

تجزیه و تحلیل زمین آماری و پهنه‌بندی ذرات اولیه خاک جهت مدیریت بهینه کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت شبانکاره استان بوشهر)

مرتضی پوزش شیرازی^{۱*}، سید علی ابطحی^۲، مجید باقر نژاد^۳، سید علی اکبر موسوی^۴، میرناصر نویدی^۵

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۳)

چکیده

در طی سه دهه اخیر، تمایل عمومی به تغییر روش در تحقیقات پیرامون مدیریت منابع خاک و تهیه نقشه‌های اراضی از روش‌های مرسوم و عمدتاً کیفی به روش‌های کمی بر اساس مدل‌های همبستگی مکانی بوجود آمده است که به این روش‌ها اصطلاحاً تهیه نقشه‌های رقوم‌ی خاک گفته می‌شود. بافت خاک به عنوان یکی از خصوصیات مهم در تعیین نوع و تراکم فعالیت‌های کشاورزی و انواع کاربری اراضی محسوب می‌شود. پژوهش حاضر در دشت شبانکاره استان بوشهر به مساحت ۱۵۰۰۰ هکتار با واحدهای فیزیوگرافی مختلف که دارای کاربری عمدتاً زراعی است انجام شد. تعداد ۱۷۲ محل هدف برای نمونه برداری خاک در عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و همچنین تفاوت‌های ظاهری مشاهده شده در منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شده و نمونه‌برداری صورت گرفت. نقشه رقوم‌ی خاک برای دو روش مثلث قدیمی بافت خاک شامل ذرات شن، سیلت و رس و روش مثلث جدید خاک شامل میانگین هندسی قطر ذرات و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک، ترسیم گردید. از دو برنامه زمین آماری GS+ و ArcGIS و روش‌های مختلف تخمین‌گرها برای پهنه‌بندی ذرات خاک استفاده شد. نتایج نشان داد قوی‌ترین کلاس ساختار مکانی مربوط به انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک (۰/۴۸) و ضعیف‌ترین آن در سیلت (۰/۷۳) به دست آمد. بیشترین و کمترین شعاع تأثیر در بین پارامترهای بافت خاک به ترتیب مربوط به رس و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک به مقدار ۶۸۴ و ۳۳۶ متر بود. تعداد خاک‌رخ‌های حفر شده بر اساس پیش‌بینی نقشه رقوم‌ی یکنواختی خاک، برابر با ۱۱ خاک‌رخ تعیین گردید. نقشه‌های رقوم‌ی تولید شده می‌توانند اطلاعات مکانی از ویژگی‌های مهم خاک مانند وضعیت نفوذپذیری و زهکشی، ظرفیت نگهداری آب، حاصلخیزی، میزان فرسایش و شوری خاک را نشان دهند که سبب افزایش دقت در مدیریت بهینه اراضی کشاورزی نسبت به روش‌های معمول می‌شود.

واژه‌های کلیدی: روش‌های زمین آماری، مثلث‌های جدید و قدیمی بافت خاک، نقشه رقوم‌ی ذرات خاک، واحدهای فیزیوگرافی

پوزش شیرازی م.، ابطحی س.ع.، باقرنژاد م.، موسوی س.ع.، نویدی م.ن. ۱۴۰۲. تجزیه و تحلیل زمین آماری و پهنه‌بندی ذرات اولیه خاک جهت مدیریت بهینه کاربری اراضی (مطالعه موردی: دشت شبانکاره استان بوشهر). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۱، شماره ۱. صفحه: ۱۲۵-۱۴۱.

۱- دانشجوی مقطع دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز و مربی پژوهش بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی

استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲- استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۳- استاد بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۴- دانشیار بخش علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

۵- استادیار بخش تحقیقات ارزیابی اراضی، موسسه تحقیقات خاک و آب کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* پست الکترونیک: m.shirazi741@gmail.com

مقدمه

خاک به‌عنوان ماده طبیعی محیط اطراف ما می باشد که سلامت آن باید بطور منظم مورد پایش قرار گیرد تا حاصلخیزی و توان تولید خود را به نحو مطلوب حفظ نماید. وجود اطلاعات کمی از خصوصیات مختلف خاک در حد کافی طی فواصل مکانی مورد نظر جزو الزامات عملی جهت جلوگیری از تخریب خاک‌ها و تهدید امنیت غذایی به شمار می‌رود. در این میان، جدیدترین روش برای توضیح رفتارهای خصوصیات خاک در ابعاد مختلف مکانی، تولید نقشه‌های رقومی با دقت مناسب می باشد (Dharumarajan *et al.*, 2019). در طی سه دهه اخیر، چرخش محسوسی در تحقیقات پیرامون مدیریت منابع خاک و تهیه نقشه ویژگی‌های خاک اراضی از روش‌های مرسوم و عمدتاً کیفی به روش‌های کمی بر اساس مدل‌های همبستگی محیطی بوجود آمده است که به آن‌ها اصطلاحاً نقشه برداری رقومی خاک^۱ (DSM) اطلاق می‌شود (McKenzie *et al.*, 2008). رابینسون و همکاران (Robinson *et al.*, 2019) عنوان نمودند که هزینه مطالعات مرسوم خاکشناسی در بسیاری از موارد با ارقام هنگفتی روبه‌رو می‌باشد از اینرو، سیاست های آزاد سازی تحقیقات و اعتقاد به زودبازده بودن مطالعات سبب شده است تا تمایل به تهیه نقشه‌های رقومی خاک افزایش یابد. برای درج مختصات جغرافیایی در حاشیه نقشه رقومی بهتر است از سیستم مختصات جغرافیایی جهانی یو تی ام^۲ (UTM) به جای مختصات طول و عرض جغرافیایی استفاده شود (Bui, 2020).

بسیاری از محققین بیان کردند که بافت خاک به‌عنوان یک عامل کلیدی از خصوصیات خاک محسوب می‌شود که اثرگذاری آن بر ظرفیت نگهداری آب و مواد غذایی، توسعه و رشد ریشه گیاهان، تنوع زیستی موجودات خاکزی، سرعت نفوذ آب در خاک، چرخه‌های زیستی و قابلیت ذخیره مواد آلاینده در خاک کاملاً واضح و آشکار است (Castro Franco *et al.*, 2018; Dobarco, Mikhailova *et al.*, 2019). از اینرو، شناخت کافی از تغییرات مکانی بافت خاک در هر منطقه می‌تواند از موارد ضروری جهت مدیریت صحیح زراعی، حفظ محیط زیست و بهینه سازی مدیریت هیدرولوژیکی آن منطقه به حساب آید (Akpa *et al.*, 2017).

گرنو و همکاران (Greve *et al.*, 2012) عنوان کردند که یکی از فاکتورهای مؤثر در برنامه‌ریزی و سامان‌دهی طرح‌های منطقه‌ای، کسب اطلاعات کافی از ارتباط بین عوامل محیطی و بافت خاک در مقیاس‌های کوچک‌تر (فواصل نزدیکتر) می‌باشد که این امر تنها با استفاده از نقشه‌های رقومی امکانپذیر است. کید و همکاران (Kidd *et al.*, 2020) اظهار نمودند که تهیه نقشه‌های رقومی با دقت بالا در مراکز غیر دانشگاهی دارای سابقه طولانی مدت نبوده و به عنوان مثال در استرالیا به دو دهه اخیر بر می‌گردد. این نقشه‌ها که می‌توانند شناخت منابع خاک ما را در سطوح منطقه‌ای، ملی و جهانی به شدت گسترش دهند، دارای مزایای متعددی نسبت به نقشه‌های خاک مرسوم و سنتی هستند. سیرله (Searle, 2015) عنوان کرد که نقشه‌های رقومی که از ترکیب گرایش‌های مختلف علم خاکشناسی با روش‌های پیچیده ریاضی بوجود آمده‌اند، توانسته‌اند نظر مثبت بسیاری از کاربران و بهره‌برداران منابع اراضی در کشورهای مختلف را نیز کسب نمایند. از اینرو، با توجه به ماهیت آماری نقشه‌های رقومی، نوع آموزش محققین دچار تحول و دگرگونی زیادی شده و مباحث ریاضی قابل توجهی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شود (Arrouays *et al.*, 2020). تلاش‌های متعددی در سراسر جهان برای تولید نقشه‌های رقومی خصوصیات اصلی خاک مانند کربن آلی، شوری، اسیدیته و ذرات سازنده بافت خاک (شن، سیلت و رس) با درجه تفکیک ۹۰ متری در حال اجرا می‌باشد (Arrouays *et al.*, 2014; Kalambukattu *et al.*, 2018). همچنین، تهیه نقشه‌های رقومی با استفاده از انواع وسایل پرنده کنترل از راه دور که دارای انواع سنسورهای راداری و مادون قرمز هستند نیز رو به افزایش است (Ji *et al.*, 2017). سانترا و همکاران (Santra *et al.*, 2017) بیان کردند که روش‌های زمین آماری متعددی برای تهیه نقشه‌های رقومی توسط محققین مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در تحقیقی برای تهیه نقشه رقومی مقدار شن، از روش‌های آماری مانند کریجینگ معمولی^۳ (OK)، کریجینگ یونیورسال^۴ (UK)، رگرسیون جنگل تصادفی^۵ (RF) و رگرسیون کریجینگ^۶ (RK) استفاده گردید. با توجه به ارزش و جایگاه علوم جدید در مهندسی خاکشناسی مانند ترسیم نقشه‌های رقومی خاک، پژوهش

4. Universal Krigging
5. Random Forest
6. Regression Krigging

1. Digital Soil Mapping
2. Universal Transverse Mercator coordinate system
3. Ordinary kriging

کوبیده شده با ابعاد کوچک در سرتاسر دشت مورد مطالعه گسترده شده است. با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه، انواع خاک‌ها با خصوصیات مختلف فیزیکی و شیمیایی در آن مشاهده می‌گردد.

