



دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی اراک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره اول، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## آنالیز سطوح روند و اثرات آن در مدل‌سازی تغییرنا و پهنه‌بندی برخی ویژگی‌های خاک

سلمان میرزائی<sup>۱</sup>، شجاع قربانی‌دشتکی<sup>۲</sup>، جهانگرد محمدی<sup>۳</sup>، حسین اسدی<sup>۳</sup> و فرخ اسدزاده<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه شهرکرد،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک، دانشگاه گیلان، <sup>۳</sup> استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ارومیه

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۲۲

### چکیده

**سابقه و هدف:** دقت برآورد مکانی ویژگی‌های خاک نظیر رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل اهمیت زیادی در تغذیه گیاه و برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی دارد. مهم‌ترین مرحله قبل از تحلیل‌های آماری و به‌کارگیری تخمین‌گرهای زمین‌آماری، واری داده‌ها می‌باشد. افزون بر بررسی اعداد پرت و نوع توزیع داده‌ها، یکی دیگر از عملیات مهم در مطالعات زمین‌آماری، آنالیز روند سطحی است. با به‌کارگیری تحلیل روند سطحی می‌توان نقش عواملی چون تغییر جنس سنگ‌ها، آب و هوا، توپوگرافی و به‌طور کلی ناهنجارهای منطقه‌ای را روی داده‌ها ارزیابی کرد. هدف از این پژوهش، آنالیز سطوح روند و اثرات آن در مدل‌سازی تغییرنا و پهنه‌بندی رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک بود.

**مواد و روش‌ها:** بدین‌منظور، تعداد ۱۰۰ نمونه خاک سطحی (عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری) به‌صورت تصادفی براساس مساحت طبقات متفاوت شیب، منطقه‌ای به مساحت ۴۱۳۵۳ هکتار از اراضی زراعی دشت سئین واقع در منطقه کلپیر، استان آذربایجان شرقی برداشت گردید. ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی و درصد کربن آلی خاک به روش اکسایش‌تر اندازه‌گیری شدند. برای تحلیل روند سطحی از رگرسیون چندگانه که در آن متغیرهای مستقل، مختصات جغرافیایی نقاط و متغیر وابسته یک نوع ویژگی از خاک می‌باشد و برای پهنه‌بندی رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک و باقی‌مانده‌ها حاصل از حذف روند سطحی از کریجینگ معمولی استفاده شد. به‌منظور ارزیابی اثر سطوح روند در مدل‌سازی تغییرنا و تخمین‌گر کریجینگ از روش اعتبارسنجی متقاطع با شاخص‌های خطای میانگین (ME)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) استفاده شد.

**یافته‌ها:** آنالیز روند سطحی نشان داد که بهترین مدل رگرسیونی برای تبیین روند در رس و کربنات کلسیم معادل، درجه یک و برای ماده آلی، کوادراتیک بود. با حذف روند، اثر قطعه‌ای تغییرنا تقریباً برابر اثر قطعه‌ای در حضور روند گردید اما، حد آستانه تغییرنا کاهش یافت. به هر حال، تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای بین دقت تخمین‌گر کریجینگ در شرایط حضور و حذف روند مشاهده نگردید. این امر می‌تواند ناشی از ناهنجارهای محیطی و فعالیت‌های انسانی باشد، به‌طوری‌که مدل‌های رگرسیونی تبیین‌کننده روند فقط ۳۵، ۱۸ و ۲۱ درصد از تغییرات به‌ترتیب رس، ماده آلی و

\* مسئول مکاتبه: [ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir](mailto:ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir)

کربنات کلسیم معادل را توجیه کردند. با این حال، با حذف روند  $R^2$  در ویژگی‌های رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل به ترتیب ۹/۱، ۲/۷ و ۶/۶ درصد افزایش یافت.

**نتیجه‌گیری:** به‌طور کلی، بررسی روند سطحی در مطالعات خاک‌شناسی که سروکار بیش‌تر با داده‌های مکانی است، توصیه می‌گردد. به دلیل این‌که حضور روند بستگی به شرایط و موقعیت منطقه مطالعاتی و همچنین، منبع ایجاد روند دارد.

