناسب را بین گره‌های شناسایی شده در محدوده بیضوی شکل، به عنوان وزن گره تخصیص می‌دهد. در این روش ضرایب تخصیص داده شده، با به دست آوردن رابطه درجه اول، دوم و سوم بین مقادیر x ، y و z و حداقل سازی اطلاعات محاسبه شده، درون‌یابی صورت می‌گیرد (26).

$$\sum_{i=1}^N W_i [F(x_i, y_i) - Z_i]^2 = \text{Minimize} \quad (2)$$

کریجینگ: در چند دهه گذشته روش کریجینگ ابزاری بنیادین و کارآمد در بین روش‌های زمین آمار بوده است. در این روش با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد کمیت مجهول به دست می‌آید. در روش‌های زمین آمار، اطلاعات موقعیت مکانی داده‌ها نیز در محاسبات وارد می‌گردد و سعی می‌شود تا رابطه‌ای نیز بین آن‌ها تعریف گردد. معمولاً این ارتباط و همبستگی بین نمونه‌ها به صورت یک مدل ریاضی ارائه می‌شود تا از این طریق

توان تغییرپذیری را شبیه‌سازی نمود. بنابراین برای آن‌ها همبستگی مکانی را می‌توان تعریف نمود. ابزارهای مختلفی برای بررسی همبستگی وجود دارد که می‌توان به تغییرنا اشاره نمود. این روش از نوع کریجینگ معمولی، کریجینگ تعمیم یافته و کریجینگ گسسته تشکیل شده است.

کریجینگ معمولی³ (OK): این روش تخمین‌گری است که مقادیر یک متغیر را در نقاط نمونه‌برداری نشده به صورت ترکیب خطی از مقادیر همان متغیر در نقاط اطراف آن در نظر می‌گیرد. برآورد مقدار Z در نقطه x_0 به وسیله‌ی این روش به صورت معادله زیر بیان می‌شود:

$$Z_{OK}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (3)$$

که در این معادله $Z^*(x_0)$ و λ_i به ترتیب تخمین متغیر در نقطه x_0 و وزن‌های آماری اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i و n تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ می‌باشد (18).

کریجینگ ساده⁴ (SK): گاهی اوقات دسترسی به اطلاعاتی در مورد میانگین متغیر تصادفی از طریق تجارب و مطالعات قبلی امکان‌پذیر است در چنین وضعیتی از اطلاعات حاضر می‌توان به منظور بهبود و ارتقای تخمین استفاده کرد سیستم کریجینگ ساده، چهارچوب محاسباتی مورد نظر را فراهم می‌کند و به شکل ترکیب خطی وزن‌دار است. معادله‌ی آن به صورت زیر می‌باشد:

$$Z_{SK}^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) + \left\{1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i\right\} \mu \quad (4)$$

که در این معادله $Z^*(x_0)$ و λ_i به ترتیب تخمین متغیر در نقطه x_0 و وزن‌های آماری کریجینگ ساده اختصاص یافته به مقادیر Z در نقاط x_i ، μ میانگین داده‌های مشاهداتی و n تعداد نمونه به کار رفته در کریجینگ می‌باشد (18 و 28).

کریجینگ گسسته⁵ (DK): کریجینگ گسسته، عبارت از تخمین‌گری غیر خطی می‌باشد که در شرایطی که توزیع داده‌ها پیچیده است و برازش آن‌ها توسط توزیع‌های معمول آماری (نرمال و یا لوگ نرمال) دشوار می‌باشد، به کار گرفته می‌شود. این عمل با تبدیل داده‌ها از طریق ترکیب خطی پلی‌نومیال هرمایت⁶ صورت می‌گیرد:

$$Z(x_i) = \varphi\{Y(x_i)\} \quad (5)$$

که در آن $Y(x_i)$ ، عبارت از Z(x_i) تبدیل شده می‌باشد و φ ، ترکیب

3- Ordinary Kriging
4- Simple Kriging
5- Disjunctive Kriging
6- Hermite Polynomials

1- Inverse Distance Weighting
2- Local Polynomial Interpolation

$$MEE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z^*(x_i) - Z(x_i)] \quad (9)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z - Z^*)^2} \quad (10)$$

که در این فرمول‌ها، $Z^*(x_i)$ مقادیر برآوردی در نقطه x_i ، و $Z(x_i)$ مقادیر مشاهده‌ای برای نقطه x_i می‌باشد. جهت تجزیه و تحلیل اولیه داده‌های بدست آمده از نرم افزار SPSS 16 و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک منطقه مورد مطالعه از نرم افزار Arc GIS 10.1 استفاده گردید. جهت تعیین کلاس بافت خاک نیز از نرم افزار تحت ویندوز TAL⁴ استفاده گردید، این نرم افزار بر اساس چندین سیستم طبقه‌بندی شامل سیستم‌های USDA، کانادایی، UK و سیستم طبقه‌بندی بین‌المللی می‌باشد که در تحقیق حاضر از سیستم USDA استفاده گردیده است.

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی شامل میانگین، واریانس، ضریب تغییرات، مقادیر حداکثر و حداقل، چولگی و کشیدگی برای هر کدام از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محاسبه شد که در جدول 1 آورده شده است.

نتایج حاصل از آزمون نرمال نشان داد که توزیع داده‌ها بجز کربنات کلسیم و محتوای ذرات رس خاک منطقه، از توزیع نرمال پیروی می‌کند (جدول 1) و ضریب چولگی این پارامترها بین 1- و 1+ قرار دارد (7). از آنجایی که بسیاری از تکنیک‌های زمین آماری در وضعیت نرمال داده‌ها بسیار کارآمدتر به پردازش داده‌های مکانی می‌پردازند در این راستا اقدام به نرمال کردن داده‌ها گردید. از طرفی بریچدا و همکاران (12) بیان داشته‌اند که تبدیل داده‌ها در کاهش چولگی، نزدیک شدن داده‌ها به توزیع نرمال و کاهش ضریب تغییرات مؤثر است. در متغیرهای کربنات کلسیم و ذرات رس تبدیل داده‌ها با استفاده از تابع‌های لگاریتمی و مربعات ریشه هر چند در کاهش میزان چولگی مؤثر بود ولی فقط توزیع فراوانی ذرات رس نرمال گردید (شکل 3- ب) و توزیع فراوانی کربنات کلسیم همچنان غیرنرمال باقی ماند و مقادیر چولگی و کشیدگی آن حتی بیشتر از حالت اولیه گردید (شکل 4- ب).

خطی پلی‌نومیال‌های هرمایت است:

$$\varphi\{Y(x_i)\} = \sum_{k=0}^{\infty} C_k H_k[Y(x)] \quad (6)$$

$H_k[Y(x)]$ عبارت از پلی‌نومیال هرمایت ردیف k است و C_k ضرایب هرمایت می‌باشند که از طریق انتگرال‌گیری به دست می‌آیند. بدین ترتیب، تخمین گر کریجینگ گسسته، عبارت از ترکیب غیرخطی برآوردهای پلی‌نومیال‌های هرمایت داده‌های تبدیل شده است:

$$Z_{DK}(x) = \sum_{k=0}^k C_k H_k^*[Y(x)] \quad (7)$$

که $H_k^*[Y(x)] = \sum_{i=1}^n b_{ik} H_k[Y(x)]$ می‌باشد و b_{ik} عبارت از وزن‌های آماری کریجینگ گسسته هستند (28).