مختصات منطقه مورد مطالعه بین طول‌های ۵۰ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۸ ثانیه تا ۵۱ درجه و ۰۴ دقیقه و ۰۲ ثانیه شرقی و عرض‌های ۲۹ درجه و ۲۴ دقیقه و ۳۰ ثانیه تا ۲۹ درجه و ۲۹ دقیقه و ۱۸ ثانیه شمالی در گستره‌ای به وسعت $10^7 \times 15$ متر مربع قرار گرفته است. در ابتدا مرز منطقه مورد نظر روی تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارت شناسایی و محدوده مورد مطالعه تعیین گردید. نمونه‌برداری از خاک بر اساس یک شبکه‌بندی تقریباً منظم صورت گرفت با رعایت این اصل که در نقاط با تراکم مزارع بیشتر یا تفاوت‌های ظاهری مشهودتر، نمونه‌برداری نیز به تعداد بیشتری صورت گرفت تا نقشه رقومی ترسیم شده بتواند اطلاعات بهتر و واقعی‌تری را از عرصه مورد مطالعه ارائه نماید.

بخش‌هایی در قسمت‌های جنوبی و غربی منطقه مورد مطالعه که تعداد کمتری مزارع در آن وجود داشته و دارای اثرات نامطلوب آب ماندگی و باتلاقی بودند نیز مورد نمونه برداری با تراکم کمتر قرار گرفتند (شکل ۱).

بطور کلی سعی گردید، نمونه‌برداری از خاک عرصه‌ی مطالعاتی به گونه‌ای انجام شود که از تمام واحدهای فیزیوگرافی موجود، نمونه‌برداری به تعداد مناسب صورت گرفته باشد. نقاط هدف بصورت فایل نقطه‌ای KML2 به برنامه Area Calculator که در واقع یک برنامه سنجش از راه دور با قابلیت‌های گوگل ارت و جی‌پی‌اس جستجوگر پیشرفته و به‌روز بوده و روی گوشی‌های همراه هوشمند قابل نصب است، انتقال داده شد.

مختصات یوتی‌ام (متریک) نقاطی جدیدی که به دلیل تفاوت‌های ظاهری خاک بعداً نمونه‌برداری شدند نیز یادداشت برداری شده و به فایل اصلی اضافه گردیدند.

حاضر در یکی از گسترده‌ترین و اقتصادی‌ترین دشت‌های هیدرولوژیک استان بوشهر به‌نام دشت شبانکاره با این هدف انجام شد که امکان تصمیم‌گیری‌های کلان در مدیریت بهینه کاربری اراضی با استفاده از نقشه‌های رقومی بافت خاک و ارتفاع اراضی برای بهره‌برداران بخش کشاورزی با دقت و سرعت بالاتری انجام شود. از سوی دیگر، با توجه به هزینه‌های زیاد حفر و تشریح خاک‌رخ^۱ و آزمایشات مربوط به آن، تعیین محل مناسب حفر خاک‌رخ به‌منظور جلوگیری از حفر خاک‌رخ‌های مشابه از اهمیت خاصی برخوردار است که در تحقیق حاضر سعی شد روش جدیدی در موقعیت-یابی محل حفر خاک‌رخ‌های خاک بر اساس استفاده از پارامترهای فیزیکی خاک، برنامه‌های سنجش از راه دور و نقشه‌های رقومی ارائه گردد.

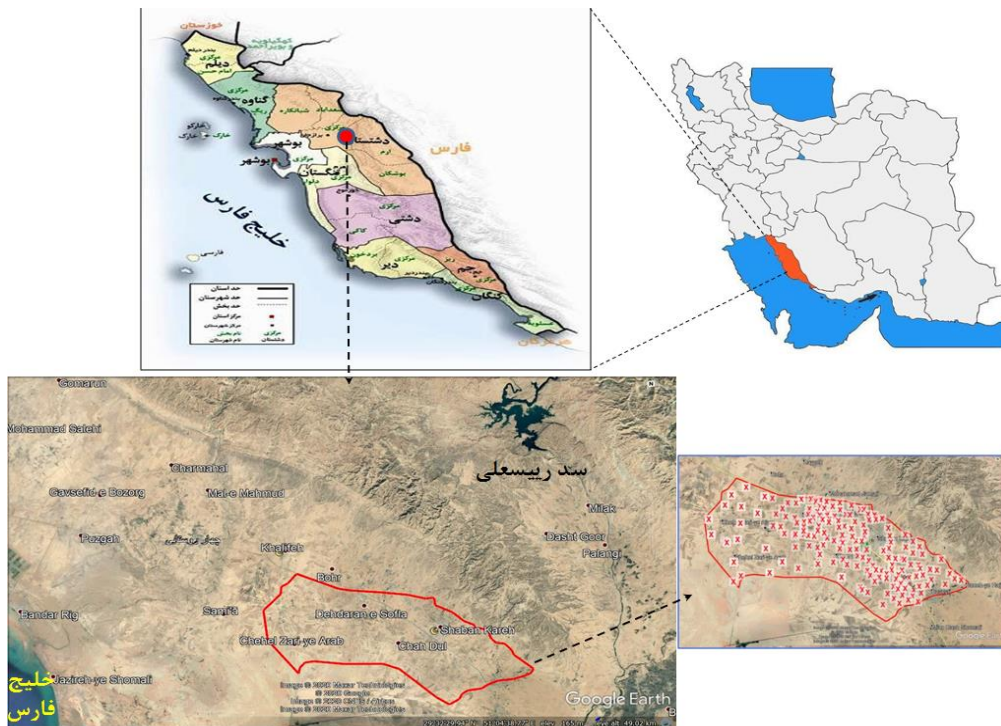
اهداف فوق بر این فرض استوار هستند که نقشه‌های رقومی تولید شده می‌توانند علاوه بر کاهش وقت و هزینه‌ی بررسی خاک‌ها بخصوص در عرصه‌های وسیع، سبب افزایش دقت و مدیریت بهینه در کاربری اراضی مورد مطالعه شوند.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در اراضی پایاب سد رئیس علی دلواری در منطقه شبانکاره دشتستان استان بوشهر در سطحی برابر با پانزده هزار هکتار با کاربری عمدتاً کشاورزی اجرا گردید. کشت انواع محصولات زراعی مانند گندم و جو، سبزی و سیفی، گیاهان جالیزی، کنجد و کلزا در منطقه رایج می‌باشد. اقلیم منطقه به روش آمبروزه بصورت گرم و خشک بوده و فعالیت‌های کشاورزی اغلب در فصل بارش صورت می‌گیرد که با توجه به تولید محصولات ذکر شده در فصل زمستان، ارزش اقتصادی بالایی را نیز داراست. کانال‌های آبیاری درجه یک شامل کانال‌های مسلح بتونی با ابعاد بزرگ و دریچه‌های تنظیم آب تا کانال‌های درجه سه خاکی

1. Soil profile
2. Keyhole Markup Language



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه و نقاط هدف نمونه برداری خاک
Figure 1. Satellite imagery of the studying area and sampling points

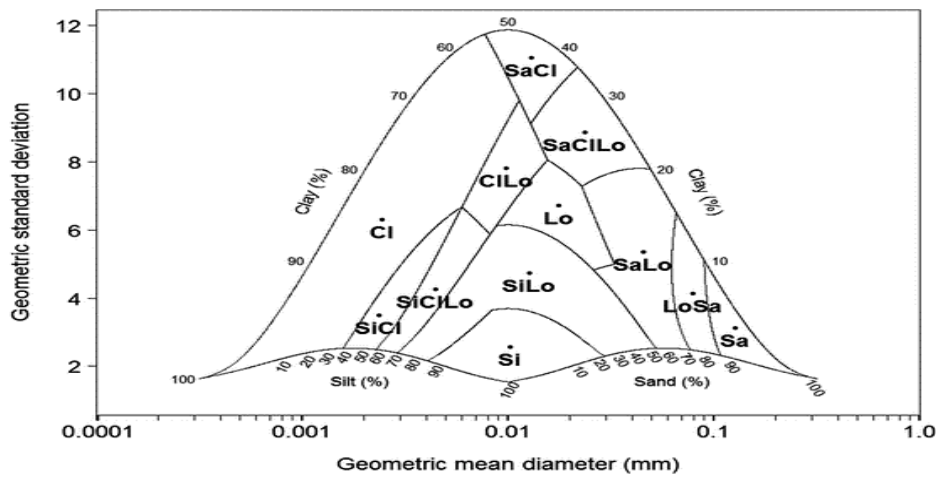
اندازه‌گیری اجزای بافت خاک

بافت خاک به‌عنوان یک عامل کلیدی از خصوصیات خاک محسوب می‌شود. برای تعیین بافت خاک از روش هیدرومتر استفاده گردید (Gee, 1986). در روش مرسوم برای تعیین بافت خاک از مثلث بافت خاک (مثلث قدیمی) استفاده می‌شود. در این تحقیق، علاوه بر پارامترهای متداول بافت خاک (شن، سیلت و رس) که جهت تعیین کلاس‌های بافت از روی مثلث قدیمی بافت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد، از دو پارامتر بسیار مهم در مدیریت اراضی که در مثلث جدید بافت خاک ارایه شده است نیز استفاده گردید (شکل شماره ۲). بر طبق نظر شیرازی و بورسما (Shirazi & Boersma, 1984) این دو پارامتر عبارتند از: میانگین هندسی قطر ذرات خاک^۱ (d_g) و انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک^۲ (δ_g). مزیت به کارگیری این پارامترها آن است که می‌توان خاک‌هایی که دارای ترکیبات مکانیکی متفاوت بوده ولی در یک کلاس بافتی قرار می‌گیرند را از یکدیگر تشخیص داده و متمایز نمود. خاک‌های همگن دارای $\delta_g=1$ و خاک‌های با اندازه ذرات مختلف در خاک دارای $\delta_g>1$ می‌باشند.

