فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۵۲، بهار ۹۹

پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار در بخشی از اراضی دشت قزوین

عباس طاعتی[*۱]

taatyabbas@yahoo.com

فریدون سرمدیان [۲]

حمید رضا متقیان[۳]

سید روح اله موسوی[٤]

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۳ **تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۲/۲۶**

چکیده

شناخت و الگوی تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک سطحی و عمقی خاک به منظور شناخت توانمندی‌های اراضی، اختصاص آن‌ها به بهترین و سودآورترین انواع بهره‌وری، همچنین مدیریت پایدار منابع خاک ضروری می‌باشد. این تحقیق با هدف پهنه‌بندی زمین آماری برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک در ۱۷۰۰۰ هکتار از اراضی دشت قزوین انجام شد. بدین منظور الگوی نمونه‌برداری به صورت شبکه‌بندی منظم، با فواصل ۱۳۰۰×۱۳۰۰ انتخاب شد. پس از حفر ۶۱ پروفیل، از افق‌های خاک نمونه‌برداری صورت گرفت. ویژگی‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH، رس، سیلت و شن به صورت میانگین‌گیری وزنی در دو عمق ۳۰-۰ و ۱۰۰-۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. در دو عمق پروفیل‌های خاک، هدایت اکتریکی و pH به ترتیب دارای بیشترین وکمترین ضریب تغییرات به دست آمد. تغییر پذیری مکانی ویژگی‌های فوق با استفاده از تغییرنما و نسبت واریانس اثر قطعه‌ای به واریانس حد آستانه مورد بررسی قرار گرفت و برای تهیه نقشه‌های ویژگی‌ها از تخمین‌گر کریجینگ موجود در نرم افزار ArcGIS 10 استفاده شد. نتایج نشان داد بهترین مدل برای خصوصیات pH و سیلت در هر دو عمق نمائی و برای هدایت الکتریکی عصاره اشباع، رس و سیلت گوسی می‌باشد. کلاس وابستگی مکانی نیز برای خصوصیات مطالعه شده متوسط تا قوی می‌باشد، دامنه وابستگی مکانی برای همه خصوصیات بیشتر از ۱۴۳۰ متر به دست آمد. نقشه‌های حاصل از کریجینگ نشان داد که دامنه پراکنش مقادیر ویژگی‌های خاک در منطقه زیاد می‌باشد؛ که دلیل این تغییرات گسترده را می‌توان به وسعت زیاد منطقه، واحدهای فیزیوگرافی مختلف و شرایط مدیریتی نسبت داد.

کلمات کلیدی: تغییرپذیری مکانی، تغییرنما، اثر قطعه‌ای، تخمین‌گر کریجینگ

۱-دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه شهرکرد(مسوول مکاتبات)

۲-استاد گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

۳-استادیار گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه شهرکرد

۴- دانشجوی دکتری گروه مهندسی علوم خاک دانشگاه تهران

Human and Environment, No. 52, Spring 2020

Mapping Features of Surface and Depth, Soil Profiles by Using Geostatistical Techniques in Part of Qazvin Plain

Abbas Taati[*1]
taatyabbas@yahoo.com
Fereydoon Sarmadian[2]
Hamidreza Motaghian[3]
Seyed Rohollah Mousavi[4]

Abstract

Understanding the spatial variability of soil surface and depth features and capabilities in order to obtain detailed information about land and using them to the best and the most profitable type of productivity is essential in sustainable management of soil resources. This study aimed on geostatistical mapping of some surface and depth features of soil profiles in 17,000 hectares of the plain of Qazvin. For this purpose, regular grid sampling pattern, with intervals 1300 × 1300 was selected. After drilling 61 profiles, the soil sampling were taken from soil horizons. Features of ECs, pH, clay, silt and sand percentage of 0-30 and 0-100 cm was calculated as an average weight in the depths. In the depths of the soil profiles, electrical conductivity and pH were the highest and the lowest coefficient of variation. Spatial variability characteristics by using vario-gram and the nugget Effect variance to sill was studied and for mapping features of Kriging was used in ArcGIS 10 software. The results showed in the both depths that exponential was the best model for silt and pH characteristics and for the EC, clay and silt Gaussian model was the best. Class properties have been studied for moderate to strong spatial dependence is the spatial dependence for all features of more than 1430 meters respectively. Maps of kriging demonstrated that the distribution of large amounts of soil in the area is that because of the extensive changes to the sheer size of the region can, in different soil management conditions, among them.

Key words: Spatial variability, Variogram, Nugget effect, Kriging estimator

---

1- PhD Student, Department of Soil Science Engineering, University of Shahrekord *(Corresponding Author)
2- Professor, Department of Soil Science Engineering, University of Tehran
3- Assistant Professor, Department of Soil Science Engineering, University of Shahrekord
4- PhD Student, Department of Soil Science Engineering, University of Tehran

زمینه و هدف

برای شناخت رفتار خاک نیاز به درک صحیحی از الگوی تغییرپذیری آن می‌باشد (۱). اطلاع از تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و تهیه نقشه آن‌ها برای تعیین نیاز کوددهی محصولات، مدیریت حاصلخیزی خاک، کشاورزی دقیق و تولید پایدار ضروری است (۲و۳). تغییرپذیری خصوصیات خاک با این فرض که توزیع خصوصیات خاک در طبیعت بصورت تصادفی است، اغلب توسط روش‌های آمار کلاسیک بیان می‌شود. در این روش‌ها نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری نمونه‌ها مستقل از موقعیت مکانی آنها مورد بررسی قرار میگیرد. بنابراین مقدار یک کمیت در یک نمونه‌برداری هیچ گاه اطلاعاتی درباره تغییرات مقادیر آن کمیت در سایر مناطق نمونه‌برداری شده ارائه نمی‌کند (۴). خصوصیات خاک در زمان و مکان و حتی در جهت‌های مختلف (عمق و سطح خاک) تغییر می‌کند. همچنین خصوصیات خاک، دارای پیوستگی مکانی بوده و هم هم‌بستگی متقابل بین آن‌ها وجود دارد که تحت تأثیر خصوصیات ذاتی (مواد مادری) و خصوصیات غیر ذاتی (عملیات مدیریتی خاک، کوددهی، تناوب زراعی و فرسایش) قرار دارند (۵). منظور از پیوستگی مکانی، آن است که دو نمونه‌ی نزدیک به هم از نظر مقدار عددی، بسیار شبیه‌تر از یکدیگر هستند تا دونمونه‌ای که با فاصله‌ی زیادی از یکدیگر قرار دارند (۶). شناخت کمی و تهیه نقشه این خصوصیات برای اعمال مدیریت خاص مکانی برای یک برنامه‌ریزی صحیح و طولانی مدت در زمینه استفاده از اراضی بر اساس استعدادشان ضروری به نظر می‌رسد. تکنیک‌های مختلفی برای ارزیابی تغییرات مکانی خاک وجود دارد که شامل زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد (۷). زمین آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزارهایی مفید در تهیه نقشه‌های خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بر اساس تعداد محدودی نمونه در اراضی کشاورزی به کار می‌روند (۸). آنالیزهای زمین‌آماری دو مرحله دارد: در مرحله اول شناخت و مدلسازی ساختار فضائی متغیر که به وسیله تجزیه و تحلیل واریوگرام بررسی می‌شود (۹). و مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر توسط تخمین‌گرهای مختلف از جمله کریجینگ می‌باشد. کریجینگ تنها تخمین‌گری است که برای هر تخمین می‌تواند کمترین واریانس را محاسبه کند (۱۰). سمک و همکاران (۲۰۰۷) در تحقیقی به بررسی تغییر پذیری مکانی برخی خصوصیات خاک در عمق‌های مختلف خاک (۳۰-۰، ۶۰-۳۰، ۹۰-۶۰ ، ۱۲۰-۹۰) پرداختند. آن‌ها بیان کردند مقادیر pH، EC، ESP و Ks با افزایش عمق افزایش و مقدار CEC کاهش می‌یابد. همچنین کلاس وابستگی مکانی را برای این خصوصیات متوسط تا قوی به‌دست آوردند (۱۱). جعفریان و همکاران (۲۰۱۴) تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک را در سه کاربری متفاوت کشاورزی گندم، مرتع و جنگل مورد بررسی قرار دادند. و بیان کردند که در کاربری جنگل توزیع مکانی بیش‌تر خصوصیات خاک با مدل کروی و در کاربری‌های کشاورزی و مرتع با مدل نمایی قابل توصیف بوده است (۱۲). رضا و همکاران (۲۰۱۵) توزیع مکانی رس، سیلت، شن، FC، PWP و AWC خاک‌های آبرفتی هند را با استفاده از زمین‌آمار مورد بررسی قرار دادند و مدل‌های نمائی و کروی را بر این خصوصیات برازش دادند. نتایج نشان داد که کلاس وابستگی مکانی برای تمامی خصوصیات به جز رس متوسط بود و توزیع مکانی آب قابل دسترس خیلی نزدیک به الگوی مکانی شن و رس بود و بیان کردند که نقشه‌های کریجینگ اطلاعات مناسبی را در رابطه با دور آبیاری منطقه ارائه می‌دهند (۱۳). رزمری و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از روش زمین آمار تغییرپذیری مکانی برخی از خصوصیات خاک (EC، pH،OC، CEC و بافت)را در کاربری‌های مختلف در سریلانکا مورد بررسی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که دامنه وابستگی مکانی خصوصیات خاک از یکدیگر متفاوت می‌باشد و کلاس وابستگی مکانی برای EC و pH را قوی به دست آوردند (۱۴).دهقانی و همکاران (۱۳۹۳) طی مطالعه خود در مورد تغییرات درصد شن در اعماق مختلف خاک در سه کاربری مرتع، زراعت و باغ گزارش نمودند که درصد شن در کاربری‌های مرتع، با