کوکرینگ: همان‌طور که در آمار کلاسیک روش‌های چندمتغیره برای تخمین وجود دارد، در زمین آمار نیز می‌توان به روش کریجینگ بر اساس همبستگی بین متغیرهای مختلف تخمین زد. این خصوصیت می‌تواند باعث دقت بیشتر تخمین‌ها گردد. از نظر تئوری، کوکرینگ با کریجینگ تفاوتی ندارند. سیستم معادلاتی کوکرینگ را می‌توان به هر تعداد متغیر ثانویه تعمیم داد. با فرض وجود یک متغیر مکانی کمکی در کنار متغیر مکانی اصلی مقدار نامعلوم متغیر در نقطه برابر است که در تخمین گر کوکرینگ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_{1i} Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^n \lambda_{2j} Z_2(x_j) \quad (8)$$

که در این معادله $Z_2(x_j)$ متغیر مکانی کمکی یا ثانویه، $Z_1(x_i)$ متغیر مکانی اصلی، $Z(x_0)$ مقدار نامعلوم متغیر در نقطه x_0 بوده و m و n به ترتیب برابر با تعداد نقاط نمونه‌برداری متغیرهای اصلی و کمکی است. λ_{1i} و λ_{2j} عبارتند از وزن‌های آماری اختصاص داده شده به متغیرهای اصلی و کمکی.

به منظور مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین روش زمین‌آمار، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل¹ استفاده شد. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای همه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. در این مطالعه از پارامترهای میانگین خطا² (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا³ (RMSE) استفاده شد.

1- Validation
2- Mean Error
3- Root Mean Square Error

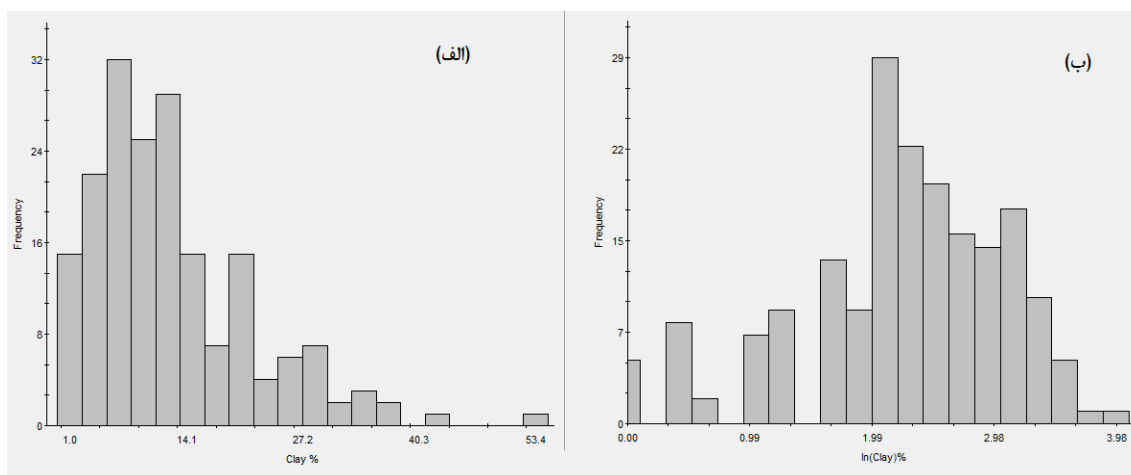
4- Texture AutoLookup (TAL)

جدول 1- آمار توصیفی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه
Table 1- Descriptive statistics of soil characteristics in the study area

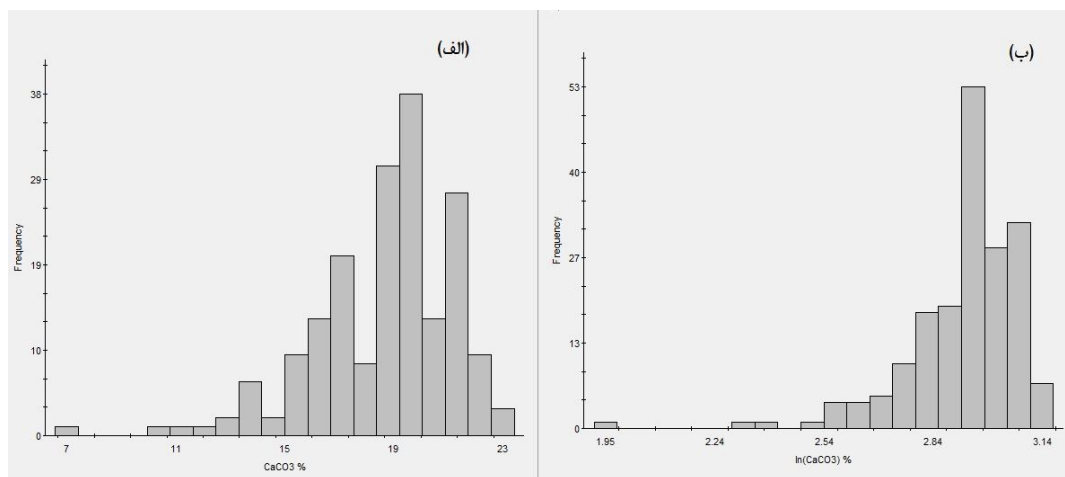
خصوصیات خاک Soil Propertice	واحد Unit	حدا قل Min	حداکثر Max	میانگی ن Mean	انحراف معیار Standard deviation	ضریب تغییرات Coefficient Variation	کشیدگی گی Kurtosis	چولگی Skewness
کربنات کلسیم (CaCO ₃)	درصد	7.0	23.0	18.66	2.52	13.50	5.41	-1.18
هدایت الکتریکی (EC)	dSm ⁻¹	0.13	21.33	5.68	5.85	102.99	2.40	0.85
اسیدیته خاک (pH)	-	6.9	9.0	8.13	0.45	5.53	3.23	-0.77
رس (Clay)	درصد	1.0	53.0	12.44	8.89	72.18	2.22	1.32
شن (Sand)	درصد	0.0	96.6	45.37	18.28	40.29	2.62	0.29
سیلت (Silt)	درصد	2.2	78.0	42.17	16.03	38.01	2.29	-0.45
رطوبت اشباع (SP)	درصد	15.3	80.0	46.67	8.50	18.21	4.53	0.57

همکاران (15) در مطالعات خود بر روی طبقه‌بندی ضریب تغییرات خصوصیات خاک، آن را در دو دسته پایین (0% - 15%) و بالا (15% - 75%) قرار دادند. در این مطالعه مقادیر ضریب تغییرات برای خصوصیات خاک در محدوده بین 5/53 برای اسیدیته خاک (کمترین)، و 102/99 برای هدایت الکتریکی خاک (بیشترین)، در عمق 0 تا 30 سانتی‌متری می‌باشد (جدول 1).

توزیع فراوانی متغیرهای خاک می‌تواند تحت اثر وضعیت فیزیوگرافی ناحیه مورد مطالعه قرار گیرد (20). بنابراین پارامترهای بدست آمده برای کربنات کلسیم به همان صورت اولیه در محاسبات وارد گردید و برای ذرات رس از پارامترهای لگاریتمی آن در انجام محاسبات استفاده گردید. ضریب تغییرات معیاری از تغییرپذیری نسبی است. دهیبا و



شکل 3- هیستوگرام ذرات رس، (الف) بر مبنای داده های اولیه، (ب) پس از استفاده از تبدیل لگاریتمی
Figure 3- Histogram of clay, (a) based on the raw data and (b) after using logarithmic transformation



شکل 4- هیستوگرام کربنات کلسیم، (الف) بر مبنای داده‌های اولیه، (ب) پس از استفاده از تبدیل لگاریتمی
 Figure 4- Histogram of Calcium carbonate, (a) based on the raw data and (b) after using logarithmic transformation

دادن تابع لگاریتمی از مقدار 72/18 درصد به 37/66 درصد تعدیل یافته است (جدول 1).