نمونه‌برداری از خاک به وسیله مته مخصوص (آگر) در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۰-۳۰ سانتی‌متری انجام شده و نمونه‌ها جهت تجزیه‌های شیمیایی و فیزیکی به آزمایشگاه انتقال داده شدند. مشخصات کلی هر نقطه نمونه‌برداری در فرم‌های مخصوص ثبت گردید که شامل مختصات جغرافیایی محل توسط دستگاه موقعیت یاب جهانی (GPS)، نحوه مدیریت زراعی، روش آبیاری، پوشش سطحی، وضعیت زهکشی و نوع محصول زراعی بود. تعداد کل نقاط نمونه‌برداری برابر با ۱۷۳ نمونه گردید. پس از انجام تجزیه فیزیکی نمونه‌های برداشت شده و اندازه‌گیری ذرات اولیه بافت خاک، نقشه رقومی همگنی خاک با استفاده از انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک (δ_g) تهیه شد. سپس در مناطق با همگنی متفاوت، حفر ۱۱ خاک‌رخ انجام شد. این امر به منظور جلوگیری از حفر خاک‌رخ‌های مشابه در عرصه مطالعاتی صورت گرفت تا از اتلاف وقت و صرف هزینه زیاد ممانعت به عمل آید. این خاک‌رخ‌ها به منظور بررسی نحوه پیدایش و وزن خاک‌های منطقه و مطالعه افق‌های خاک حفر می‌شوند.

2. Geometric standard deviation of soil particle diameter

1. Geometric mean particle diameter



شکل ۲- مثلث جدید بافت خاک

Figure 2. New soil texture triangle (Shirazi and Boersma, 1984)

محور افقی: میانگین هندسی قطر ذرات خاک (d_g) ، محور عمودی: انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک (δ_g)
 δ_g : Geometric standard deviation of soil particle diameter ، d_g : Geometric mean particle diameter

مسطحاتی برای هر ویژگی تعیین و ناهمسان‌گردی موجود در پیوستگی مکانی داده‌های مربوطه بررسی شد. سپس با استفاده از رابطه زیر، نیم‌تغییرنمای تجربی هر ویژگی محاسبه شد (رابطه شماره ۲):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)] \quad (2)$$

که در آن: $\gamma(h)$: مقدارنیم تغییر نما در فاصله h ، $N(h)$: تعداد جفت نمونه به کار رفته در محاسبه h به ازای هر فاصله h

$z(x_i)$: مقدار متغیر در موقعیت نمونه برداری x_i ، $z(x_i + h)$: مقدار متغیر در موقعیت نمونه برداری $x_i + h$

مدل رقومی ارتفاع DEM^2

یکی از مشکلات منطقه مورد پژوهش، جداسازی و تفکیک دقیق واحدهای فیزیوگرافی در اراضی کم شیب تا مسطح واقع در جنوب و غرب منطقه مطالعاتی بود. برای حل این مشکل، از مدل رقومی ارتفاع دشت شبانکاره (DEM) به همراه سایر روش‌های متداول مانند تفسیر عکس‌های هوایی استفاده شد. ارتفاع از یک سو به بیان ویژگی‌های توپوگرافی هر منطقه پرداخته و از سوی دیگر به شناسایی بهتر اثرات برخی پارامترهای مهم مانند میزان بارش، انواع فرسایش‌ها، شستوی ذرات خاک، نوع و تراکم پوشش گیاهی و سنگ شناسی نیز کمک می‌کند (عرب Arabameri et al., 2020; Abdollahi et al., 2019). مدل رقومی ارتفاع دشت

لازم به ذکر است که در سیستم طبقه بندی ذرات اولیه معدنی خاک به روش وزارت کشاورزی ایالات متحده آمریکا (USDA)، کلاس بافت خاک در هر دو مثلث قدیم و جدید بصورت یکسان به دست خواهند آمد. فرمول دو پارامتر فوق به صورت روابط شماره ۱ آورده شده است:

$$d_g = \exp(a) ; \delta_g = \exp(b)$$

$$a = \sum_{i=1}^n (m_i \cdot \ln d_i) \quad (1)$$

$$b^2 = \sum_{i=1}^n [m_i \cdot (\ln d_i)^2] - a^2$$

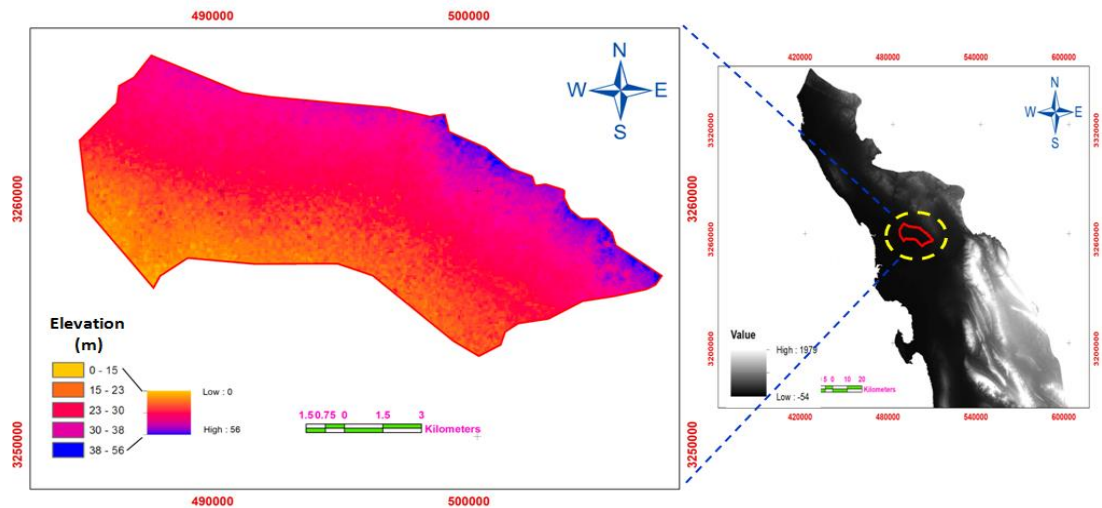
d_g : میانگین هندسی قطر ذرات خاک، δ_g : انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک، m_i : درصد وزنی و d_i متوسط قطر ذرات شن، سیلت و رس (به میلی متر) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از برنامه رایانه‌ای GS^+

خلاصه آمار توصیفی نمونه‌های خاک برداشته شده شامل آماره‌های مرکزی و پراکنش داده‌ها و همچنین میزان چولگی و کشیدگی داده‌ها توسط برنامه زمین آماری GS^+ (GSWin5) انجام شده و نرمال سازی داده‌های غیر نرمال نیز صورت گرفت. برنامه زمین آماری GS^+ یکی از قویترین و متداولترین برنامه‌های رایانه‌ای تهیه شده برای بررسی‌های زمین آماری بر اساس روابط پیچیده ریاضی حاصل از مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی داده‌ها می‌باشد (Design, 2004). اطلاعات مربوط به هر نقطه هدف بطور کامل در برنامه Excel وارد گردیده و سپس بررسی تغییرات مکانی اجزای بافت خاک توسط GS^+ پردازش گردید. بدین منظور، ابتدا نیم تغییرنمای

دشت شبانکاره با ارتفاع ۶۰ متری شروع شده و به سمت واحد فیزیوگرافی دشت سیلابی و اراضی گود و مقعر پایین دست جنوبی با ارتفاع صفر (همتراز سطح دریاهای آزاد) امتداد پیدا می‌کند که به عنوان یک توالی توپوگرافی شناخته می‌شود.

شبانکاره از سایت زمین شناسی آمریکا^۱ USGS با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر تهیه گردید. سپس نقشه طبقات ارتفاعی یا هیپسومتریک منطقه مورد مطالعه با استفاده از برنامه رایانه‌ای ArcGIS 10.5 و دستور کلاسه بندی (Categorize) ترسیم شد (شکل ۳). منطقه بررسی شده از واحد فیزیوگرافی دشت دامنه‌ای مشرف به ارتفاعات شمالی



شکل ۳- نقشه رقومی ارتفاع نیمه شمالی استان بوشهر (راست) و نقشه طبقات ارتفاعی دشت شبانکاره (چپ)
Figure 3. DSM of northern Bushehr province (right) and elevation classes of Shabankareh (left).

مختلف تخمین‌گر موجود در این نرم افزار یعنی روش وزن دهی عکس فاصله^۲ (IDW)، روش کریجینگ معمولی^۳ (Ord.K) و روش کوکریجینگ^۴ (Co.K) اقدام شد. برای ترسیم نقشه رقومی کلاس‌های بافت خاک منطقه مورد مطالعه از برنامه QGIS استفاده شد. بدین منظور، نقشه‌های رقومی شن و رس خاک به شکل رستری تبدیل شده و سپس تصاویر ژئورفرنس شده^۵ GTI از آن‌ها استخراج گردید که به عنوان ورودی‌های برنامه رایانه‌ای QGIS مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج

آمار توصیفی داده‌ها

خلاصه آمار توصیفی داده های نمونه‌های خاک به شرح جدول شماره (۱) ارایه شده است.

تهیه نقشه‌های رقومی با استفاده از برنامه‌های رایانه‌ای

QGIS و ArcGIS 10.5

یکی از برنامه‌های قدرتمند با قابلیت‌های فراوان در علوم سنجش از راه دور و زمین آماری، برنامه رایانه‌ای ArcGIS 10.5 می‌باشد. مختصات جغرافیایی در حاشیه نقشه‌های رقومی باید به گونه‌ای واضح درج شده باشند که امکان تعیین موقعیت آن‌ها در طبیعت به راحتی امکان پذیر گردد (Bui, 2004). برای تشخیص بهترین روش تخمین‌گر در این برنامه می‌توان علاوه بر استفاده از نتایج محاسبات زمین آماری صورت گرفته توسط برنامه GS⁺، از کمترین میانگین ریشه دوم خطا RMSE به عنوان یک پارامتر مهم در تعیین روش تخمین‌گر نیز بهره جست. پس از تعیین بهترین مدل انتخابی برای برای اجزای یاد شده، به بررسی سه روش

4. Co Kriging
5. GeoTiffs Image

1. US Geological Survey
2. Inverse Distance Weighting
3. Ordinary Kriging

جدول ۱- خلاصه آمار توصیفی داده‌های بافت نمونه‌های خاک در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متری

Table 1. Summary of descriptive analysis of data for soil samples textures measured in 0-30 and 30-60 cm depth