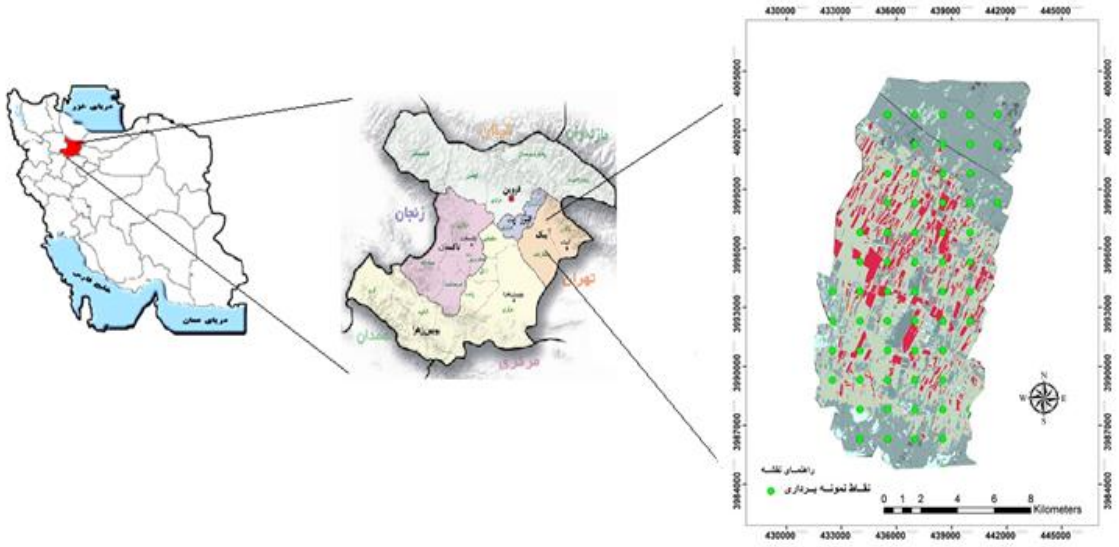
افزایش عمق نسبت به سطح خاک تفاوت معنی داری نداشته است در حالی که در کاربری زراعت و باغ با افزایش عمق، به ترتیب به میزان ۹/۵ و۱۱/۱ درصد بر میزان شن خاک کاسته شده است (۱۵). علی‌رغم تحقیقات فراوان انجام گرفته در مورد تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در سطح جهان و ایران، مطالعات اندکی در مورد تغییرپذیری مکانی در عمق‌های مختلف خاک انجام شده است. لذا این مطالعه با هدف پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های سطحی و عمقی پروفیل خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار در بخشی از اراضی دشت قزوین انجام شده است.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه بخشی از اراضی دشت قزوین می‌باشد که در محدوده‌ی نصف النهارهای "۵۸ '۱۶ °۵۰ تا "۱۶ '۲۰ °۵۰ طول شرقی و مدارهای "۶' ۱۱ °۳۶ تا "۲۷ '۰۰ °۳۶ عرض شمالی قرار دارد. که در سیستم UTM در زون ۳۹ قرار گرفته است. وسعت منطقه مورد مطالعه ۱۷۰۰۰ هکتار می‌باشد. مهمترین واحدهای فیزیوگرافی منطقه تپه، فلات، دشت دامنه‌ای آبرفتی و اراضی پست می‌باشد.کشت عمده منطقه نیز کشت گندم ، جو، یونجه و ذرت می‌باشد. این منطقه در محدوده شهرستان آبیک واقع شده است. شکل۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و محل حفر پروفیل‌های خاک را نشان می‌دهد. براساس آمار هواشناسی روزانه و ماهانه ایستگاه کلیماتولوژی نیروگاه شهید رجائی در یک دوره آماری ۲۱ ساله (۲۰۰۵-۱۹۸۴)، متوسط بارندگی سالیانه این منطقه ۲۵۷/۵ میلی‌متر در سال است که بیشترین آن به میزان ۴۹/۵ میلی‌متر در ماه مارس (اسفند) و کمترین آن به میزان صفر میلی‌متر در ماه سپتامبر (شهریور) رخ داده است. متوسط دمای سالانه ۱۴/۴ درجه سانتیگراد و متوسط حداکثر و حداقل دما به ترتیب ۲۱/۵ و ۷/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. رژیم حرارتی و رطوبتی خاک به ترتیب ترمیک (Thermic) و زریک خشک (Dry xeric) و اریدیک ضعیف (Weak aridic) می‌باشد.

نمونه‌برداری

نمونه‌برداری صحیح یکی از مراحل اولیه و در واقع مهمترین گام در مطالعات زمین آماری به شمار می‌رود. در روش‌های زمین آمار که هدف از نمونه‌برداری تخمین مقدار متغیر است نمونه‌برداری نظام‌دار ترجیح داده می‌شود چرا که این نوع نمونه‌برداری منجر به ایجای خطای تخمین همگن‌تری می‌شود. بر این اساس در این مرحله در ابتدا موقعیت ۶۱ پروفیل خاک در قالب یک الگوی شبکه‌بندی منظم با فواصل ۱۳۰۰×۱۳۰۰ بر روی تصاویر Google Earth مشخص و مختصات تعیین شده به دستگاه GPS داده شد و با استفاده از GPS مکان دقیق نقاط نمونه‌برداری در صحرا تعیین و اقدام به حفر و تشریح پروفیل‌هاگردید. سپس از هر یک از افق‌های خاک حدود دو کیلوگرم خاک در داخل پاکت‌های پلاستیکی ریخته و هر یک از این پاکت‌ها در داخل پاکت دیگری قرار داده شد. اطلاعات هر نمونه شامل محل نمونه‌برداری، عمق نمونه، نام افق‌های خاک، محل نمونه‌برداری و نوع محصول کشت شده بر روی هر پاکت نوشته شد و در مجموع تعداد ۲۱۴ نمونه خاک برای انجام آزمایش‌های هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH، بافت (درصد رس، سیلت و شن) به آزمایشگاه منتقل شدند. در نهایت مقادیر خصوصیات اندازه‌گیری شده به صورت میانگین‌گیری وزنی برای دو عمق ۳۰-۰ و ۱۰۰-۰ محاسبه شد.