بررسی همبستگی میان خصوصیات اندازه‌گیری شده خاک

اساس روش زمین آماری کوکریجینگ بکارگیری متغیر کمکی می‌باشد، در این خصوص همان‌طور که در جدول 2 مشاهده می‌شود تمامی خصوصیات خاک با وابستگی مکانی قوی و ضعیف در مقابل هم رگرسیون‌بندی و ضریب همبستگی خطی (r) میان پارامترها محاسبه گردید.

غلامی و همکاران (17)، کمترین ضریب تغییرات را برای اسیدپته خاک گزارش کرده‌اند. فروغی‌فر و همکاران (16)، بیان داشته‌اند که ضریب تغییرات کم برای اسیدپته متأثر از عوامل ذاتی همچون مواد مادری در رفتار این ویژگی است در حالی که ضریب تغییرات زیاد می‌تواند ناشی از اثر متقابل عوامل مدیریتی، مانند مصرف کود و عوامل ذاتی مانند وضعیت زهکشی در خاک‌ها باشد. بعلاوه، ضریب تغییرات بالای هدایت الکتریکی (102/99) می‌تواند ناشی از بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و شدت بالای تبخیر باشد، که باعث بجا ماندن نمک‌های محلول در سطح خاک منطقه مورد مطالعه گردیده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ضریب تغییرات رس نیز با اثر

جدول 2- همبستگی پیرسون بین خصوصیات خاک
 Table 2- Pearson Correlation between soil properties

همبستگی Correlation	هدایت الکتریکی (EC)	سیلت (Silt)	رس (Clay)	شن (Sand)	اسیدیته (pH)	درصد رطوبت اشباع (SP)	کربنات کلسیم (CaCo3)
کربنات کلسیم (CaCo3)	0.13	0.196**	-0.058	-0.143	-0.144	0.169*	1
درصد رطوبت اشباع (SP)	0.255**	0.425**	0.248**	-0.494	-0.096	1	
اسیدیته (pH)	0.207**	-0.021	0.21**	-0.085	1		
شن (Sand)	-0.304	-0.871	-0.482	1			
رس (Clay)	0.51**	-0.011	1				
سیلت (Silt)	0.061	1					
هدایت الکتریکی (EC)	1						

** و * به ترتیب وجود همبستگی معنی دار در سطح 0/01 و 0/05 درصد
 **, *. Correlation is significant at the 0.01 and 0.05 level, respectively

آهک: محتوای آهک در خاک‌های منطقه میانکنگی با میانگین 18/66 درصد، رقم نسبتاً بالایی بوده و بیانگر رسوب کربنات کلسیم 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 کربنات کلسیم در افق‌های خاک رسوب می‌کند، تا جایی که مقدار کربنات کلسیم در استپ‌ها، خاک‌های صحرایی و اُس تا 20 درصد و در بعضی موارد تا 80 درصد خواهد رسید (10). رسوب کربنات کلسیم در افق‌های مختلف خاک ممکن است 5 الی 7 سال پس از شروع آبیاری صورت بگیرد که نتیجه‌ی طولانی مدت این پدیده بایر شدن اراضی فاریاب خواهد بود. همچنین، پایین بودن ضریب تغییرات (13/5 درصد)، بیانگر منشأ زمین‌شناسی کربنات کلسیم در این منطقه می‌باشد. فروغی‌فر و همکاران (16) نیز ضریب تغییرات پایین برای ویژگی‌های خاک را ناشی از تأثیر عوامل ذاتی، برای مثال مواد مادری دانسته‌اند.

اسیدپتته خاک: محدوده متغیر اسیدپتته گل اشباع خاک‌های منطقه میانکنگی، محدوده خنثی (6/9) و قلیایی (9) می‌باشد. امینی-جهرمی و همکاران (3)، گزارش کرده‌اند خاک‌های که محتوای کربنات کلسیم آن‌ها زیاد است بطور عمده اسیدپتته آن‌ها بیشتر از 7/5 می‌باشد. نتایج بدست آمده از آزمایش اسیدپتته خاک‌های منطقه مورد مطالعه با میانه 8/2، در راستای تحقیقات ایشان می‌باشد که به‌تأثیر محتوای کربنات کلسیم بالا در خاک‌های منطقه در بیشتر بودن اسیدپتته این خاک‌ها اشاره می‌کند و با توجه به ضریب تغییرات بسیار پایین بدست آمده برای اسیدپتته، می‌توان قلیابیت خاک‌های منطقه را از ویژگی‌های ذاتی آن دانست. قلیابیت بالای خاک نه تنها رشد گیاهان را محدود می‌کند بلکه باعث کاهش نفوذپذیری و انهدام ساختمان مطلوب خاک، بویژه در اثر آبیاری می‌شود.

شوری خاک: هدایت الکتریکی خاک‌های منطقه میانکنگی با ضریب تغییرات 102/99، دامنه تأثیر کم (935 متر) و حداقل مقدار $0/13 \text{ dS.m}^{-1}$ و حداکثر مقدار $21/33 \text{ dS.m}^{-1}$ (خاک کاملاً شور)، تغییرات مکانی بسیار شدیدی را نشان می‌دهد و می‌توان شدت این تغییرات را علاوه بر عوامل محیطی دشت سیستان، ناشی از عوامل مدیریتی همچون آبیاری، تغییر کاربری اراضی و کوددهی دانست. نتایج بدست آمده حاکی از گسترش شوری بیش از حد اراضی مورد مطالعه و کاهش کیفیت و سلامت خاک در این منطقه می‌باشد. با استناد به نتایج بدست آمده برای هدایت الکتریکی، خاک‌های منطقه مورد مطالعه با میانگین هدایت الکتریکی $5/68 \text{ dS.m}^{-1}$ در گروه خاک‌های شور قرار می‌گیرد (36). سکوتی اسکوئی و همکاران (35)، بیان داشتند در اراضی با شیب ملایم گسترش شوری خاک وسیع‌تر می‌باشد.

همان‌طور که در جدول 2 ملاحظه می‌گردد، درصد رطوبت اشباع خاک با مقدار سیلت دارای همبستگی مثبت ($r=0/43$ و $p<0/01$) است و با مقدار شن موجود در خاک دارای رابطه منفی ($p<0/01$ و $r=-0/48$) است، و با مقدار رس و هدایت الکتریکی خاک منطقه مورد مطالعه نیز رابطه‌ای مثبت در سطح یک درصد نشان می‌دهد. جی و همکاران (21) گزارش کرده‌اند که رطوبت حجمی خاک با مقدار رس خاک رابطه مثبت، و با محتوای ذرات شن موجود در خاک رابطه منفی دارد. همچنین مشاهده گردید که هدایت الکتریکی با ذرات رس دارای همبستگی مثبت ($r=0/51$ و $p<0/01$) است. هو و همکاران (19) گزارش نمودند که هدایت الکتریکی همبستگی مثبت معنی‌داری با درصد رس ($p<0/001$) نشان داد. این محققان دلیل این همبستگی را جذب کاتیون‌ها در سطوح رس‌های باردار بیان می‌کنند. عالمی و همکاران (2)، با مقایسه کاربرد روش‌های کریجینگ و کوکریجینگ به این نتیجه رسیدند که واریانس هدایت الکتریکی با متغیر کمکی درصد رس خاک در روش کوکریجینگ کمتر از روش کریجینگ است. محتوای کربنات کلسیم موجود در خاک نیز در سطح پنج درصد با رطوبت اشباع، و در سطح یک درصد با ذرات سیلت رابطه مثبت نشان داده است که دلیل این همبستگی می‌تواند وجود لایه‌های عظیم از رسوبات مارنی در منطقه باشد (4). با این وجود هیچ‌گونه همبستگی مثبت و معنی‌داری میان شن با دیگر خصوصیات اندازه-گیری شده دیده نشد. با تکیه بر نتایج حاصل از محاسبه همبستگی در تحقیق حاضر، جهت تخمین خصوصیات خاک به روش کوکریجینگ، از درصد سیلت به‌عنوان متغیر کمکی برای برآورد کربنات کلسیم و درصد رطوبت اشباع، از محتوای ذرات رس به‌عنوان متغیر کمکی برای تخمین هدایت الکتریکی و اسیدپتته خاک، 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.

بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در منطقه میانکنگی

بافت خاک: با توجه به نتایج بدست آمده برای بافت خاک با استفاده از نرم افزار TAL، مشاهده گردید که عموماً بافت خاک‌ها، لوم و شنی لوم می‌باشد و به‌طور کلی، لوم جزء غالب بافت خاک‌های این منطقه را تشکیل می‌داد. بافت خاک منطقه مورد مطالعه متوسط و رنگ آن روشن می‌باشد. با بررسی نقشه پهنه‌بندی ذرات خاک مشاهده گردید که در بخش‌های شمالی خاک سبک‌تر بوده و به تدریج به سمت بخش‌های جنوبی با افزایش محتوای رس، بافت خاک سنگین‌تر است.

جدول 3- پارامترهای نیم تغییر نما برای متغیرهای مورد مطالعه در منطقه میانکنگی
Table 3- Semivariogram parameters for soil characteristics in the Miankangi region

خصوصیات خاک Soil properties	مدل Model	اثر قطعه‌ای Nugget effect	سقف Sill	دامنه تأثیر (متر) Range (m)	نسبت همبستگی Correlation ratio	کلاس همبستگی* Correlation class	ME	RMSE
کربنات کلسیم (CaCO ₃)	نمایی Exponential	2.53	5.13	3806	0.33	M	-0.022	2.14
هدایت الکتریکی (EC)	نمایی Exponential	8.04	26.99	935	0.23	S	0.035	5.72
اسیدیته خاک (pH)	نمایی Exponential	0.16	0.03	2346	0.84	W	-0.001	0.44
رس (Clay)	کی-بسل ¹ K-Bessel	43.62	4309	3608	0.50	M	-0.035	8.46
شن (Sand)	نمایی Exponential	249.36	105.18	2123	0.70	M	0.015	17.97
سیلت (Silt)	کروی Spherical	187.18	74.25	1083	0.71	M	0.029	16.13
رطوبت اشباع (SP)	نمایی Exponential	42.60	38.47	5953	0.52	M	-0.003	7.78

* (S) کلاس همبستگی قوی، (M) کلاس همبستگی متوسط، (W) کلاس همبستگی ضعیف
* (S) Strong correlation class, (M) class solidarity average, (W) weak correlation class

تجزیه و تحلیل نیم تغییر نما

تعیین همبستگی و تغییرات مکانی با استفاده از روش‌های زمین آمار، نیازمند محاسبه و الگوسازی تغییرنما می‌باشد. در همین راستا، تغییرنماهای تجربی برای هر یک از خصوصیات خاک محاسبه و ترسیم گردید و مشخص گردید که ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه دارای همبستگی مکانی می‌باشند (جدول 3).

شدت و درجه وابستگی مکانی متغیر ناحیه‌ای را می‌توان از تقسیم واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس کل یا حد آستانه به‌دست آورد، که گاهی به‌صورت درصد نیز بیان می‌شود. چنانچه نسبت بدست آمده کمتر از 25 درصد باشد، متغیر دارای کلاس همبستگی قوی و اگر مقدار نسبت مذکور بین 25 تا 75 درصد باشد، نسبت همبستگی متوسط می‌باشد. چنانچه این نسبت بیش از 75 درصد باشد، متغیر دارای کلاس همبستگی مکانی ضعیف خواهد بود (6). با توجه به جدول 3، مشاهده می‌گردد که کلاس همبستگی هدایت الکتریکی، قوی بوده و اسیدیته خاک همبستگی ضعیفی نشان می‌دهد. بقیه ویژگی‌های خاک همبستگی متوسطی داشتند. در صورتی که نسبت همبستگی در مورد ویژگی‌ها برابر 100 درصد گردد و یا اینکه شیب منحنی تغییرنما نزدیک به صفر باشد ویژگی مربوطه فاقد وابستگی مکانی خواهد بود (30)، و اگر نسبت همبستگی برای ویژگی صفر شود بیانگر یک پیوستگی در وابستگی مکانی می‌باشد (38).

با بررسی تغییرنماهای رویه‌ای، ناهمسانگردی مشخصی مشاهده

با توجه به قرار گرفتن منطقه مورد مطالعه در اقلیم خشک، بالا بودن سطح آب زیرزمینی و میزان تبخیر و تعرق بسیار شدید، و همچنین با در نظر داشتن اراضی تحت آبیاری منطقه مورد نظر می‌توان اظهار داشت، مسأله شوری خاک‌های منطقه جدی بوده و با فعال بودن موارد مذکور می‌توان بیان داشت که خاک‌های منطقه مورد مطالعه با گسترش هرچه بیشتر شوری مواجه است. یارون (39)، گزارش کرده است که هر سال قریب به صد هزار ایکر از اراضی فاریاب² حاصلخیزی خود را به‌علت شور شدن از دست می‌دهند. در کشور ما حدود 20 میلیون هکتار از اراضی مستعد کشاورزی به‌درجات مختلف متأثر از املاح محلول می‌باشد (24). بای‌بوردی (10) بیان داشته است؛ در مناطق خشک ایران که مقدار املاح آب زیرسطحی به 10 الی 15 گرم در لیتر می‌رسد نیاز است که سطح آب زیرسطحی را در عمق 2-2/5 متری نگه داریم. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان به پیشرو بودن خطر بسیار جدی شوری خاک‌های منطقه میانکنگی اشاره کرد. این امر نیازمند مدیریت صحیح و اجرای برنامه‌های هدفمند جهت مرتفع ساختن خطر گسترش شوری در راستای کشاورزی پایدار می‌باشد.

1- K-Bessel
2- Irrigated Lands

نمونه‌برداری می‌باشد، که در تحقیق حاضر با کوچک‌تر در نظر گرفتن مقیاس به کار گرفته شده برای اسیدیته خاک می‌توان همبستگی قوی‌تری را مشاهده کرد.

پس از تجزیه و تحلیل تغییرنا، درون‌یابی داده‌ها به کمک نرم افزار Arc GIS توسط روش‌های زمین آماری کریجینگ و کوکریجینگ و همچنین روش‌های فاصله وزنی معکوس و چند جمله‌ای محلی صورت گرفت که نتایج آن‌ها در جدول‌های 4 و 5 آورده شده است. برای ارزیابی روش‌های مذکور پارامتر مجذور میانگین مربعات خطا در نظر گرفته شد. مطابق جدول 4 و 5 نتایج نشان داد که با در نظر گرفتن پارامتر مجذور میانگین مربعات خطا روش کوکریجینگ گسسته در زمینه درون‌یابی مقادیر هدایت الکتریکی، اسیدیته خاک و درصد رس نسبت به کریجینگ ساده و کوکریجینگ معمولی عملکرد بهتری نشان داده است. این نتایج در راستای نتایج یتس (40) می‌باشد. ایشان در تخمین مقدار رطوبت ثقلی گزارش کرده‌اند که کوکریجینگ گسسته بر حسب کاهش واریانس خطاها و صحت برآورد بیشتر نسبت به کوکریجینگ معمولی، تخمین‌گر بهتری است.