Soil Particle	Min	Max	Mean	Std. dev	CV (a)	Skew(b)	Kurt(b)	Kol-Smi (c)
0-30 cm								
Sand	8.51	86.74	42.21	15.11	0.35	0.33	-0.13	0.20
Silt	8.75	72.72	40.92	10.89	0.27	-0.08	0.44	0.20
Clay	3.34	45.33	16.97	7.99	0.47	0.84	0.52	0.12
δ_g	5.36	16.34	11.49	2.08	0.24	-0.52	0.27	0.2
d_g	0.01	0.56	0.09	0.08	0.88	-0.02	-0.17	0.00
30-60 cm								
Sand	4.93	90.71	43.09	17.32	0.40	0.31	-0.48	0.06
Silt	5.31	72.78	39.64	12.56	0.32	-0.12	0.25	0.09
Clay	3.35	46.56	17.35	6.63	0.38	0.73	0.29	0.018
δ_g	4.73	17.42	11.44	2.29	0.20	-0.43	0.26	0.15
d_g	0.01	0.64	0.10	0.09	0.9	2.46	8.37	0.00

a: اختلاف خیلی کم (<0.1)، اختلاف کم (0.1-0.3)، متوسط (0.3-0.5)، زیاد (>0.5). b: شرط نرمال بودن بین ۲ و -۲، c: شرط نرمال بودن Sig > 0.05

Sand، شن، Silt: سیلت، Clay: رس، δ_g : انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک، d_g : میانگین هندسی قطر ذرات خاک

a: (Very low diff. < 0.1, Low diff. 0.1-0.2, Medium diff. 0.2-0.3, High diff. >0.3) b: -2 < Normal < 2

c: Normal, Sig > 0.05. δ_g : Geometric standard deviation and d_g : Geometric mean of soil particle diameter

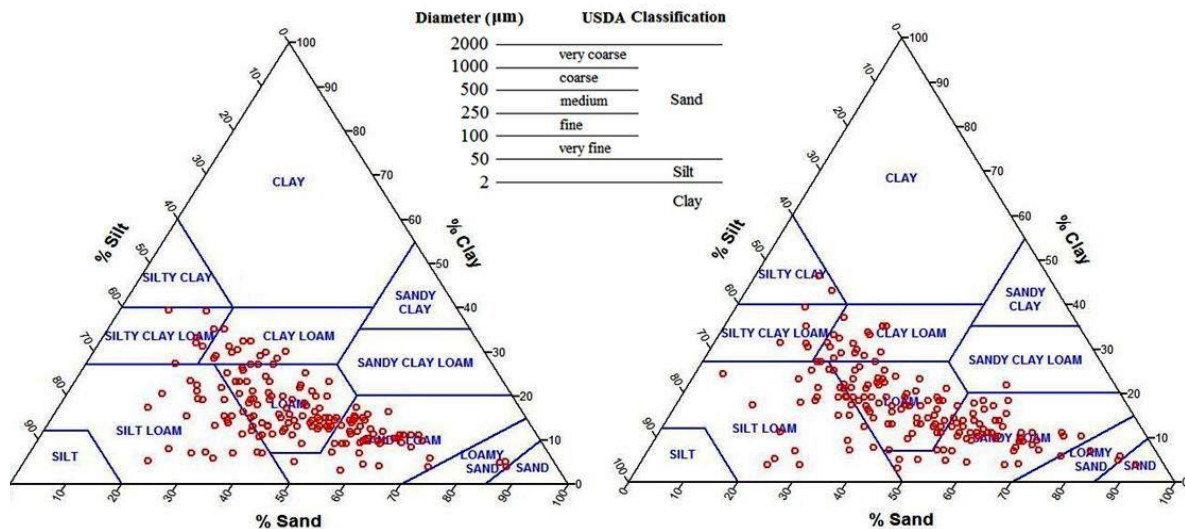
است. هر چند تفاوت‌های کمی بین کلاس بافت خاک‌های سطحی و عمقی وجود داشت اما بطور کل، نمونه‌های خاک منطقه مورد مطالعه در هشت کلاس بافتی مختلف بر اساس مثلث بافت قدیم قرار گرفتند. در این میان، بافت بیشتر خاک‌های نمونه‌برداری شده در محدوده ۴ کلاس بافتی Loam، Silt loam، Sandy loam و Clay loam قرار داشتند.

این امر نشان‌دهنده متوسط بودن بافت خاک (لوم) در بیشتر این اراضی بود که از نظر کشاورزی به‌عنوان خاک مطلوب از نظر تهویه هوا، تأمین مواد غذایی مورد نیاز گیاه و ظرفیت نگهداری آب در خاک محسوب می‌شود. از اینرو، ارزش مدیریت صحیح اراضی دشت شبانکاره با توجه به وجود منبع آب قابل اطمینان (سد رییس علی دلواری) در بالادست آن قابل درک می‌باشد تا بتوان حداکثر تولیدات زراعی و باغی را در یک سیستم پایدار کشاورزی در منطقه به‌دست آورد. این امر با توجه به نبود الگوی صحیح کشت در منطقه از اهمیت خاصی برخوردار است.

برای اطمینان از توزیع نرمال ویژگی‌های مورد مطالعه از آزمون کلموگراف - اسمیرنوف در برنامه رایانه‌ای SPSS نیز استفاده شد که در بیشتر موارد، نتایج مشابهی با بررسی‌های چولگی و کشیدگی توزیع داده‌ها نشان داد. نتایج حاصل از آزمون‌های نرمال سنجی نشان داد که تمامی ویژگی‌های خاک بجز میانگین هندسی قطر ذرات خاک در سطح پنج درصد دارای توزیع نرمال بودند. برای نرمال سازی توزیع داده غیر نرمال از توابع لگاریتمی استفاده شد (Ersahin, 2003). بیشترین ضریب تغییر^۱ (CV= ۰/۹) مربوط به میانگین هندسی قطر ذرات خاک (d_g) و کمترین آن (CV= ۰/۲) نیز متعلق به انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک (δ_g) بود. همچنین، سیلت دارای کمترین ضریب تغییر در میان اجزای اولیه بافت خاک بود.

ذرات اولیه بافت خاک

فراوانی کلاس‌های بافت خاک برای عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی متر به روش USDA در مثلث بافت خاک در منطقه مورد پژوهش تعیین شدند که در شکل (۴) ارائه شده



شکل ۴- جانمایی بافت خاک نمونه‌های هدف در مثلث بافت خاک. چپ (۰-۳۰)، راست (۳۰-۶۰) سانتی متر
Figure 4. Location of soil texture samples in the soil texture triangle. Left (0-30), Right (30-60) cm

مکانی یا (C_0/C_0+C) نمایش داده می‌شود. اگر این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، متغییر از ساختمان قوی، بین ۰/۲۵-۰/۷۵ ساختار مکانی متوسط و اگر این نسبت بیشتر از ۰/۷۵ باشد آنگاه ساختار مکانی ضعیف تلقی می‌گردد (Moosavi & Design, 2004). موسوی و سپاسخواه (Moosavi & Sepaskhah, 2012) نیز از همین روش برای تبیین کلاس تغییر پذیری مکانی داده‌های خاک به‌منظور تفسیر خصوصیات خاک‌های آهکی استفاده کردند.

بررسی تغییرات مکانی اجزای بافت خاک

خلاصه تحلیل زمین آماری ویژگی‌های مورد بررسی و مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی در جدول شماره (۲) قابل مشاهده است. بهترین مدل نظری با در نظر گرفتن معیارهای بیشترین ضریب تبیین (R^2) و کمترین مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها (RSS) انتخاب و ضرایب آن شامل دامنه تاثیر، اثر قطعه‌ای و سقف تعیین شد. میزان قدرت ساختار متغییرهای مکانی با رابطه نسبت همسانگردی

جدول ۲- خلاصه تحلیل زمین آماری ویژگی‌های مورد بررسی و مدل برازش داده شده بر نیم تغییرنمای تجربی

Table 2. Summary of geostatistical information of studied properties and theoretical model fitted on experimental semivariogram

Soil Particle	Direction	Model	Nugget	Sill	Range (m)	C_0/C_0+C	R^2	RSS
0-30 cm								
Sand	Isotropic	Spherical	147.0	464.2	388	0.68	0.92	2401
Silt	Isotropic	Spherical	60.1	299.5	411	0.73	0.93	955
Clay	Anisotropic	Exponential	58.6	160.1	684	0.63	0.57	11558
δ_g	Isotropic	Exponential	3.4	7.3	336	0.48	0.65	0.8
d_g	Isotropic	Spherical	0.5	0.99	411	0.54	0.86	0.01
30-60 cm								
Sand	Isotropic	Spherical	198.0	635.9	412	0.69	0.94	3051
Silt	Isotropic	Spherical	93.8	328.0	361	0.71	0.98	378
Clay	Isotropic	Exponential	64.9	129.8	451	0.56	0.71	104
δ_g	Isotropic	Exponential	3.9	8.6	174	0.51	0.84	1.04
d_g	Isotropic	Spherical	0.6	1.49	416	0.61	0.89	0.02

δ_g : انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک، d_g : میانگین هندسی قطر ذرات خاک