شکل ۱- موقعیت و محل حفر پروفیل‌های منطقه مورد مطالعه

تجزیه‌های آزمایشگاهی

نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه هواخشک، کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند. هدایت الکتریکی عصاره خاک به کمک دستگاه هدایت سنج الکتریکی جنوی (Genway) مدل ۴۵۱۰، pH خاک به کمک دستگاه pH متر جنوی (Genway) مدل ۳۵۱۰ و توزیع اندازه ذرات به کمک روش هیدرومتری اندازه‌گیری شد (۱۶).

توصیف آماری داده‌ها

برای دست‌یابی به خلاصه‌ای از اطلاعات آماری در مورد هر ویژگی و بررسی چگونگی توزیع داده‌ها در دو عمق با استفاده از نرم افزار STATISTICA 6 انجام گرفت. و نرمال بودن داده‌ها به وسیله هیستوگرام آن‌ها و آزمون کولموگروف- اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت.

تجزیه و تحلیل‌های زمین آماری

تجزیه و تحلیل ساختار تغییرات مکانی خصوصیات اندازه‌گیری شده، از طریق محاسبات واریوگرافی انجام گرفت. بدین منظور از نرم افزار VARIOWIN 2.2 استفاده شد. سپس برای ارزیابی ساختار مکانی متغیرها، از تابع واریوگرام، به عنوان مهم‌ترین مدل توصیف کننده‌ی رفتار مکانی متغیرهای ناحیه‌ای استفاده شد. معادله ۱ طریقه‌ی محاسبه واریو گرام تجربی را نشان می‌دهد.

$$y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(xi) - Z(xi+h)]^2 \qquad (۱)$$

که در این معادله، پارامترهای h، N(h)، Z(xi)، Z(xi+h) و y(h) به ترتیب بیانگر فاصله‌ی بین جفت نقاط نمونه‌برداری،

تعداد جفت نمونه‌های جدا شده توسط فاصله h، مقدار متغیر مورد نظر در نقطه xi، مقدار متغیر مزبور در نقطه xi+ h و مقدار واریوگرام تجربی برای فاصله‌ی جداکننده‌ی h می‌باشد. پس از محاسبه واریوگرام تجربی، مدل نظری بر آن‌ها برازش داده شد، سپس پارامترهای تغییر نما (اثر قطعه‌ای، حد آستانه، دامنه) و کلاس وابستگی مکانی متغیرها مشخص گردید. برای تعیین کلاس وابستگی مکانی از نسبت واریانس قطعه‌ای به واریانس آستانه استفاده گردی. این نسبت معمولاً به صورت درصدی از واریانس بیان می‌گردد. اگر مقدار این نسبت کمتر از ۲۵٪ باشد، متغیر مورد نظر دارای وابستگی مکانی قوی، اگر این مقدار بین ۲۵٪ تا ۷۵٪ باشد، وابستگی مکانی متوسط و در صورت بیشتر بودن این نسبت از ۷۵٪ وابستگی مکانی مقادیر متغیر مورد نظر ضعیف محسوب می‌شود (۱۷). قبل از پهنه‌بندی، مدل‌های تغییرنما با استفاده از نرم افزار GEO-EAS مورد اعتبار سنجی قرار گرفتند، تا خطای تخمین کرجینگ محاسبه شود. هر چه مقدار این خطا به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، صحت تخمین کریجینگ بالاتر خواهد بود. معادلات ۲ و ۳ به ترتیب میانگین خطای تخمین (ME) و مجذور میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) را نشان می‌دهند.

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}[Z^*(xi) - Z(xi)] \qquad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}[Z^*(xi)-Z(xi)]^2}{N}} \qquad (۳)$$

در این معادلات، Z*(xi) و Z(xi) به ترتیب بیانگر مقادیر تخمینی و واقعی مشاهدات می‌باشند و N تعداد کل مشاهدات می‌باشد. در مرحله پایانی نیز با استفاده از تخمینگر کریجینگ معمولی، پهنه‌بندی خصوصیات مورد مطالعه در محیط نرم افزار ArcGIS 10 به دست آمد. کریجینگ معمولی یکی ازمهمترین و گسترده‌ترین پیش‌بینی کننده‌های مکانی می‌باشد(۱۸)، که به صورت زیر تعریف می‌شود (۱۹).

$$Zv = \sum_{i=1}^{n} \lambda i \, Zv_i \qquad (۴)$$

که در این معادله Zv ویژگی مورد تخمین، Zv_i ویژگی نمونه i ام و λi وزن کمیت وابسته به نمونه i ام می‌باشد.