روش کوکریجینگ معمولی و ساده به ترتیب به منظور پهنه‌بندی درصد کربنات کلسیم خاک و درصد رطوبت اشباع، نسبت به دیگر روش‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی این خصوصیات ارجحیت دارند. با این وجود حتی وقتی از همه متغیرها به اندازه کافی نمونه در دسترس باشد همان‌طور که در این تحقیق مشاهده می‌گردد روش کوکریجینگ در بیشتر موارد تخمین بهتری خواهد داشت. بامری و همکاران (7)، 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 تپه ماهوری، روش کوکریجینگ معمولی نسبت به دو روش کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله نتایج بهتری ارائه می‌دهد.

ایجاد نقشه پهنه‌بندی محتوای ذرات سیلت و شن با استفاده از روش کریجینگ گسسته که دارای کمترین مجذور میانگین مربعات خطا نسبت به سایر روش‌های مورد ارزیابی بود صورت گرفت. همچنین به این دلیل که محتوای ذرات شن با هیچکدام از ویژگی‌های دیگر خاک هیچ‌گونه همبستگی معنی‌داری نداشت (همبستگی بدون معنی و منفی با ذرات سیلت با مقدار $r = -0/87$)، به تخمین آن توسط روش کریجینگ بسنده شد.

بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات خاک منطقه میانکنگی به کمک روش‌های زمین آماری نقشه‌های پهنه‌بندی ویژگی‌های منحصر بفرد خاک در منطقه مورد نظر توسط داده‌های بدست آمده از نقاط نمونه‌برداری شده به کمک ارجح‌ترین روش برای هر کدام از ویژگی‌های خاک منطقه مورد مطالعه تولید شد که در شکل 5 آورده شده است.

نگردید، که می‌تواند به دلیل تغییرات اندک فاکتورهای شکل‌دهنده ویژگی‌های خاک در جهات مختلف باشد (14). بنابراین با توجه به همسانگرد بودن متغیرهای مورد بررسی، تغییرناهای همه جهته‌ای آن‌ها تهیه و با استفاده از تکنیک اعتبارسنجی متقابل و پارامترهای میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا مناسب‌ترین مدل تغییرنا انتخاب گردید و برازش داده شد. مناسب‌ترین مدل‌های تهیه شده مدل‌های کروی و نمایی برای نیم‌تغییرناهای خصوصیات اندازه‌گیری شده در مطالعات خاک می‌باشد (25). مدل کروی از جمله معمول‌ترین مدل‌های دارای سقف زمین آماری برازش داده شده برای ویژگی‌های خاک است (30). با توجه به جدول 3 نتایج حاکی از آن است که همه متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سقف‌دار می‌باشند. تغییرنمای تمام پارامترها بجز رس و سیلت با مدل نمایی سازگاری دارد و این در صورتی است که سازگارترین مدل با تغییرات مکانی ذرات سیلت، مدل کروی و مدل سازگار با تغییرات مکانی ذرات رس مدل کی- بسل می‌باشد. دامنه تأثیر تغییرناها فاصله‌ای است که در ماورای آن مشاهدات، همبستگی مکانی وجود نداشته و می‌توان آن‌ها را مستقل از یکدیگر محسوب کرد چنین فاصله‌ای حد همبستگی مکانی خصوصیت مورد نظر را مشخص نموده و اطلاعاتی در رابطه با حد مجاز فاصله نمونه- برداری را ارائه می‌دهد (5). این پارامتر در مورد کربنات کلسیم 3806 متر، اسیدیته خاک 2346 متر، هدایت الکتریکی 935 متر، ذرات رس 3608 متر، ذرات شن 2123 متر، ذرات سیلت 1083 متر و درصد رطوبت اشباع خاک 5953 متر می‌باشد (جدول 3). دامنه تأثیر تابعی از مقیاس مورد مطالعه و فاصله نمونه‌برداری می‌باشد (6). به طوری که در مطالعه افشار و همکاران (1) با ابعاد نمونه‌برداری کوچک‌تر (112×48 متر) در مزرعه کشاورزی شهر کیان در استان چهارمحال و بختیاری می‌توان مشاهده کرد که اکثر پارامترهای مورد ارزیابی دارای دامنه تأثیر کمتر از 100 متر می‌باشد و بجز پارامتر واکنش خاک با همبستگی قوی سایر پارامترها دارای همبستگی متوسطی هستند. در کل دامنه تغییرناها متفاوت از هم بوده که بیانگر یکسان نبودن شرایط توزیع و تغییرات مکانی خصوصیات خاک در منطقه مورد مطالعه است. همبستگی مکانی هدایت الکتریکی خاک منطقه، بیشترین بوده و در دامنه مؤثر کمتری نسبت به بقیه خصوصیات خاک رخ می‌دهد که نشان‌دهنده شرایط غیر یکسان و ناهمگون بودن توزیع مکانی این ویژگی شده است، و با توجه به گزارشات کمبردلا و همکاران (13) می‌توان اظهار داشت که هدایت الکتریکی بیشتر به وسیله تغییرات ذاتی خاک کنترل می‌شود. ژنگ و همکاران (41) در آنالیز آماری خود نشان دادند که عوامل ساختمانی مثل مواد مادری، نوع خاک و سطح آب زیرزمینی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک هستند. از سوی دیگر فروغی‌فر و همکاران (16) بیان داشته‌اند که همبستگی مکانی به شدت تحت تأثیر مقیاس

جدول 4- نتایج تخمین ویژگی‌های خاک با استفاده از روش زمین‌آماري کريجینگ
Table 4 - Results of the estimation of soil characteristics by using kriging method