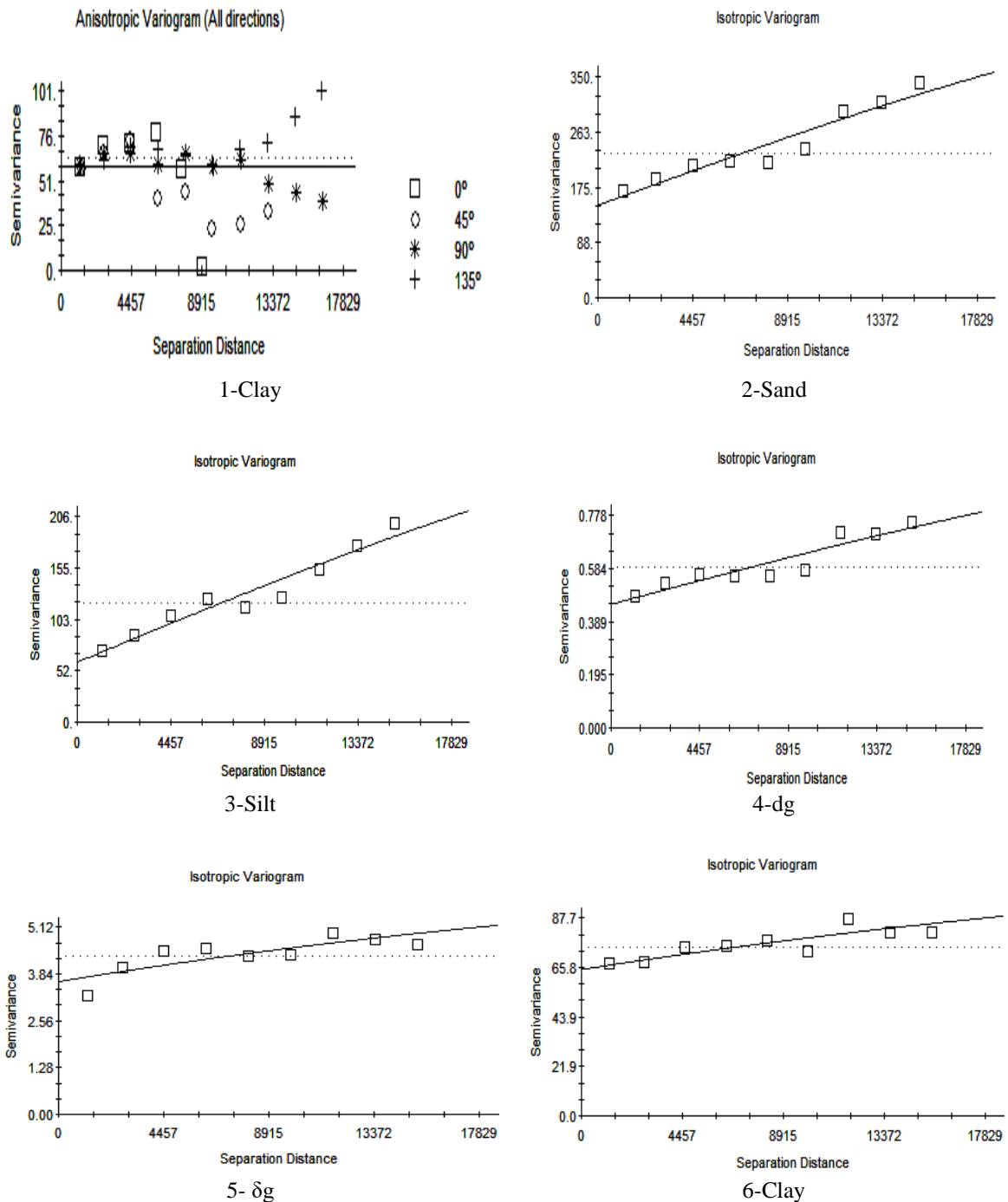
δ_g : Geometric standard deviation of soil particle diameter d_g : Geometric mean particle diameter

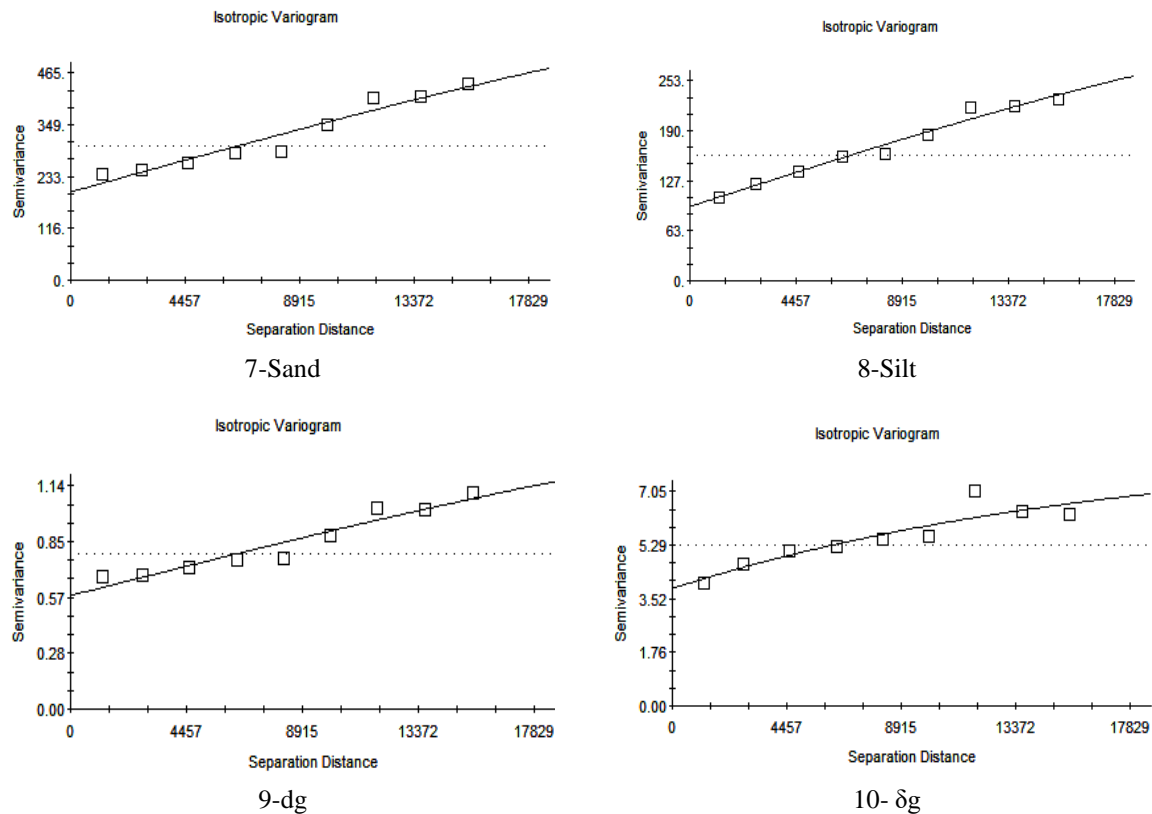
مشاهده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود تمام ویژگی‌های خاک مورد بررسی از ساختار مکانی متوسط

نیم تغییر نمای اجزای بافت خاک در مثلث قدیم و پارامترهای آن در مثلث جدید بافت خاک در شکل (۵) قابل

ذرات خاک (۰/۴۸) و ضعیف ترین آن در سیلت (۰/۷۳) در عمق ۰-۳۰ سانتی متری مشاهده شد که با نتایج ژائو و همکاران (Zhao et al. 2009) در مورد پیش بینی ساختار مکانی ذرات خاک به روش شبکه های عصبی هوشمند در اراضی وسیع با خاک های متنوع، همخوانی داشت.

برخوردار بودند. ساختار قوی و متوسط مکانی ناشی از عوامل ذاتی خاک مانند نحوه پیدایش و ژنز خاک تحت اثر مواد مادری خاک می باشد در حالیکه وابستگی مکانی ضعیف تر نشان دهنده اثر معنی دار عوامل خارجی مانند فرسایش و رسوب یا شخم است. در این میان، قوی ترین کلاس ساختار مکانی مربوط به انحراف معیار هندسی قطر





شکل ۵- نیم تغییر نمای اجزای بافت خاک در مثلث قدیم و جدید بافت خاک: (گراف‌های ۱ تا ۵) عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر و (گراف‌های ۶ تا ۱۰) عمق ۳۰-۶۰ سانتی‌متر

Figure 5. Semivariences of soil particles in old and new texture triangle: graph (1-5); 0-30 cm, (5-10); 30-60 cm

توسط روش‌های زمین آماری منظور کرد. از اینرو برای نمونه برداری‌های بعدی برای سایر پارامترهای خاک در این منطقه در سال‌های بعد می‌توان اعداد به دست آمده استفاده نمود

پهنه‌بندی تغییرات مکانی اجزای بافت خاک

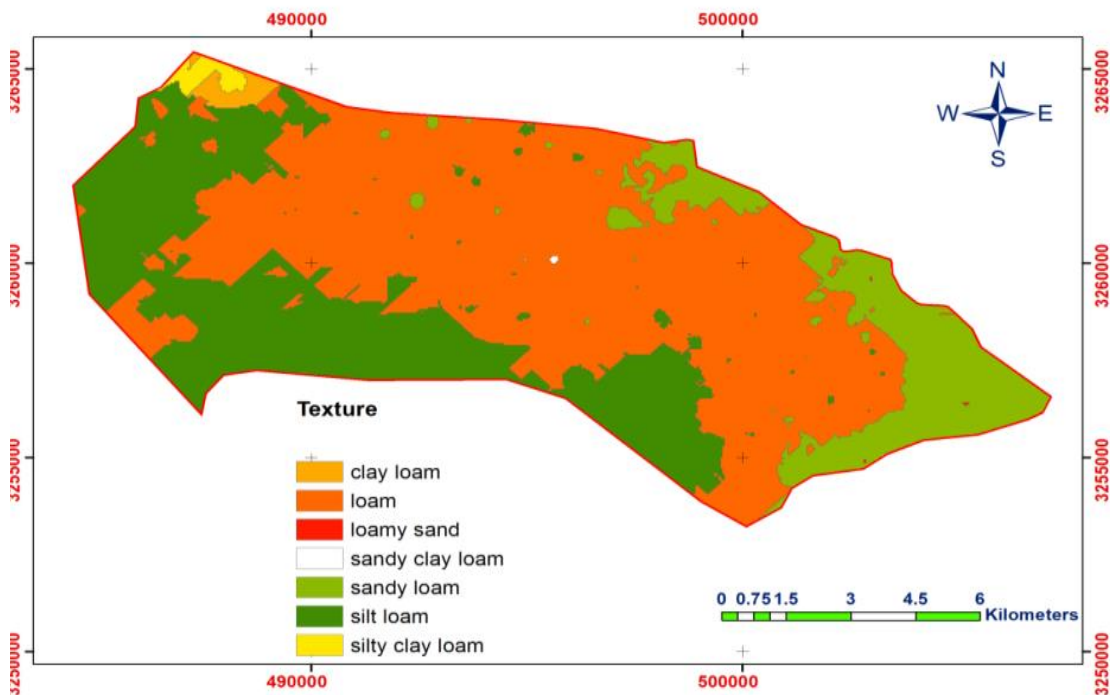
نقشه‌های رقومی ترسیم شده توسط مدل رایانه‌ای ArcGIS به دو دلیل زیر ارزشمند هستند: اول آنکه مرز زمین و محدوده عرصه مطالعاتی به‌علاوه مختصات جغرافیایی در نقشه بطور واضح قابل مشاهده است و از اینرو امکان جانمایی منطقه مورد بررسی در تصاویر ماهواره‌ای و طبیعت وجود دارد که از لحاظ مدیریت اراضی نکته بسیار مهمی تلقی می‌شود. دوم آنکه از نظر بصری و دیداری، اطلاعات جامع‌تر و کاملتری را در اختیار محقق و بهره‌بردار قرار می‌دهد. همچنین، امکان استفاده از نقشه‌های تولیدی توسط این برنامه در سایر برنامه‌های سنجش از راه دور و انجام بررسی‌های تکمیلی نیز وجود دارد.