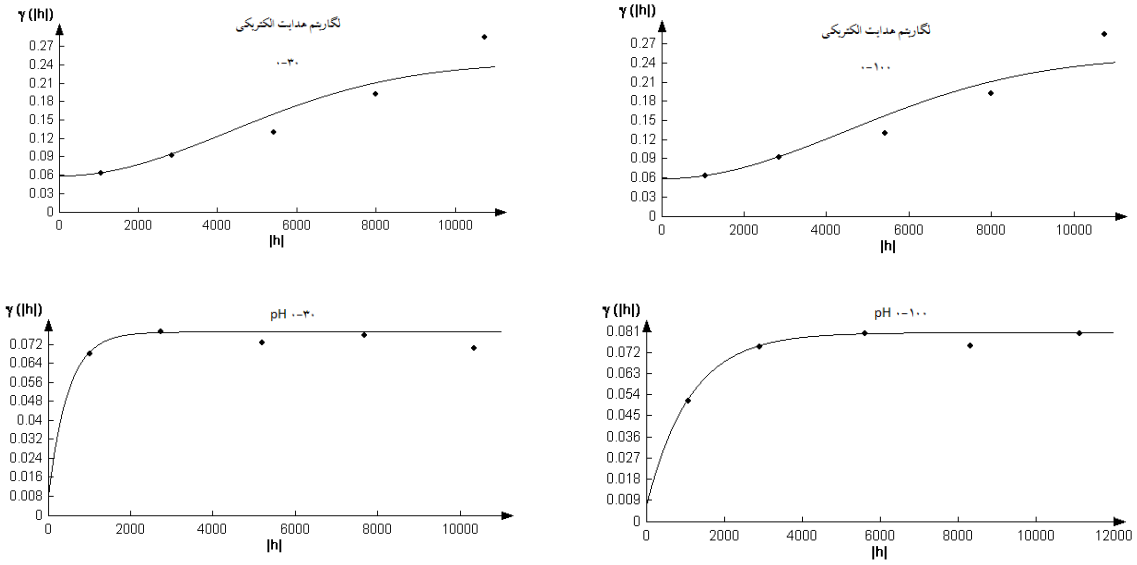
یافته‌ها

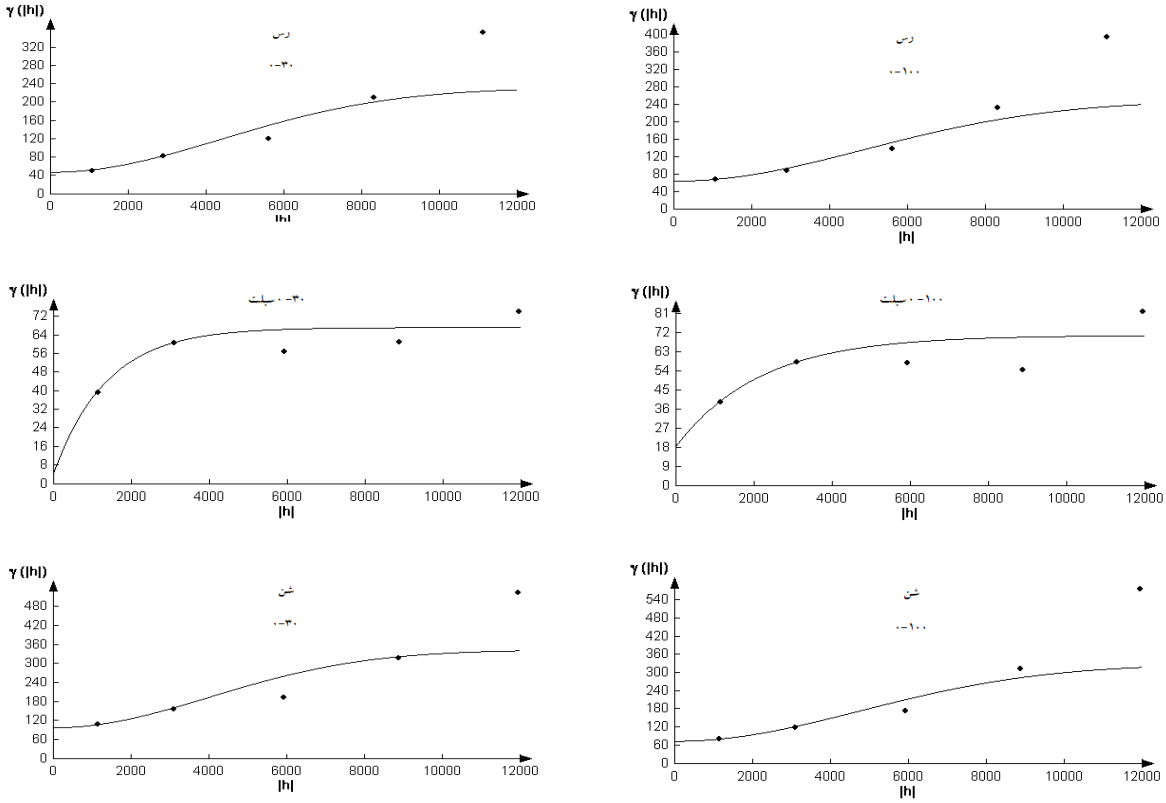
خلاصه آماری متغیرهای مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. بر اساس این جدول ضریب تغییرات شوری در هر دو عمق خاک به ترتیب دارای مقادیر ۲۲۸/۶۷ و ۲۱۸/۶۸ می‌باشد؛که نشان می‌دهد تفاوت بین حداقل و حداکثر مقادیر آن در منطقه زیاد می‌باشد.مقدار pH در دو عمق نیز به ترتیب دارای مقادیر ۳/۲۷ و ۳/۴۳ می‌باشد؛ که دارای کمترین ضریب تغییرات است و نشان می‌دهد که تغییرات این متغیر در سطح منطقه یکنواخت می‌باشد. اگرچه توزیع نرمال داده‌ها، شرط لازم و ضروری پردازش‌های زمین آماری نمی‌باشد لیکن در صورت نرمال بودن تخمین‌های زمین آماری از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند (۵). به همین دلیل نرمال بودن داده‌ها به وسیله هیستوگرام آن‌ها و آزمون کولموگروف اسمیرنوف بررسی شد. نتایج نشان داد که همه متغیرها در هر دو عمق از توزیع نرمال برخوردارند اما مقادیر هدایت الکتریکی در هر دو عمق نرمال نبودند که با تبدیل داده‌ها به مقادیر لگاریتمی نرمال شدند.

جدول ۱- خصوصیات آماری متغیرهای مورد مطالعه

عمق	متغیر	حداقل	حداکثر	میانگین	میانه	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
۰-۳۰	هدایت الکتریکی($dS.m^{-1}$)	۰/۲۵	۵۷/۶	۳/۸۷	۱/۳۳	۸/۸۵	۲۲۸/۶۷
	pH	۷/۵۴	۸/۶۴	۸/۰۵	۸/۰۵	۰/۲۶	۳/۲۷
	رس (٪)	۱۰/۰۰	۶۵/۳۲	۳۴/۷۲	۳۱/۴۴	۱۴/۵۴	۴۱/۸۷
	سیلت (٪)	۷/۶۶	۶۵/۹۶	۲۹/۳۱	۲۸/۶۶	۸/۱۲	۲۷/۷۲
	شن (٪)	۶/۳۰	۷۶/۷۲	۳۶/۲۵	۳۲/۵۶	۱۷/۳۲	۴۷/۷۷
۰-۱۰۰	هدایت الکتریکی($dS.m^{-1}$)	۰/۲۶	۴۹/۲	۴/۳۴	۱/۲۲	۹/۱۹	۲۱۱/۶۸
	pH	۷/۴۵	۸/۷۳	۸/۰۰	۷/۹۹	۰/۲۷	۳/۴۳
	رس (٪)	۷/۶۱	۶۰/۷۰	۳۵/۲۱	۳۰/۳۲	۱۵/۴۱	۴۳/۷۷
	سیلت (٪)	۹/۴۴	۵۹/۷۴	۲۸/۴۳	۲۸/۵۵	۸/۰۶	۲۸/۳۴
	شن (٪)	۸/۲۷	۸۲/۹۴	۳۶/۳۶	۳۷/۱۷	۱۷/۴۵	۴۷/۹۹

واریوگرام تجربی متغیرهای مورد مطالعه نشان دهنده یکسان بودن پیوستگی مقادیر این متغیرها در جهت‌های جغرافیایی مختلف بودند؛ در نتیجه تغییرات مکانی خصوصیات خاک، همسانگرد در نظر گرفته شد.در شکل ۲ واریوگرام‌های همه جهته خصوصیات خاک سطحی و عمقی و جدول ۲ پارامترهای واریوگرام خصوصیات مورد نظر را نشان می‌دهد.





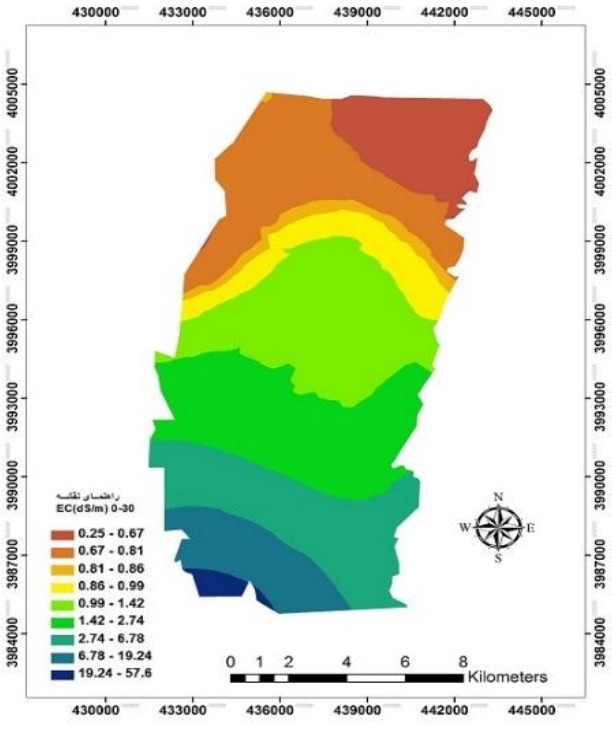
شکل۲- واریوگرام‌های همه جهته خصوصیات خاک سطحی و عمقی

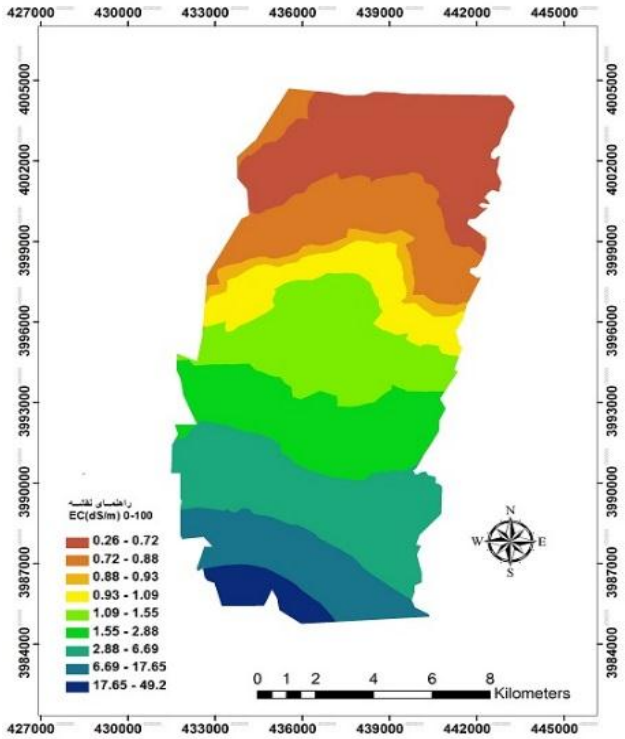
جدول ۲- پارامترهای واریوگرام خصوصیات خاک سطحی و عمقی