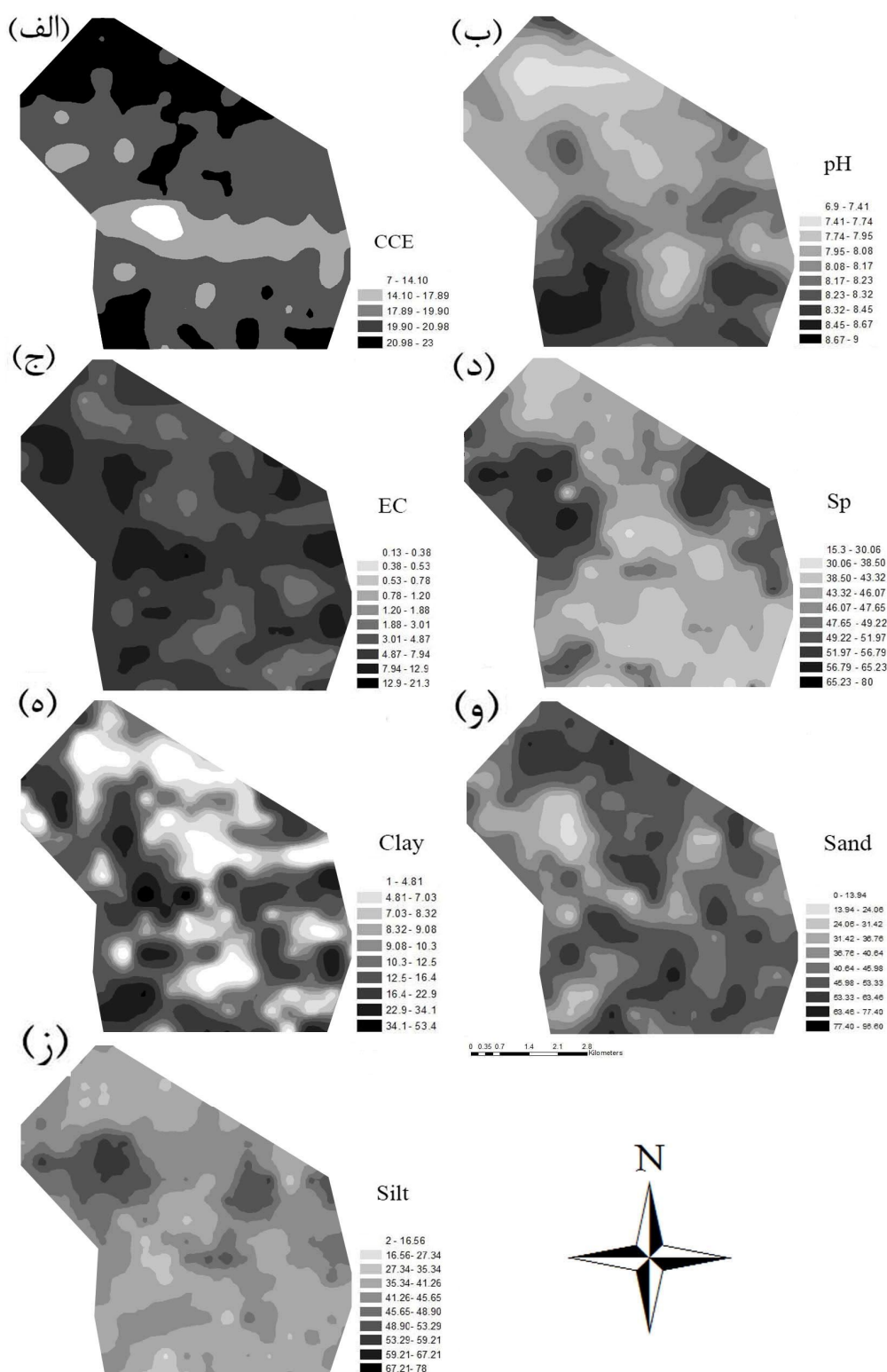
ویژگی خاک Soil properties	معیار ارزیابی Assessment standard	گسسته Disjunctive	ساده Simple	معمولی Ordinary
کربنات کلسیم (CaCo3)	ME RMSE	-0.0479 2.170	-0.055 2.162	-0.01903 2.146
هدایت الکتریکی (EC)	ME RMSE	-0.0026 5.636	-0.0036 5.644	-0.0035 5.721
اسیدیته (pH)	ME RMSE	-0.00013 0.436	-0.00051 0.436	-0.00058 0.433
درصد رطوبت اشباع (SP)	ME RMSE	-0.0551 7.850	-0.0357 7.862	-0.0031 7.827
رس (Clay)	ME RMSE	-0.1148 8.365	-0.1013 8.375	-0.0030 8.509
شن (Sand)	ME RMSE	0.0990 17.723	0.1007 17.728	0.0268 18.197
سیلت (Silt)	ME RMSE	0.0151 15.696	0.0157 15.702	-0.0543 16.035

جدول 5- نتایج روش‌های کوکریجینگ، IDW و LPI در تخمین خصوصیات خاک‌های منطقه میانکنگی
Table 5- Results of the estimation of soil characteristics by using Co-kriging, IDW and LPI method

ویژگی خاک Soil properties	معیار ارزیابی Assessment standard	LPI -	IDW توان 2 power 2	کوکریجینگ (Co-Kriging)			متغیر کمکی Secondary variable
				گسسته Disjunctive	ساده Simple	معمولی Ordinary	
کربنات کلسیم (CaCo3)	ME RMSE	0.1579 2.207	0.16 2.15	-0.0475 2.156	-0.0522 2.149	-0.025 2.14	سیلت (Silt)
هدایت الکتریکی (EC)	ME RMSE	0.1238 5.783	0.1483 5.689	0.0193 5.535	0.0762 5.542	0.0255 5.805	رس (Clay)
اسیدیته (pH)	ME RMSE	0.0414 0.4418	0.0402 0.4466	0.0002 0.4246	-0.0001 0.4253	-0.0026 0.4466	رس (Clay)
درصد رطوبت اشباع (SP)	ME RMSE	1.9352 8.241	1.2143 8.587	-0.038 7.387	-0.012 7.175	0.009 7.711	سیلت (Silt)
رس (Clay)	ME RMSE	4.8088 10.069	4.1679 9.9009	-0.1072 7.487	-0.0834 7.506	0.0149 7.532	هدایت الکتریکی (EC)
سیلت (Silt)	ME RMSE	0.2035 15.789	0.2989 15.956	0.0061 15.775	0.0037 15.779	0.0439 15.722	کربنات کلسیم (CaCo3)

منطقه، محتوای املاح خاک برای کشاورزی بسیار بالا بوده و هدایت الکتریکی این خاک‌ها نیز بیش‌تر از 4 دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد (شکل 5-ج). برای درصد ذرات رس نیز در نقشه پهنه‌بندی آن روندی بسیار نزدیک به روند تغییرات مکانی هدایت الکتریکی مشاهده گردید و نقشه‌های پهنه‌بندی آن‌ها تشابه بالایی دارد (شکل 5-ه) و نسبت همبستگی بالایی ($r=0/51$) این دو پارامتر نیز به‌خوبی بیانگر این مسأله است، که دلیل این امر می‌تواند به شرایط رسوب‌گذاری منطقه در گذشته ارتباط داده شود هرچند که خشکسالی‌های پی‌درپی در سال‌های اخیر و افزایش بادهای 120 روزه که باعث افزایش تبخیر و تعرق شده است و رسوب‌گذاری دیگر مانند قبل صورت نمی‌گیرد.

با توجه به محتوای کربنات کلسیم خاک (شکل 5-الف) مشاهده می‌شود که روند تغییرات آن در راستای شرق به غرب افزایش کمی نشان می‌دهد، این در صورتی است که در اراضی حاشیه‌ای محتوای کربنات کلسیم افزایش نشان می‌دهد. بطور کلی نقشه پهنه‌بندی اسیدیته خاک منطقه نشان‌دهنده افزایش این پارامتر در راستای شمالی-جنوبی می‌باشد (شکل 5-ب). تغییرات هدایت الکتریکی در منطقه به‌گونه‌ای است که تنها مساحت کوچکی از منطقه مورد مطالعه دارای شوری کمتر از 4 دسی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. بطور کلی استنباط می‌شود که در اراضی بخش‌های شرقی (زمین‌های حاشیه مرز زابل با کشور پاکستان) و غربی



شکل 5- نقشه‌های پهنه بندی (الف) کربنات کلسیم (ب) اسیدیته خاک. (ج) هدایت الکتریکی خاک. (د) درصد رطوبت اشباع. (ه) رس. (و) شن و همچنین (ز) سیلت

Figure 5- Zoning maps of (a) calcium carbonate, (b) soil acidity, (C) Electrical conductivity, (D) saturation percentage, (E) Clay, (F) Sand and (G) Silt