برای ترسیم نقشه رقومی کلاس‌های بافت خاک منطقه مورد مطالعه (میانگین دو عمق) از برنامه QGIS و تصاویر

همچنین، بررسی الگوی مکانی ویژگی‌های خاک با ترسیم نیم تغییر نمای تجربی و بررسی الگوی توزیع مکانی ویژگی‌ها از نظر همسانگردی یا ناهمسانگردی صورت گرفته و بهترین مدل تئوری بر هر یک از نیم تغییر نماها با توجه به حداقل مربعات خطا، مجذور ضریب همبستگی بالاتر و مجموع مربعات باقیمانده کمتر انتخاب شد. بر این اساس، مدل‌های به دست آمده از دو نوع کروی و نمایی بودند. نتایج نشان داد بیشترین شعاع تاثیر در بین پارامترهای بافت خاک، به ترتیب مربوط به رس خاک به مقدار ۶۸۴ و ۴۵۱ متر و کمترین شعاع تاثیر مربوط به انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک به مقدار ۳۳۶ و ۱۷۴ متر در دو عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری بود. با افزایش شعاع تاثیر، همبستگی فضایی بین نمونه‌ها افزایش یافته و در نتیجه فواصل نمونه‌برداری می‌تواند افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیقات آروایس و همکاران (Arrouays *et al.*, 2014) برای افزایش اطمینان از کمی کردن خصوصیات خاک در هنگام تهیه نقشه‌های رقومی بهتر است فاصله نمونه برداری را ۹۰ درصد فاصله تخمین زده شده

کسر شده و به‌عنوان درصد سیلت در تهیه نقشه استفاده می‌گردد. موندجار و همکاران (Mondejar & Tongco, 2019) با استفاده از این روش توانستند نقشه رقومی بافت خاک سطحی فیلیپین را ترسیم کنند.

ژئورفرنس شده GTI برای دو جزء شن و رس خاک استفاده شد (شکل ۶). مقادیر مربوط به جزء سیلت هر نقطه نیز توسط برنامه رایانه‌ای فوق محاسبه می‌شود. برای این کار مقدار عددی ۱۰۰ از مجموع دو جزء شن و رس هر نقطه

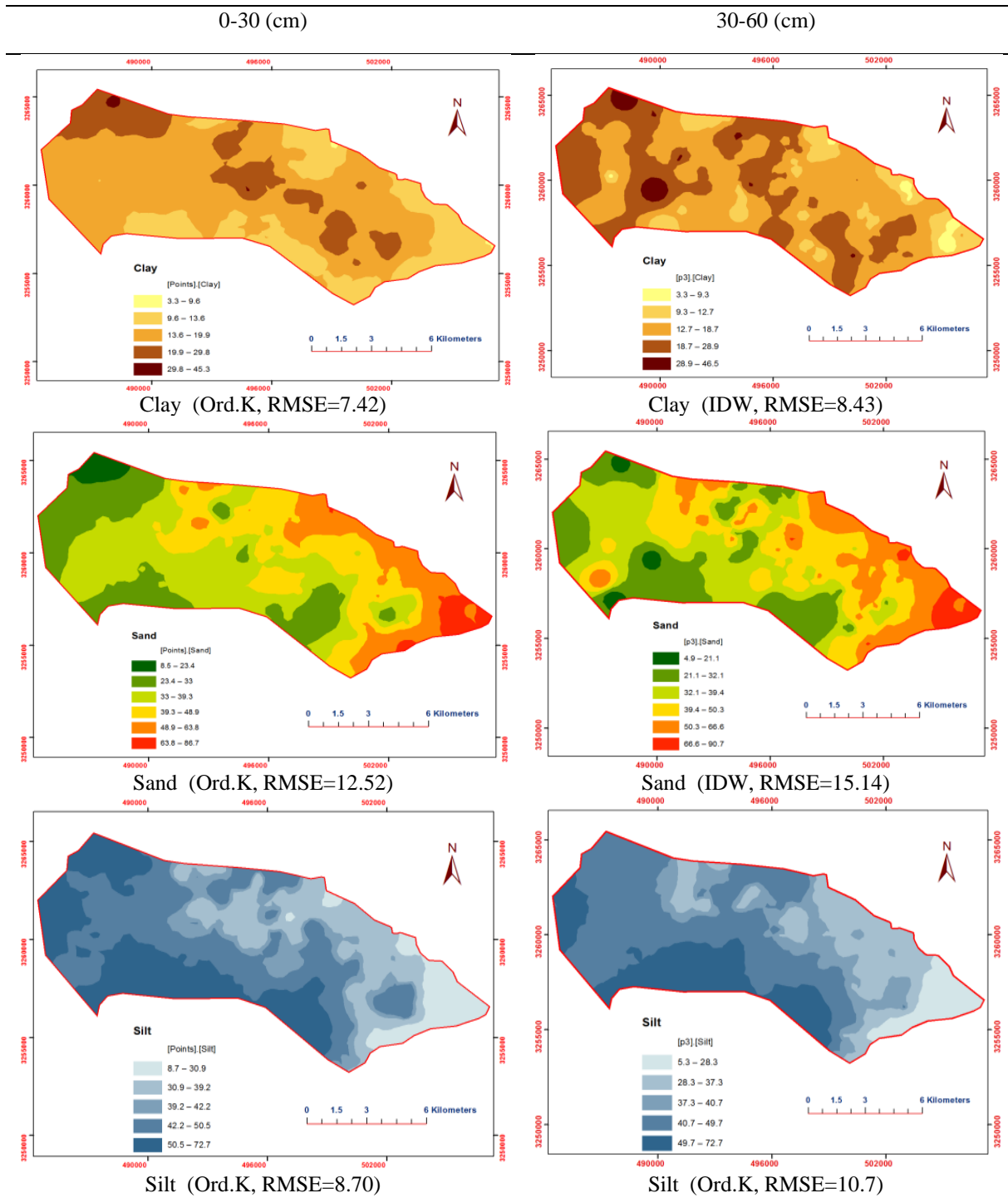


شکل ۶- نقشه رقومی کلاس‌های بافت خاک با استفاده از برنامه QGIS

Figure 6. Digital soil texture class map by QGIS

بر اساس نقشه های رقومی ترسیم شده، میزان رس خاک‌های تشکیل شده در قسمت غربی و میانی دشت شبانکاره بیشتر از سایر نقاط بود. درحالیکه اراضی مرتفع‌تر شمالی و غربی، حاوی مقادیر بیشتر شن هستند. اراضی پست و گود و همچنین دشت‌های رسوبی موجود در قسمت جنوبی دشت مورد مطالعه حاوی مقادیر فراوان سیلت بودند. این موضوع که در واقع نشان‌دهنده رابطه قوی بین نوع خاک و اشکال زمین نما می‌باشد، در نتایج سایر محققین در مطالعات خاکشناسی از جمله آنگارو و همکاران (Ungaro *et al.*, 2008) نیز بیان شده است.