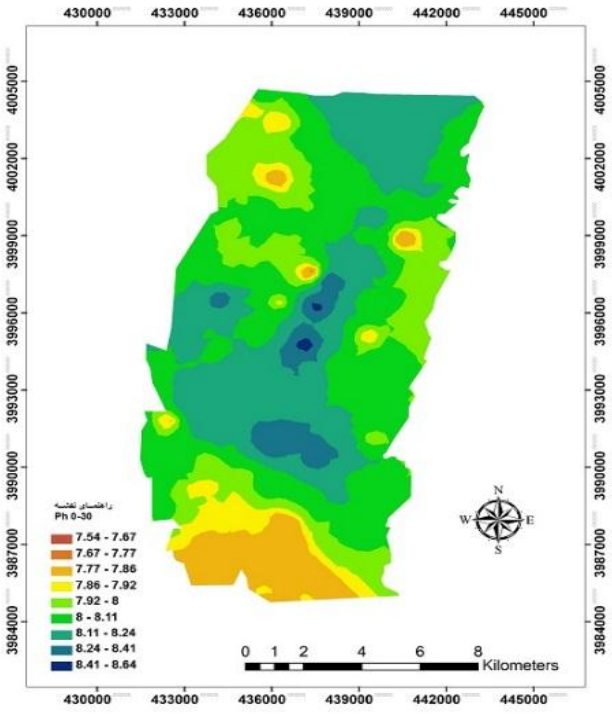
عمق	متغیر	مدل	دامنه (متر)	اثر قطع‌های	حد آستانه	درصد وابستگی مکانی	کلاس وابستگی مکانی	ME	RMSE
۰-۳۰	لگاریتم هدایت الکتریکی($dS.m^{-1}$)	گوسی	۱۰۵۲۶	۰/۰۶	۰/۱۸	۳۳/۳۳	متوسط	-۱/۲۴	۷/۲۱
	pH	نمائی	۱۴۳۰	۰/۰۰۸۴	۰/۰۶	۱۴	قوی	۰/۰۰۱۶	۰/۲۶
	رس (٪)	گوسی	۱۰۸۰۰	۴۸/۳	۱۸۴/۸	۲۶/۱۳	متوسط	۰/۰۱۷	۸/۵۸
	سیلت (٪)	نمائی	۴۰۸۰	۴/۵۵	۶۳/۰۵	۷/۲۱	قوی	-۰/۱۶	۷/۹۸
	شن (٪)	گوسی	۹۸۴۰	۹۹	۲۴۶	۴۰/۲۴	متوسط	۰/۰۰۹۹	۱۰/۷۶
۰-۱۰۰	لگاریتم هدایت الکتریکی($dS.m^{-1}$)	گوسی	۱۱۰۰۰	۰/۰۶	۰/۱۹	۳۱/۵۷	متوسط	-۱/۲۳	۶/۸۹
	pH	نمائی	۳۳۶۰	۰/۰۰۷۲	۰/۰۷	۱۰/۲۸	قوی	۰/۰۰۲۳	۰/۲۵
	رس (٪)	گوسی	۱۲۰۰۰	۶۴/۸	۱۸۴/۸	۳۵/۰۶	متوسط	-۰/۰۰۶۳	۹/۱۶
	سیلت (٪)	نمائی	۶۴۸۰	۱۸/۵۶	۵۲/۴۸	۳۵/۳۶	متوسط	-۰/۰۳۸	۷/۹۲
	شن (٪)	گوسی	۱۱۶۴۰	۷۵	۲۵۵	۳۳/۳۳	متوسط	۰/۰۰۴	۹/۲۲

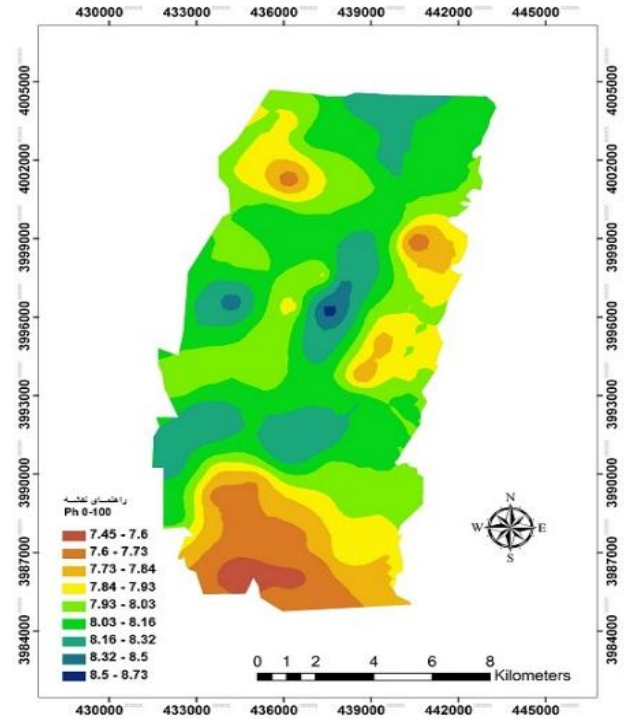
بر اساس شکل ۲ نمودارهای برازش داده شده بر نیم‌تغییر نمای تجربی متغیرهای مختلف خاکی نشان داد که متغیرها با اثر قطعه‌ای پایین، دامنه تأثیر بالا، و حد آستانه مناسب از ساختار مکانی مناسبی بر خوردار می‌باشند. در عمق ۳۰-۰ و۱۰۰-۰ سانتی متری، مدل‌های برازش داده شده برای خصوصیات هدایت الکتریکی، رس و شن گوسی و برای pH و سیلت نمائی بود.تفاوت مدل گوسی و نمائی در درجه پیوستگی بیشتر گوسی نسبت به مدل نمائی می‌باشد.به این معنی که تا یک فاصله مشخصی شباهت یک متغیر بیشتر است و این رفتار برای یک خصوصیت پایدار مثل رس محتمل‌تر است. ایوبی و همکاران (۲۰۰۷) نیز در مطالعه‌ای بهترین مدل برازش داده شده بر خصوصیات هدایت الکتریکی، pH، رس، شن و سیلت را به ترتیب گوسی، کروی، کروی،گوسی و کروی به دست آوردند (۲۰). در این مطالعه، بیشترین دامنه مؤثر نیز مربوط به رس و با مقدار ۱۲۰۰۰ متر در عمق ۱۰۰-۰ سانتی‌متری و کمترین دامنه مؤثر مربوط به pH با مقدار ۱۴۳۰ متر که در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مشاهده گردید. دامنه، حد هم‌بستگی مکانی متغیر مورد مطالعه را مشخص می‌کند و اطلاعاتی در رابطه با فاصله مجاز نمونه‌برداری ارائه می کند. میانگین دامنه مؤثر برای خصوصیات مطالعه شده ۹۵۰۰ متر می باشد که می‌توان به منظور تعیین فاصله بهینه نمونه‌برداری این فاصله را در نظر گرفت؛ که می تواند یک معیار مناسب برای کاهش تعداد نمونه‌ها و در نتیجه صرفه‌جویی در هزینه‌ها شود.