(برای ذرات رس) به‌عنوان بهترین مدل برازش برای ویژگی‌های خاک مورد مطالعه بدست آمد. برای مقایسه روش‌ها از تکنیک ارزیابی متقابل¹ و پارامتر میانگین مجذور مربعات خطا استفاده گردید. نتایج نشان داد در این تحقیق، روش کوکریجینگ مناسب‌ترین روش برای تهیه نقشه‌های اسیدیته خاک، درصد رطوبت اشباع، کربنات کلسیم، هدایت الکتریکی و محتوای ذرات رس می‌باشد و نقشه محتوای ذرات سیلت و شن به‌روش کوکریجینگ تولید شد. هدایت الکتریکی خاک‌های منطقه میانکنگی با ضریب تغییرات 102/99، دامنه تأثیر کم (935 متر)، تغییرات مکانی بسیار شدیدی نشان داد. درخصوص پهنه‌بندی هدایت الکتریکی و تعیین سطوح با شوری متجاوز از حد مجاز روش کوکریجینگ گسسته نسبت به روش‌های کوکریجینگ گسسته و کوکریجینگ معمولی عملکرد بهتری نشان داد که با در نظر گرفتن حد آستانه 4 دسی‌زیمنس بر متر، نقشه شوری خاک تولید گردید. با بررسی نقشه شوری منطقه معلوم گردید که بیشترین سطح منطقه مورد مطالعه را خاک‌های با شوری بیش‌تر از حد آستانه تعریف شده در برگرفته است و تغییرات مکانی شوری با میزان رس در ارتباط می‌باشد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از کارشناسان و مسئولین آزمایشگاه خاک دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل، به‌دلیل همکاری در انجام آزمایشات تشکر بعمل می‌آید.

همچنین روند تغییرات درصد رطوبت اشباع در خاک‌های منطقه، نشان می‌دهد که الگوی پراکنش این پارامتر مشابه محتوای الگوی پراکنش ذرات سیلت و رس می‌باشد. به‌گونه‌ای که در نواحی مرکزی درصد رطوبت اشباع به نسبت کمتر است، در صورتی که روند تغییرات آن در راستای شرق به غرب افزایش می‌یابد (شکل 5-د)؛ همین روند هم در پهنه‌بندی محتوای ذرات سیلت مشاهد گردید (شکل 5-ز)، که بیانگر ارتباط و همبستگی درصد رطوبت اشباع و ذرات سیلت می‌باشد. بررسی روند تغییرات شن نیز نشان داد که کاملاً عکس روندهای مشاهده شده برای درصد رطوبت اشباع و ذرات سیلت است (شکل 5-و). نتایج کلی این نقشه‌ها حاکی از آن است که تغییرپذیری در ویژگی‌های خاک نتیجه تغییر در محیط‌های رسوب-گذاری و یا اختلاف در مراحل خاکسازي مختلف می‌باشد. همچنین ویژگی‌های مورد مطالعه در این تحقیق می‌تواند تحت تاثیر عملیات کشاورزی مانند آبیاری، مصرف کود و ... باشد که در مناطق مختلف میزان پارامترها متفاوت می‌باشد (16 و 29).

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر نتایج حاصل از آزمون نرمال نشان داد که توزیع داده‌ها بجز برای کربنات کلسیم و محتوای ذرات رس خاک منطقه، از توزیع نرمال پیروی می‌کند. نرمال‌سازی داده‌ها صورت گرفت و مدل‌های نیم‌تغییرنا کروی (برای محتوای سیلت)، نمایی (برای هدایت الکتریکی، رطوبت اشباع، ذرات شن، اسیدیته) و کی-بسل

منابع

- 1- Afshar H., Salehi M.H., Mohammadi J., and Mehnatkesh A. 2009. Spatial variability of soil properties and irrigated wheat yield in a quantitative suitability map, a case study: Shahr-e-Kian area, Chaharmahal va Bakhtiari Province, *Journal of Water and Soil*, 23(1):161-172. (in Persian with English abstract)
- 2- Alemi M.H., Shahriari M.R., and Nielsen D.R. 1988. Kriging and cokriging of soil properties, *Soil Technology*, 1:117-132.
- 3- Amini Jahromi H., Naseri M.Y., Khormali F. and Movahedi Naeini S.A. 2009. Variations in properties of the loess derived soils as affected by geomorphic positions in two different climatic regions of Golestan Province, *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(1):1-17. (in Persian with English abstract)
- 4- Anonymous. 1991. Optimal utilization plan of the Heirmand river, Tehran Sahab Consulting Engineers, Soil Special Report. (in Persian with English abstract)
- 5- Ayoubi Sh., Mohammad Zamani S., and Khormali F. 2007. Prediction total N by organic matter content using some geostatistic approaches in part of farm land of Sorkhankalateh, Golestan Province, *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(4): 23-33. (in Persian with English abstract)
- 6- Backett P.H.T., and Webster R. 1971. Soil variability: a review, *Soil Fertility*, 34: 1-15.
- 7- Bameri A., Khormali F., Kiani F., and Dehghani A.A. 2012. Spatial variability of soil organic carbon on different slope positions of loess hillslopes in Toshan area, Golestan Province, *Journal of Soil and Water Conservation*, 19(2): 43-60. (in Persian with English abstract)
- 8- Baxter S.J., Oliver M.A., and Gaunt J. 2003. A geostatistical analysis of the spatial variation of soil mineral nitrogen and potentially available nitrogen within an arable field, *Precision Agriculture*, 4: 213-226.