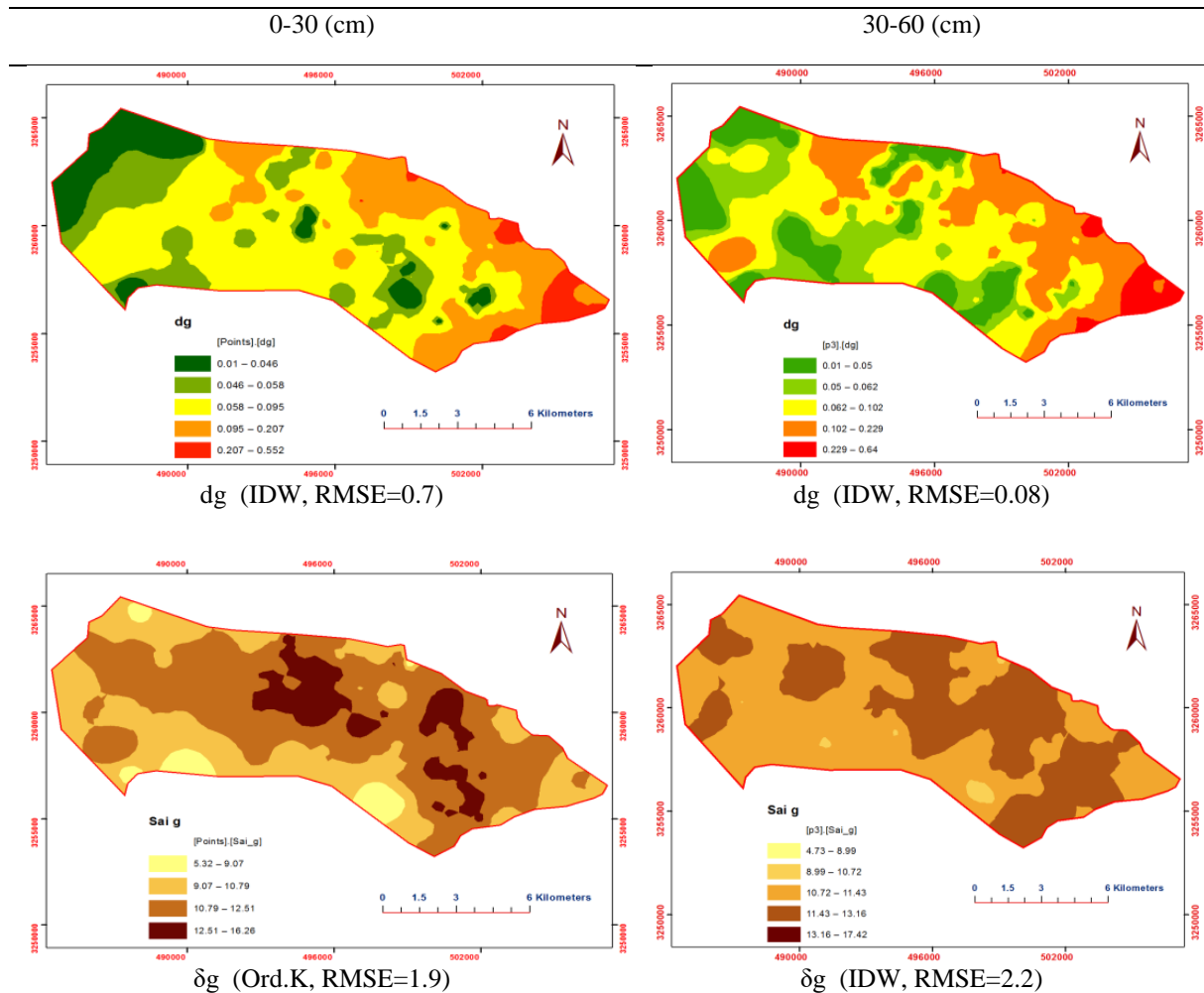
نقشه پهنه‌بندی اجزای بافت خاک به روش مثلث قدیم بافت خاک در شکل شماره (۷) و نقشه پهنه‌بندی اجزای بافت خاک به روش مثلث جدید در شکل شماره (۸) آمده است. با توجه به نقشه‌های رقومی، میانگین هندسی قطر ذرات خاک (dg) از سمت غرب به سمت شرق دشت شبانکاره با افزایش قابل توجهی همراه بوده است. همانطور که در نقشه‌های مذکور مشاهده می‌شود بطور کل، خاک‌های سطحی غیریکنواخت‌تر بوده‌اند که دلیل آن نیز تأثیر بیشتر عوامل خاکسازي بخصوص عوامل اقلیمی بر سطح خاک نسبت به عمق آن از یک سو و نقش عوامل مدیریتی اراضی و فعالیت‌های کشاورزی از سوی دیگر می‌باشد.



شکل ۷- پهنه‌بندی اجزای بافت خاک به روش مثلث قدیمی در دو عمق ۳۰-۶۰ و ۳۰-۳۰ سانتی‌متر بوسیله برنامه ArcGIS 10.5

IDW = وزن دهی معکوس فاصله ، Ord.K = کربجینگ معمولی)

Figure 7. Zoning and digital maps of soil particle in old triangle for 0-30 and 30-60 cm by ArcGIS.
 (IDW= Inverse Distance Weighting , Ord. K.= Ordinary Kriging)



شکل ۸- پهنه‌بندی پارامترهای بافت خاک به روش مثلث جدید، دو عمق ۳۰-۶۰ و ۳۰ سانتی‌متر توسط برنامه ArcGIS 10.5 (IDW = وزن دهی معکوس فاصله ، Ord.K = کریجینگ معمولی)

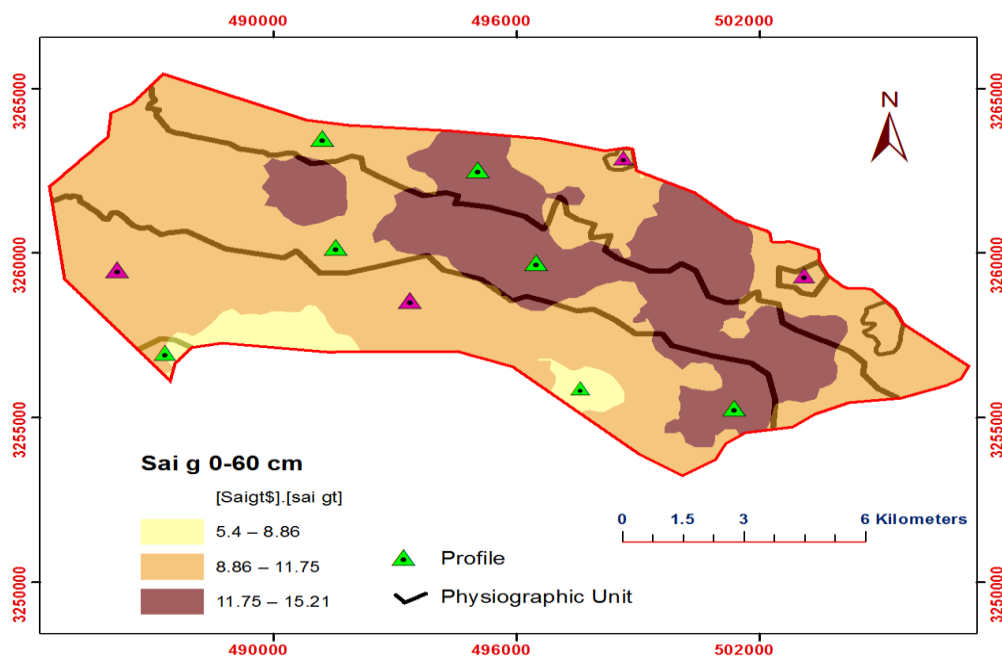
Figure 8. Zoning and digital maps of soil particle in new triangle for 0-30 and 30-60 cm by ArcGIS 10.5. (IDW= Inverse Distance Weighting , Ord. K.= Ordinary Kriging)

همانطور که می‌دانیم، بیشترین هزینه و صرف وقت انجام شده در مطالعات صحرایی خاکشناسی مربوط به حفر خاکرخ و تشریح آن می‌باشد. از اینرو سعی می‌شود تا به روش‌های گوناگون، محل حفر خاکرخ‌ها را به گونه‌ای انتخاب نمایند که تفاوت‌های بین خاک‌های مختلف در یک عرصه مطالعاتی به خوبی نشان داده شود. رابینسون و همکاران (Robinson *et al.*, 2019) عنوان کردند هر چه تعداد خاکرخ‌ها زیاده‌تر باشد هزینه پرداختی نیز به تبع آن ارقام بزرگتری را شامل خواهد شد. از روش‌های مرسوم برای کاهش تعداد خاکرخ‌های مشابه می‌توان به تشخیص واحدهای فیزیوگرافی مختلف با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های خطوط هم ارتفاع کنتوری به همراه مشاهدات زمینی و تعیین مرز جداکننده

این نقشه‌ها می‌تواند بیانگر خصوصیات مهمی از خاک مانند میزان تخلخل، سرعت و میزان نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب در خاک، میزان حاصلخیزی خاک و پیش‌بینی فرسایش از طریق مدل‌سازی باشند (شکل شماره ۶). همچنین، در مطالعات دقیقتر می‌توان از نقشه‌های فوق برای تعیین الگوی کشت گیاهان نیز استفاده کرد. از سوی دیگر، احتمال بروز سیلاب و حمل مواد معلق در نواحی با مقدار فراوان رس، بیشتر از سایر نقاط می‌تواند اتفاق بیفتد. سید محمدی و همکاران (Seyedmohammadi *et al.*, 2019) گزارش کردند که در چنین شرایطی، انتقال مواد آلاینده و رسوبات به منابع آبی پایین دست و همچنین سیلگیری و ماندابی شدن آن‌ها وجود خواهد داشت. از این نتایج می‌توان برای مدیریت بهینه زراعی منطقه استفاده کرد.

بین آن‌ها نام برد. در پژوهش حاضر، استفاده از نقشه رقومی (δg) برای تعیین محل حفر خاکرخ‌ها در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که پیشتر هم عنوان شد، انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک (δg) بیانگر میزان یکنواختی یا غیر یکنواختی خاک می‌باشد

از اینرو انتظار می‌رود خاک‌های با (δg) نزدیک به هم دارای مشابهت‌های خاکرخی زیادی باشند که در این صورت در چنین خاک‌هایی می‌توان تنها یک خاکرخ را حفر نمود.



شکل ۹- نقشه‌های رقومی یکنواختی ذرات خاک (δg) در دشت شبانکاره و محل خاکرخ‌های حفر شده در آن خطوط ممتد نشان‌دهنده مرز واحدهای فیزیوگرافی مختلف می‌باشند.

Figure 9. Digital maps of geometric standard deviation of soil particle diameter (δg) and location of profiles. Continuous lines are physiographic units.

امکان‌پذیر ساخته‌اند. ترسیم نقشه بافت خاک بر اساس پارامترهای موجود در مثلث جدید و قدیم بافت خاک برای یکی از دشت‌های عمده کشاورزی جنوب کشور به نام دشت شبانکاره در زیر دست سد مخزنی رییس‌علی دلواری در این پژوهش، صورت گرفت. نتایج نشان داد که قوی‌ترین کلاس ساختار مکانی مربوط به انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک ($0/48$) و ضعیف‌ترین آن در سیلت ($0/73$) مشاهده شد. همچنین، بیشترین شعاع تاثیر در بین پارامترهای بافت خاک، به ترتیب مربوط به رُس خاک به مقدار 684 و 451 متر و کمترین شعاع تاثیر مربوط به انحراف معیار هندسی قطر ذرات خاک به مقدار 336 و 174 متر در دو عمق 30 - 0 و 60 - 30 سانتی‌متری بود. با افزایش شعاع تاثیر، همبستگی فضایی بین نمونه‌ها افزایش یافته و در نتیجه فواصل نمونه‌برداری می‌تواند افزایش می‌یابد. در ضمن، امکان تعیین محل مناسب برای حفر و تشریح خاکرخ در

از نقشه رقومی (δg) دشت شبانکاره در عمق 60 - 0 سانتی-متری برای تعیین محل حفر خاکرخ به روش فوق استفاده شد که در نتیجه تعداد 11 خاکرخ در کل منطقه انتخاب گردید (شکل ۹). استفاده از این روش در طراحی زهکش‌ها و فاصله آن‌ها دارای سابقه است ولی کاربرد آن به منظور تعیین محل حفر خاکرخ‌ها برای اولین بار در مقاله حاضر مطرح شده است.