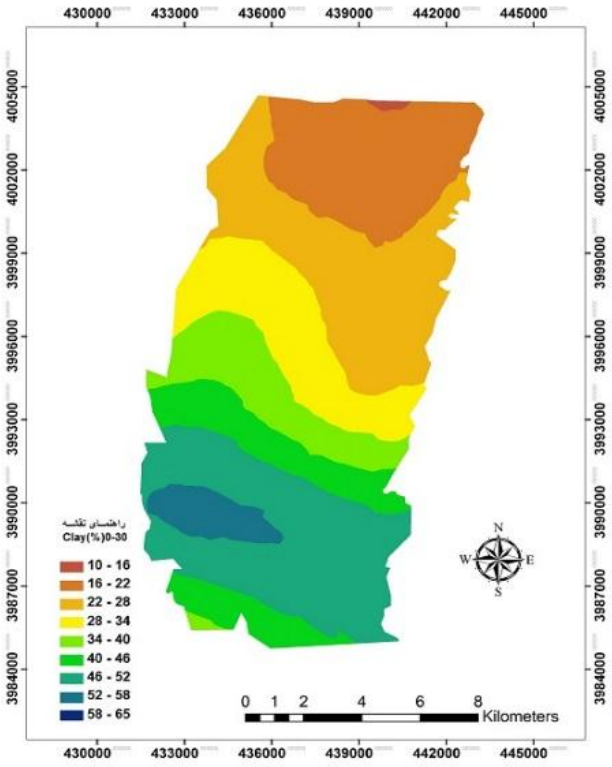
نسبت هم‌بستگی مکانی (نسبت واریانس قطعه‌ای به واریانس حد آستانه)، برای pH خاک سطحی دارای بیشترین وابستگی مکانی (۱۴٪) با کلاس وایستگی قوی و برای شن خاک سطحی نیز کمترین وابستگی مکانی (۴۰٪) با کلاس وابستگی متوسط به دست آمد. گوکالپ و همکاران (۲۰۱۰) نیز مقدار دامنه مؤثر برای خصوصیات EC و pH دردو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتیمتری را به ترتیب ۶۰۶۰، ۲۶۴۰، ۲۸۰۰ و ۲۰۰۰ بیان کردند که نشان‌دهنده دامنه مؤثر بزرگتر برای خصوصیات عمقی نسبت به سطح می‌باشد که با نتایج این تحقیق هم‌خوانی دارد. همچنین کلاس وابستگی مکانی را برای این متغیرها متوسط تا قوی به دست آوردند (۲۱). آماره‌های اعتبارسنجی موجود در جدول ۲ نشان می‌دهند که، آماره میانگین خطای تخمین (ME) بین ۱/۲۴- و۰/۰۱۷ می‌باشد که در کل، مقادیر پایینی را دارا می‌باشد و بیانگر دقت بالای تخمین است. و مقدار مجذور میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) نیز برای تمامی متغیر ها نیز مقادیر پایینی را دارا می‌باشد و نشان‌دهنده دقت بالای تخمین‌گر کریجینگ در پهنه‌بندی خصوصیات مورد مطالعه می‌باشد. صفری و همکاران (۲۰۱۳) نیز واریوگرام خصوصیات رس و شن را در عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ و ۱۰۰-۶۰ به دست آوردند و مقدار درصد مجذور میانگین مربعات خطای تخمین را بین ۹/۹ تا ۲۴/۴ برآورد کردند (۲۲). نقشه‌های پهنه‌بندی کریجینگ خصوصیات خاک در شکل ۲ نشان داده شده است.

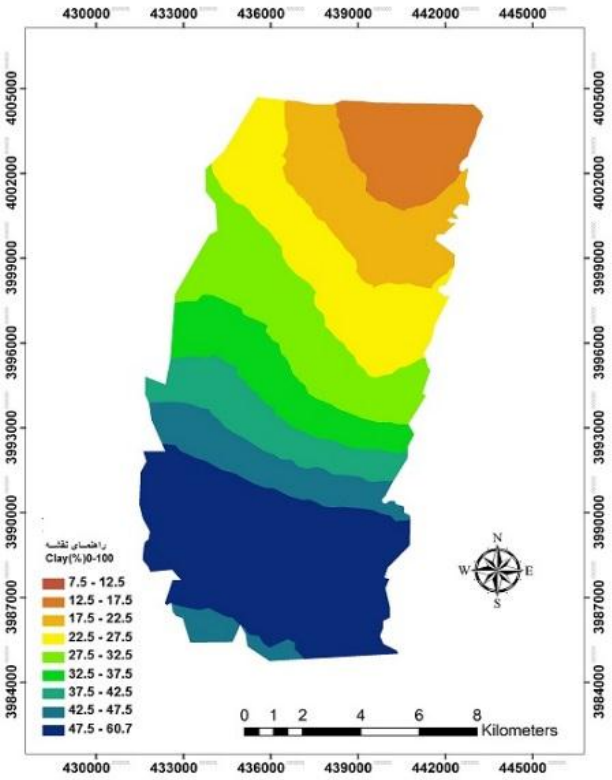

راهنمای نقشه
EC(dS/m) 0-30
0.25 - 0.67
0.67 - 0.81
0.81 - 0.86
0.86 - 0.99
0.99 - 1.42
1.42 - 2.74
2.74 - 6.78
6.78 - 19.24
19.24 - 57.6
0 1 2 4 6 8
Kilometers

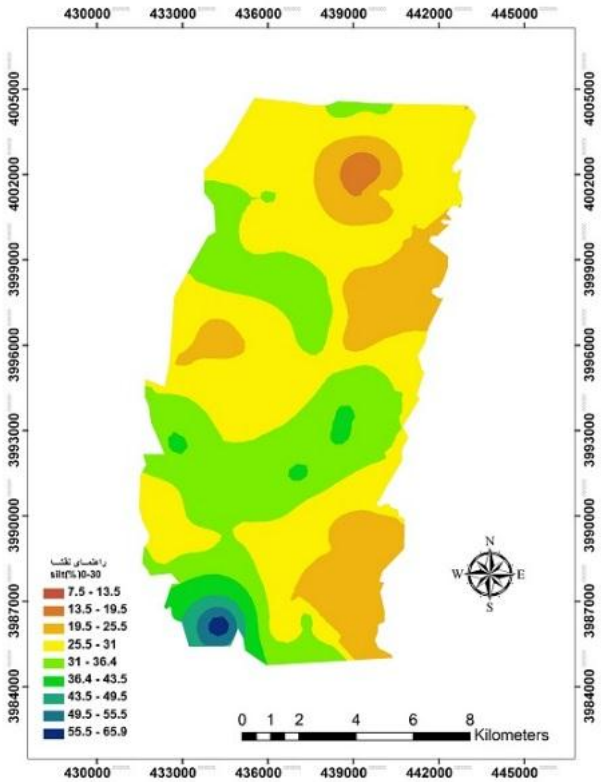

راهنمای نقشه
EC(dS/m) 0-100
0.26 - 0.72
0.72 - 0.88
0.88 - 0.93
0.93 - 1.09
1.09 - 1.55
1.55 - 2.88
2.88 - 6.69
6.69 - 17.65
17.65 - 49.2
0 1 2 4 6 8
Kilometers

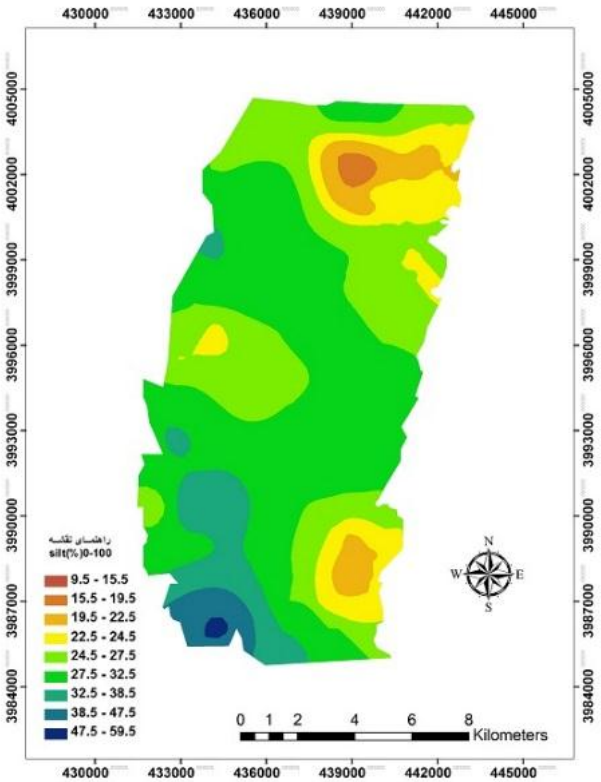

راهنمای نقشه
Ph 0-30
7.54 - 7.67
7.67 - 7.77
7.77 - 7.86
7.86 - 7.92
7.92 - 8
8 - 8.11
8.11 - 8.24
8.24 - 8.41
8.41 - 8.64
0 1 2 4 6 8
Kilometers