- 9- Baxter S.J., and Oliver M.A. 2005. The spatial prediction of soil mineral N and potentially available N using elevation, *Geoderma*, 128: 325-339.
- 10- Baybordi M. 2008. Classification and genesis Soil, Tehran University Press, Ninth Edition, No. 1360. (in Persian)
- 11- Bouyoucos G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soils, *Agronomy Journal*, 54: 464-465.
- 12- Brejda J.J., Moorman T.B., Smith J.L., Karlen D.L., Allen D.L., and Dao T.H. 2000. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale, *Soil Science Society of America Journal*, 64: 974-982.
- 13- Cambardella C.A., Moorman T.B., Parkin T.B., Karlen D.L., Turco R.F., and Konopka A.E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils, *Soil Science Society of America Journal*, 58: 1501-1511.
- 14- Cheng X., An S., Chen J., and Li B. 2006. Spatial relationships among species above-ground biomass, N, P in degraded grassland in Ordos Plateau, *Journal of Arid Environment*, 30: 75-88.
- 15- Dahiya IS., Richter J., and Malik RS. 1984. Soil spatial variability: a review, *International Journal of Tropical Agricultural*, 11: 1-102.
- 16- 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, *Journal of Soil and Water Science*, 21(3): 1-21. (in Persian with English abstract)
- 17- Gholami Sh., Hosseini S.M., Mohammadi J., and Mahini A.S. 2011. Spatial variability of soil macrofauna biomass and soil properties in riparian forest of Karkhe river, *Journal of Water and Soil*, 25(2): 248-257. (in Persian with English abstract)
- 18- Habibi V., Ahmadi A., and Fattahi M.M. 2009. Modeling spatial variability of ground water chemical properties using geostatistical methods, *Iranian Journal of Watershed Management Science & Engineering*, 3(7): 23-34. (in Persian with English abstract)
- 19- Hu W., Shao M.A., Wan L., and Cheng Si.B. 2014. Spatial variability of soil electrical conductivity in a small watershed on the Loess Plateau of China, *Geoderma*, 230-231: 212-220.
- 20- Jafarzadeh A.A., Davatgar N., and Hakimian M. 1998. Distribution of the variable parameters of the soil in a row of different physiographic areas of the Caspian Sea, *Journal of Tabriz University*, 8: 147-170. (in Persian with English abstract)
- 21- Jabro J.D., Stevens B.W., and Evans R.G. 2006. Spatial relationships among soil physically properties a grass-alfa hay field, *Soil Science*, 171(9): 719-727.
- 22- Johnson R.M., Downer R.G., Bradow J.M., Bauer P.J., and Sadler E.J. 2002. Variability in cotton fiber yield, fiber quality, and soil properties in a southeastern coastal plain, *Agronomy Journal*, 94: 1305-1316.
- 23- Journel A.G., and Huijbregts Ch.J. 1978. *Mining Geostatistics*, New York, NY: Academic Press, Inc.
- 24- Khaleqpanah N., Shorafa M., and Teimuri S. 2012. Saline and sodic soils moisture estimation using transfer functions, *Journal of Soil Science (Water and Soil)*, 26(4): 391-392. (in Persian)
- 25- Khosla R., Fleming K., Delgado J.A., Shaver T.M., and Westfall D.G. 2002. Use of site specific management zones to improve nitrogen management for precision agriculture, *Journal of Soil and Water Conservation*, 57: 513-518.
- 26- Marofi M., Toranjeyan A., and Zare Abyaneh H. 2009. Evaluation of geostatistical methods for estimating electrical conductivity and pH of stream drained water in Hamedan-Bahar Plain, *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(2): 169-187. (in Persian with English abstract)
- 27- McBratney A.B., Mendonca M.L., and Minasny B. 2003. On digital soil mapping, *Geoderma*, 117: 3-52.
- 28- Mohammadi J. 2006. *Pedometer (Spatial Statistics)*, Second volume, published by Pelk, 240 pages. (in Persian)
- 29- Momtaz H.R., Jafarzadah A.A., Torabi H., Oustan Sh., Samadi A., Davatgar N., and Gilkes R.J. 2009. An assessment of the variation in soil properties within and between landforms in Amol region, Iran, *Geoderma*, 149: 10-18.
- 30- Neal M., Khademi H., and Hajabbasi M.A. 2004. Response of soil quality indicators and their spatial variability to land degradation in central Iran, *Applied Soil Ecology*, 27: 221-232.
- 31- Nelson R.E. 1986. Carbonate and gypsum. p. 181-197. In A.L. Page et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 2, Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI.
- 32- Pcerri C.E., Bernoux M., and Chaplot V. 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon Pasture, *Geoderma*, 123: 51-68.
- 33- Rhoades J.D. 1986. Soluble salts. p. 167-179. In G.S. Campbell et al. (ed.) *Methods of Soil Analysis, Part 1, Soil Science Society of America Journal*, Madison, WI.
- 34- Sobhkhizi M., Akbari A., Shotorban A., and Shokoei M. 2006. *Plan Recognition Ecological Regions of the Country, Vegetation Types of Zabol Region*, 1st ed. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran. (in Persian)
- 35- 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 Uromieh plain, Pajauhsh and Sazandegi, 74: 90-98. (in Persian with English abstract)
- 36- Sparks L.D. 2010. Environmental soil chemistry attitude. p. 391. In Sh. Avestan (ed.) 2nd ed. Tabriz University Press.
- 37- Vieira S.R., and Paz Gonzalez A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small

- agricultural plots, *Bragantia*, 62: 127-138.
- 38-Webster R., and Oliver M.A. 2007. *Geostatistics for Environmental Scientists*, John Wiley & Sons, Chichester, United Kingdom.
- 39-Yaron D.Ed. 1981. *Salinity in Irrigation Water Resources*, Dekker, New York.
- 40-Yates S.R. 1986. Disjunctive Kriging: 3. Cokriging, *Water Resources Reserch*, 22(10): 1371-1376.
- 41-Zhang X.Y., Sui Y.Y., Zhang X.D., Meng K., and Herbert S.A. 2007. Spatial variability of nutrient properties in black soil of northeast China, *Pedosphere*, 17: 19-29.

Survey and Zoning of Soil Physical and Chemical Properties Using Geostatistical Methods in GIS (Case Study: Miankangi Region in Sistan)

M. Hashemi¹ - A. Gholamalizadeh Ahangar^{2*} - A. Bameri³ - F. Sarani⁴ - A. Hejazizadeh⁵

Received: 14-10-2013

Accepted: 31-12-2015

Introduction: In order to provide a database, it is essential having access to accurate information on soil spatial variation for soil sustainable management such as proper application of fertilizers. Spatial variations in soil properties are common but it is important for understanding these changes, particularly in agricultural lands for careful planning and land management.

Materials and Methods: To this end, in winter 1391, 189 undisturbed soil samples (0-30 cm depth) in a regular lattice with a spacing of 500 m were gathered from the surface of Miankangi land, Sistan plain, and their physical and chemical properties were studied. The land area of the region is about 4,500 hectares; the average elevation of studied area is 489.2 meters above sea level with different land uses. Soil texture was measured by the hydrometer methods (11), Also EC and pH (39), calcium carbonate equivalent (37) and the saturation percentage of soils were determined. Kriging, Co-Kriging, Inverse Distance Weighting and Local Polynomial Interpolation techniques were evaluated to produce a soil characteristics map of the study area zoning and to select the best geostatistical methods. Cross-validation techniques and Root Mean Square Error (RMSE) were used.

Results and Discussion: Normalized test results showed that all of the soil properties except calcium carbonate and soil clay content had normal distribution. In addition, the results of correlation test showed that the soil saturation percentage was positively correlated with silt content ($r=0.43$ and $p<0.01$) and negatively correlated with sand content ($r=0.48$ and $p<0.01$). In addition the soil saturation percentage with clay and soil electrical conductivity of the study also showed a positive relationship at the level of one percent of the electrical conductivity of clay particles had positively correlated ($r=0.51$ and $p<0.01$). Spherical, exponential and k-Bessel models were selected as the best models which fit the experimental results. In the case of spatial correlation between soil electrical conductivity characteristics of the region (with the range of 935 meter), and the maximum effective range was less than other soil properties that reflect the same conditions and heterogeneous, the spatial distribution the features are. The effective range of pH, soil saturation percentage, calcium carbonate, clay, sand and silt contents were calculated 2346, 5953, 3806, 3608, 2123 and 1083 meters respectively. Spherical semivariogram (for a silt content), exponential (for electrical conductivity, soil moisture, sand, acidity) and K-Bessel (to clay) models were obtained as the best models for studied soil characteristics. Finally, maps of electrical conductivity and pH with clay as covariate, saturated moisture percent and calcium carbonate equivalent with silt as covariate and clay particles content with electrical conductivity as covariate were produced with Co-Kriging method based on the parameter of mean squared error. Also maps of silt and sand particles content with the Disjunctive Kriging were produced.

Conclusions: According to the produced maps soil electrical conductivity with coefficient of variation of 102.99 and low effective range (935 meter) showed a very high spatial variability which mostly depended on the soil type of Miankangi region. The content of calcium carbonate with an average of 18.66 percentage a relatively high figure and indicates calcium carbonate precipitation as one of the most soluble salts in the soil. Miankangi soils acidity in the neutral range (8.13) is alkaline. That is due to very low coefficient of variation obtained for pH, alkalinity of soil can be seen from its inherent feature. In addition, the high concentration of dissolved substances in studied soils represents further expansion of salinity in irrigated lands in the study area, which leads to reduce in soil quality and health due to irrigation and fertilization. Accordingly, it needs a proper management, implementation of targeted programs for prevention, and overcoming the salinity problems for the sake of improving the soil quality, as well as, achieving sustainable agricultural development in this region.

Keywords: Correlation, Geostatistical Methods, Miankangi Region, Soil Salinity, Spatial Distribution

1, 2, 3, 4 and 5- Former M.Sc. Student, Associate Professor, Lecturer and Former M.Sc. Students of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, University of Zabol, Zabol, Iran, Respectively

(* - Corresponding Author Email: ahangar@uoz.ac.ir)