نتیجه‌گیری کلی

استفاده از نقشه‌های رقومی خاک به سرعت در سطح جهانی در حال گسترش است. این نقشه‌ها نه تنها در کشاورزی دقیق که بر پایه به‌کارگیری از علوم و فنون جدید مانند سنجش از راه دور استوار است، کاربرد دارد بلکه مطالعات گسترده جهانی و فراکشوری مانند حفظ محیط زیست دنیا و چالش آلاینده‌ها مانند گرد و غبار غیر ناحیه‌ای را نیز

خاک و نحوه حتی انتقال آلاینده‌ها را دارند که سبب افزایش دقت در مدیریت بهینه اراضی برای گروه‌های مختلف کاربران کشاورزی خواهد گردید. به‌عنوان مثال، استفاده از این نقشه‌ها در کشور هندوستان توانسته است تحول چشمگیری در مدیریت بهینه اراضی و جلوگیری از تخریب خاک‌های حاصلخیز در راستای کشاورزی پایدار طی سه دهه اخیر ایجاد نماید (Dharumarajan *et al.*, 2019).

عرصه‌های گسترده نیز با استفاده از نقشه کلاس یکنواختی خاک‌ها به‌منظور کاهش هزینه‌ها و صرف کمتر وقت استفاده گردید که نیازمند بررسی‌های بیشتر می‌باشد. همانطور که در سایر تحقیقات مشابهی که در داخل کشور و در سایر نقاط دنیا صورت گرفته است نیز می‌توان مشاهده نمود، نقشه‌های رقومی تولید شده قابلیت ارائه اطلاعات مکانی از ویژگی‌های مهم خاک مانند وضعیت نفوذپذیری و زهکشی، ظرفیت نگهداری آب، حاصلخیزی، میزان فرسایش و شوری

References

- Abdollahi S., Pourghasemi H. R., Ghanbarian G. A., and R. Safaeian. 2019. Prioritization of effective factors in the occurrence of land subsidence and its susceptibility mapping using an SVM model and their different kernel functions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(6), 4017-4034.
- Akpa S. I., Odeh I. O., Bishop T. F., and A. E. Hartemink. 2014. Digital mapping of soil particle-size fractions for Nigeria. *Soil Science Society of America Journal*, 78(6), 1953-1966.
- Arabameri A., Pradhan B., and D. T. Bui. 2020. Spatial modelling of gully erosion in the Ardib River Watershed using three statistical-based techniques. *Catena*, 190, 104545.
- Arrouays D., Grundy M. G., Hartemink A. E., Hempel J. W., Heuvelink G. B., Hong S. Y., and M. Mendonca-Santos. 2014. Global Soil Map: toward a fine-resolution global grid of soil properties. *In Advances in agronomy*. Academic Press. Vol. 125, pp. 93-134.
- Arrouays D., McBratney A., Bouma J., Libohova Z., Richer-de-Forges A. C., Morgan C. L and V.L. Mulder. 2020. Impressions of digital soil maps: The good, the not so good, and making them ever better. *Geoderma Regional*, 20, e00255.
- Bui E. N. 2004. Soil survey as a knowledge system. *Geoderma*, 120(1-2) 17-26.
- Bui E. N., Searle R. D., Wilson P. R., Philip S. R., Thomas M., Brough D., and D. Van Gool. 2020. Soil surveyor knowledge in digital soil mapping and assessment in Australia. *Geoderma Regional*, e00299.
- Castro Franco M., Domenech M. B., Borda M. R., and J. L. Costa. 2018. A spatial dataset of topsoil texture for the southern Argentine Pampas. *Geoderma Regional* 12:18–27.
- Design G. 2004. Geostatistics for the environmental science version 7. Gamma Design, USA, 159 p.
- Dharumarajan S., Hegde R., Janani N., and S. K. Singh. 2019. The need for digital soil mapping in India. *Geoderma Regional* 16, e00204.
- Dobarco M. R., Arrouays D., Lagacherie P., Ciampalini R., and N. P. Saby. 2017. Prediction of topsoil texture for Region Centre (France) applying model ensemble methods. *Geoderma*, 298, 67-77.
- Ersahin S. 2003. Comparing ordinary kriging and cokriging to estimate infiltration rate. *Soil Science Society of America Journal*, 67(6), 1848-1855.
- Gee G. W. 1986. Particle size analysis. In: Klute A (Eds) *Methods of Soil Analysis Part I*. 383-409.
- Greve M. H., Kheir R. B., Greve M. B., and P. K. Bocher. 2012. Quantifying the ability of environmental parameters to predict soil texture fractions using regression-tree model with GIS and LIDAR data: The case study of Denmark. *Ecological Indicators* 18, 1-10.
- Ji W., Adamchuk V., Chen S., Biswas A., Leclerc M., and R. V. Rossel. 2017. The use of proximal soil sensor data fusion and digital soil mapping for precision agriculture. *Pedometrics* 2017. p 298.
- Kalambukattu J. G., Kumar S., and R. A. Raj. 2018. Digital soil mapping in a Himalayan watershed using remote sensing and terrain parameters employing artificial neural network model. *Environmental earth sciences* 77(5), 203.
- Kidd D., Searle R., Grundy M., McBratney A., Robinson N., O'Brien L. and Jones, E. 2020. Operationalising digital soil mapping—Lessons from Australia. *Geoderma Regional*, e00335.
- McKenzie N. J., and M. J. Grundy. 2008. Approaches to land resource survey. 230 p.

- Mikhailova E. A., Post C. J., Gerard P. D., Schlautman M. A., Cope M. P., Groshans G. R., and J. M. Galbraith. 2019. Comparing Field Sampling and Soil Survey Database for Spatial Heterogeneity in Surface Soil Granulometry: Implications for Ecosystem Services Assessment. 128 p.
- Mondejar J. P., and Tongco A. F. 2019. Estimating topsoil texture fractions by digital soil mapping-a response to the long-outdated soil map in the Philippines. *Sustainable Environment Research*, 29(1), 1-20.
- Moosavi A. A., and Sepaskhah A. R. 2012. Spatial variability of physico-chemical properties and hydraulic characteristics of a gravelly calcareous soil. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 58(6), 631-656.
- Robinson N. J., Dahlhaus P. G., Wong M., MacLeod A., Jones D., and C. Nicholson. 2019. Testing the public-private soil data and information sharing model for sustainable soil management outcomes. *Soil Use and Management*, 35(1), 94-104.
- Santra P., Kumar M., and N. Panwar. 2017. Digital soil mapping of sand content in arid western India through geostatistical approaches. *Geoderma Regional*, 9, 56-72.
- Searle R. 2015. The Australian site data collation to support the Global Soil Map. Basis of the global spatial soil information system. *Global Soil Map*. 127-132p.
- Seyedmohammadi J., Navidi M. N., and L. Esmaelnejad. 2019. Geospatial modeling of surface soil texture of agricultural land using fuzzy logic, geostatistics and GIS techniques. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(12), 1452-1464.
- Shirazi M. A., and L. Boersma. 1984. A unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*, 48(1), 142-147.
- Ungaro F., Ragazzi F., Cappellin R., and P. Giandon. 2008. Arsenic concentration in the soils of the Brenta Plain (Northern Italy): mapping the probability of exceeding contamination thresholds. *Journal of Geochemical Exploration*, 96(2-3), 117-131.
- Zhao Z., Chow T. L., Rees H. W., Yang Q., Xing Z., and Meng F. R. 2009. Predict soil texture distributions using an artificial neural network model. *Computers and electronics in agriculture*, 65(1), 36-48.

Geostatistical Analysis and Zoning of Soil Primary Particles for Optimal Land Use Management (Case Study: Shabankareh Plain, Bushehr Iran)

Morteza Pouzesh Shirazi¹, Seyed Ali Abtahi², Majid Bagher Nejad³,
Ali Akbar Moosavi⁴, Mir Naser Navidi⁵

(Received: May 2021 Accepted: 2022 April)

Abstract

Over the last three decades, there has been a general tendency to change methods in research on soil resource management from conventional and mainly qualitative methods to Quantitative ones based on spatial correlation models which are called digital soil mapping (DSM). The present study was carried out in Shabankareh plain with an area of 15,000 hectares with different physiographic units that are mainly used as agricultural farms in Bushehr province, Southern Iran. Target sites (172 points) were selected for soil sampling at depths of 0-30 and 30-60 based on hypothetical networking on satellite images and visual differences observed in the study area. Digital soil texture maps were drawn for both old soil texture triangle (include sand, silt and clay particles) and the new one (include Geometric mean particle diameter and geometric standard deviation of soil particle diameter). Soil texture is considered as one of the most important characteristics in determining the type and density of agricultural activities and types of land use. Two geostatistical programs include GS⁺ and ArcGIS and various methods of data estimators such as inverse distance weighting and ordinary Kriging method were used in this project. The results showed the strongest spatial structure class was observed in geometric standard deviation of the soil particle diameter (0.48) and the weakest in silt (0.73). The highest and lowest effective range among soil texture parameters were related to soil clay particles and geometric standard deviation of soil particle diameter with 684 and 336 meters, respectively. Number of drilled profiles (11 ones) was based on digital uniformity map. The generated digital maps can provide spatial information of important soil properties such as permeability and drainage, water holding capacity, fertility, soil erosion and salinity which increases the accuracy in the optimal management of agricultural lands.

Keywords: Soil particles digital mapping, Geostatistical methods, old and new soil texture triangles, Physiographic units

Pouzesh Shirazi M., Abtahi S.A., Bagher Nejad M., Mousavi A.A. and Navidi M.N. 2023. Soil physical properties as affected by potassium and salinity of irrigation water. *Applied Soil Research*. 11(1): 125-141.

1. PhD Candidate Student of Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shiraz and Faculty Member of Soil and Water Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Shiraz, Iran

2. Professor of Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shiraz

3. Professor of Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shiraz

4. Associate Professor Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shiraz

5. Assistant Professor Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

* Corresponding Author Email: m.shirazi741@gmail.com