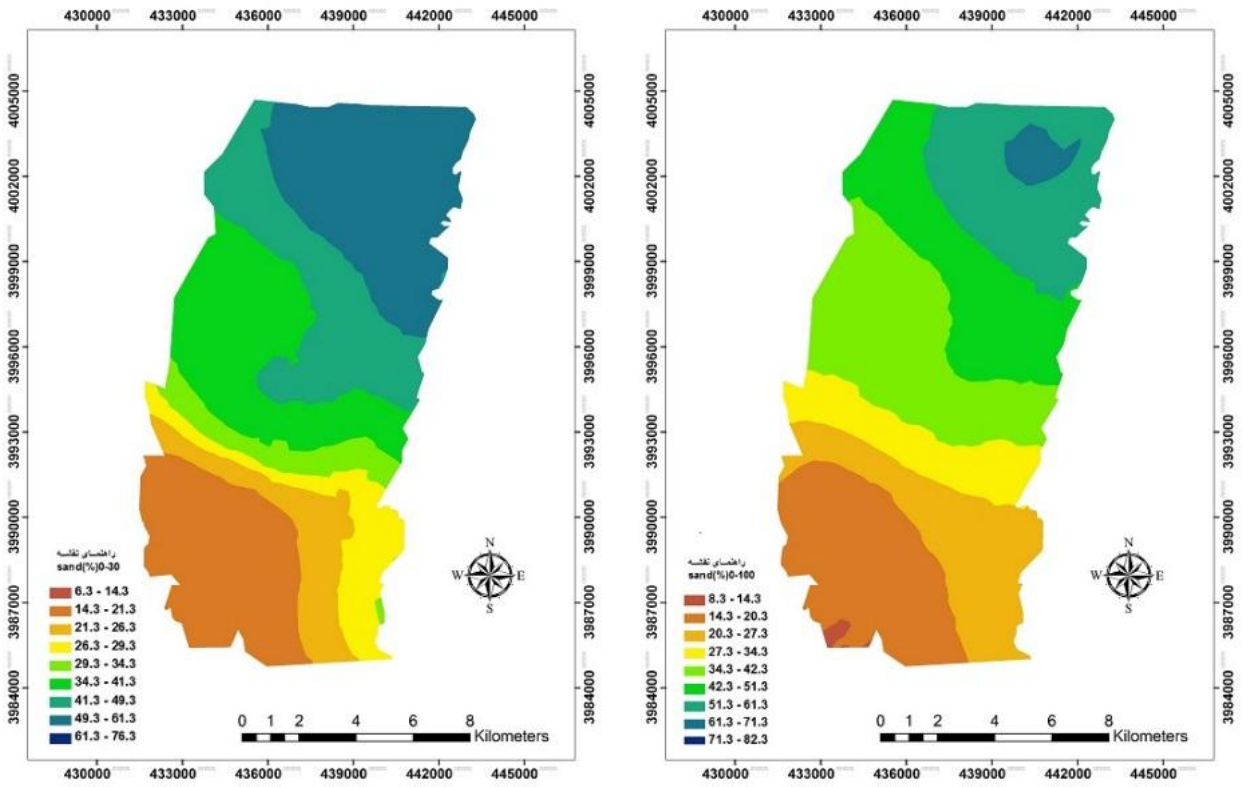

راهنمای نقشه
Ph 0-100
7.45 - 7.6
7.6 - 7.73
7.73 - 7.84
7.84 - 7.93
7.93 - 8.03
8.03 - 8.16
8.16 - 8.32
8.32 - 8.5
8.5 - 8.73
0 1 2 4 6 8
Kilometers


راهنمای نقشه
Clay(%)0-30
10 - 16
16 - 22
22 - 28
28 - 34
34 - 40
40 - 46
46 - 52
52 - 58
58 - 65
0 1 2 4 6 8
Kilometers
N
W
E
S
430000 433000 436000 439000 442000 445000
3984000 3987000 3990000 3993000 3996000 3999000 4002000 4005000


راهنمای نقشه
Clay(%)0-100
7.5 - 12.5
12.5 - 17.5
17.5 - 22.5
22.5 - 27.5
27.5 - 32.5
32.5 - 37.5
37.5 - 42.5
42.5 - 47.5
47.5 - 60.7
0 1 2 4 6 8
Kilometers
N
W
E
S
430000 433000 436000 439000 442000 445000
3984000 3987000 3990000 3993000 3996000 3999000 4002000 4005000


راهنمای نقشه
silt(%)0-30
7.5 - 13.5
13.5 - 19.5
19.5 - 25.5
25.5 - 31
31 - 36.4
36.4 - 43.5
43.5 - 49.5
49.5 - 55.5
55.5 - 65.9
0 1 2 4 6 8
Kilometers
N
W
E
S
430000 433000 436000 439000 442000 445000
3984000 3987000 3990000 3993000 3996000 3999000 4002000 4005000


راهنمای نقشه
silt(%)0-100
9.5 - 15.5
15.5 - 19.5
19.5 - 22.5
22.5 - 24.5
24.5 - 27.5
27.5 - 32.5
32.5 - 38.5
38.5 - 47.5
47.5 - 59.5
0 1 2 4 6 8
Kilometers
N
W
E
S
430000 433000 436000 439000 442000 445000
3984000 3987000 3990000 3993000 3996000 3999000 4002000 4005000



شکل ۲-نقشه پهنه‌بندی خصوصیات خاک منطقه مورد مطالعه

با توجه به شکل ۲ مقدار شوری خاک از شمال به جنوب منطقه افزایش می‌یابد. که دلیل این افزایش وجود اراضی پست در پایین‌ترین قسمت از منطقه می‌باشد. این اراضی دارای رسوبات خیلی ریز بوده و معمولاً به شکل مقعر یا مسطح هستند، آب زیر زمینی معمولاً در این اراضی نزدیک به سطح خاک می‌باشد (۲۳). در این قسمت از منطقه مورد مطالعه به علت تبخیر فراوان، شوری زیاد در سطح خاک مشاهده می‌شود که این املاح در سطح نیز تجمع دارند. با زهکشی و آبشویی این اراضی و کشت گیاهان مقاوم به شوری می‌توان این اراضی را زیر کشت برد. مقادیر pH در دو عمق ۳۰-۰ و ۱۰۰-۰ دارای تغییرات نامنظمی می‌باشد. قسمت مرکزی منطقه کشت محصولات به صورت متراکم انجام می‌شود، که کاربرد کودهای شیمیایی، دامی و خاکورزی‌های مختلف مقادیرpH خاک را در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک نسبت به اعماق پایین‌تر بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد. همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بیشترین و کمترین مقدار رس به ترتیب در جنوب و شمال مشاهده می‌شود. در این منطقه خاک‌های با میزان رس بالاتر عمدتا در واحدهای فیزیوگرافی با شیب کم (دشت دامنه‌ای آبرفتی و اراضی پست) تشکیل شده‌اند که فرصت کافی جهت رسوب‌گذاری ذرات حمل شده بر اثر فرآیندهای فرسایشی فراهم بوده است. واحد فیزیوگرافی دشت‌دامنه‌ای آبرفتی بخاطر تجمع رسوبات ریز دارای مقدار رس بیشتری بوده که جریان آب اراضی بالادست سبب انتقال آن‌ها به این قسمت می‌شود. همچنین تغییرات شن از مقادیر کم در بخش‌های جنوبی منطقه تا مقادیر زیاد در قسمت های شمالی منطقه در نوسان است، که علت آن را می‌توان به مرتفع بودن این اراضی، شیب زیاد (۲۵-۸٪)، و عمق کم خاک مرتبط دانست. تغییرات سیلت نیز در بخش‌های شمالی به دلیل ارتفاع زیاد و فرسایش دارای مقادیر کمتری نسبت به بخش‌های

مرکزی و جنوب منطقه می‌باشد، که به دلیل انتقال و تجمع سیلت در بخش‌های پائینی بر مقدار آن افزوده می‌شود. تهیه نقشه پهنه‌بندی خصوصیات خاک اطلاعات قابل توجهی در رابطه با نوع محدودیت‌های اراضی ارائه می‌دهند، که نتایج آن می‌تواند برای برنامه‌ریزی، کشت هر محصول مطابق با پتانسیل اراضی و در نهایت دست‌یابی به کشاورزی پایدار مفید واقع شود (۲۴).

بحث و نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر نشان داد، سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین آمار از قابلیت بالایی برای بررسی توزیع مکانی و پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک برخوردار هستند. کلاس وابستگی مکانی برای خصوصیات مطالعه شده (هدایت الکتریکی عصاره اشباع، pH، رس، سیلت و شن) در دو عمق ۳۰-۰ و ۱۰۰-۰ دارای ساختار مکانی متوسط و قوی بودند. همچنین بهترین مدل برای خصوصیات هدایت الکتریکی، رس و شن گوسی و برای pH و سیلت نمائی به دست آمد. مقدار دامنه مؤثر نیز برای تمام خصوصیات بیشتر از ۱۴۰۰ متر بود. میانگین خطای تخمین (ME) و مقدار مجذور میانگین مربعات خطای تخمین (RMSE) نیز برای تمامی ویژگی‌های مطالعه شده نیز مقادیر پایینی را دارا می‌باشد و نشان‌دهنده دقت بالای تخمین‌گر کریجینگ در پهنه‌بندی خصوصیات مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین،تجزیه و تحلیل‌های واریوگرام، به عنوان مهم‌ترین مدل توصیف کننده‌ی رفتار مکانی متغیرهای ناحیه‌ای می‌تواند به عنوان ابزاری کارا برای طراحی شبکه‌های نمونه-برداری و کشاورزی دقیق به کار رود؛ از این رو می‌توان جهت صرفه جویی در مصرف نهاده‌های کشاورزی و حفظ محیط زیست با کمک گرفتن از تکنیک زمین‌آمار و پهنه‌بندی کردن مزارع ، مدیریت بهتری را بر اراضی اعمال نمود. قابل ذکر است که نتایج این تحقیق در منطقه مورد مطالعه قابل استفاده است و قابل تعمیم به سایر مناطق نیست و نیاز است برای هر منطقه پراکنش مکانی متغیرهای خاک مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

1- Aghasi, B., Jalalian, A., Khademi, H., and Toomanian, N. 2017. Sub-basin scale spatial variability of soil properties in Central Iran, Arab J Geosci, 136: 1-8.

2- Brevik, E.C., Cerda, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, L.N., Six, J., and Vanoost, K. 2015. The interdisciplinary nature of soil, Soil, 1:117-129.

3- Mousavifard, S.M., Momtaz, H., Sepehr, E., Davatgar, N., and Sadaghiani, M.H. 2012. Determining and mapping some soil physico-chemical properties using geostatistical and GIS techniques in the Naqade region, Iran, Archives of Agronomy and Soil Science, DOI:10.1080/03650340.2012.740556.

۴- حسنی پاک، علی اصغر. زمین آمار (ژئواستاتیستیک). چاپ چهارم. تهران. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۹۲. ۳۲۸ صفحه.

5- Yemefack, M., Rossiter, D.G., and Njomgang, R. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon, Geoderma, 125: 117-143.

۶- محمدی، جهانگرد. پدومتری ۲ (آمار مکانی). چاپ اول. تهران. انتشارات پلک. ۴۵۳,۱۳۸۵ صفحه.

7- Foroughifar, H., Jafarzadeh, A.A., Torabi, H., Pakpour, A., and Miransari, M. 2013. Using Geostatistics and Geographic Information System Techniques to Characterize Spatial Variability of Soil Properties, Including Micronutrients, Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44: 1273-1281.

8- Emadi, M., Shahriari, A.R., Sadeghzadeh, F., Shebardan, B.J., and Dindarlou, A. 2016. Geostatistics-based spatial distribution of soil moisture and temperature regime classes in Mazadaran province, Northern Iran. Arch Agron Soil Sci. 62:502–522.

9- Uyan, M. 2016. Determination of agricultural soil index using geostatistical analysis and GIS on land consolidation projects: A case study in Konya/Turkey, Computers and Electronics in Agriculture, 123: 402-409.

10- Reza, S.K., Nayak, D.C., Mukhopadhyay, S., Chattopadhyay, T., and Singh, S.K. 2017. Characterizing spatial variability of soil propertiesin alluvial soils of India using geostatistics and geographical information system, Archives of Agronomy and Soil Science, DOI:10.1080/03650340.2017.1296134.

11- Cemek, B., Guler, M., Kilic, K., Demir, Y., and Arsalan, H. 2007. Assessment of spatial variability in some soil properties as related to soil salinity and alkalinity in Bafra plain in northern Turkey, Environ Monit Assess, 124: 223-234.

12- 12. Jafarian, Z., Shabanzadeh, S., Kavian, A., and Shokri, M. 2014. Spatial Variability of Soil Features Affected by Landuse Type using Geostatistics, Ecopersia journal of tarbiat modares university, 2 (3): 667-679.

13- Reza, S.K., Nayak, D.C., Chattopadhyay, T., Mukhopadhyay, S., Singh, S.K., and Srinivasan, R. 2015. Spatial distribution of soil physical properties of alluvial soils: A geostatistical approach, Archives of Agronomy and Soil Science, DOI: 10.1080/03650340.2015.1107678.

14- Rosemary, F., Vitharana, U.W.A., Indraratne, S.P., Weerasooriya, R., and Mishra, U. 2017. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena, Catena, 150:53-61.

۱۵- دهقانی ، سمیه. اثر تغییر کاربری اراضی بر برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و تغییرات مکانی آنها. پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز. بخش علوم خاک. ۱۳۹۳. ۱۷۵ صفحه

16- McLean, E.O. 1988. Soil pH and lime requirement. In: Page, A. L. (Ed.), Methods of Soil Analysis. Part, American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wis., Pp. 199-224.

17- Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., 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 Sci. Soc. Am. J. 58:1501- 1511.

18- Triphathi, R., Nayak, U.K., Mohammad, S., Raja, R., Panda, B.B., Mohanty, S., Kumar, A., Lal, B., Gautam, P., and Shahoo, R.N. 2015. Characterizing spatial variability of soil properties in salt affected coastal India using geostatistics and kriging, Arab J Geosci, DOI 10.1007/s12517-015-2003-4.

19- Krige, D.G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problem on the Witwatersrand, J., Chem Metall, Min. Soc. S. Africa, 52(6): 119-139.

20- Ayoubi, SH., Zamani, S.H., and Khormali, F. 2007. Spatial variability of some soil properties for site specific farming in northern Iran, International Journal of Plant Production, 1(2): 225-236.

21- Gokalp, Z., Basaran, M., Uzun, O., and Serin, Y. 2010. Spatial analysis of some physical soil properties in a saline and alkaline grassland soil of Kayseri, Turkey, African Journal of Agricultural Research, 5(10): 1127-1137.

22- Safari, Y., Esfandiarpour, I., Kamali, A., Salehi, M.H., and Bagheri, M. 2013. Mapping of the soil texture using geostatistical method (a case study of the Shahrekord plain, central Iran), Arab J Geosci, 6: 3331-3339.

۲۳- باقری بداغ آبادی، محسن. ارزیابی سرزمین کاربردی و آمایش سرزمین چاپ دوم. تهران. انتشارات پلک. ۱۳۹۰. ۳۹۲ صفحه.

24- Arsalan, H. 2013. Estimation of spatial distrubition of groundwater level and risky areas of seawater intrusion on the coastal region in Carsamba Plain, Turkey, using different interpolation methods, Environ Monit Assess, 186: 5123-5134.