**واژه‌های کلیدی:** روند سطحی، اثر قطعه‌ای، کریجینگ

### مقدمه

خاک نتیجه برهم‌کنش پیچیده‌ای میان فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی است که با شدت‌های متفاوت و در مقیاس‌های مختلف بر یکدیگر تأثیر دارند (۲۴). رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل از ویژگی‌های بسیار مهم خاک هستند که در جذب و رهاسازی عناصر غذایی مورد نیاز گیاه، میزان آب قابل دسترس، برآورد پتانسیل خطر فلزات سنگین، مدیریت فرسایش خاک و ترسیب کربن نقش مؤثری دارند (۹، ۱۳، ۱۴). با توجه به اهمیت ویژگی‌های یاد شده، دقت و صحت برآورد تغییرپذیری مکانی رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل به‌عنوان متغیرهای ورودی مهم در بسیاری از مدل‌های خاک و محیط زیست ضروری است.

مهم‌ترین و اثرگذارترین عامل در دقت و صحت پهنه‌بندی مکانی، رویکردهای پردازشی داده‌های مکانی است. رویکردهای پردازشی داده‌های مکانی شامل توصیف داده‌های مکانی (به‌صورت عددی یا گرافیکی) و اکتشاف و مدل‌سازی است (۱۵). مهم‌ترین مرحله قبل از تحلیل‌های آماری و به‌کارگیری تخمین‌گرهای زمین‌آماري، واریانس داده‌ها می‌باشد، با این وجود، این گام بسیار مهم اغلب فراموش و یا وزن اندکی در طی فرایند تجزیه و تحلیل داده‌ها به آن تعلق می‌گیرد. به‌عنوان مثال، یک داده پرت در مجموعه داده‌ها می‌تواند نتیجه نهایی گمراه‌کننده‌ای را

رقم بزند یا این‌که توزیع داده‌ها را از توزیع نرمال منحرف سازد (۷). بنابراین، در پژوهش‌های علمی قبل از هر گونه پردازش آماری باید از وجود اعداد پرت و مشکوک در مجموعه داده‌ها اطمینان حاصل نمود. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از پردازش‌های زمین‌آماري در حالتی که از داده‌های تبدیل‌نیافته استفاده می‌شود دقت بیش‌تری نسبت به داده‌های تبدیل یافته دارد (۲۳).

تاکنون در پژوهش‌های بی‌شماری برای تهیه نقشه ویژگی‌های خاک از تخمین‌گرهای زمین‌آماري استفاده شده است، که در پژوهش حاضر به چند مورد از آن‌ها اشاره می‌شود. استواری و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات مکانی نیترات را در آب زیرزمینی دشت لردگان مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور، از ۳۲ حلقه چاه کشاورزی در چهار نوبت (خرداد، مرداد، شهریور و آبان در سال ۱۳۸۹) نمونه‌برداری و غلظت نیترات را اندازه‌گیری کردند. در پژوهش یاد شده، وجود داده پرت و نرمال نبودن داده‌ها در برخی از داده‌ها بسیار مشهود می‌باشد که به بررسی آن‌ها اشاره نشده است. احتمالاً دلیل برتری روش وزن‌دهی معکوس بر کریجینگ نیز وجود داده‌های پرت و غیرنرمال باشد با توجه به رویکرد کریجینگ که عبارت از برپایی یک مدل آماری برای داده‌های در دسترس نرمال است (۲۰). دیانی و همکاران (۲۰۰۹) وضعیت آلودگی خاک‌های سپاهان‌شهر را به فلزات روی، سرب و

فلزات سنگین با تخمین‌گرهای مختلف را بررسی کردند (۱۱).

در پردازش داده‌های مکانی قبل از به‌کارگیری تکنیک‌های زمین‌آماري، اغلب نرمال بودن داده‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۴، ۵، ۱۰، ۱۲، ۱۶). افزون بر بررسی اعداد پرت و نوع توزیع داده‌ها، یکی دیگر از عملیات مهم در مطالعات زمین‌آماري که اغلب نادیده گرفته شده است، آنالیز روند سطحی (تغییرات بلند دامنه) است. با به‌کارگیری تحلیل روند سطحی می‌توان نقش عواملی چون تغییر جنس سنگ‌ها، آب و هوا، توپوگرافی و به‌طورکلی ناهنجاری‌های منطقه‌ای را روی داده‌ها ارزیابی کرد (۱۹). حضور روند در مقادیر داده‌ها موجب اغتشاش و به‌هم‌ریختگی ساختار تغییرنا تجربی می‌گردد (۱۵، ۱۹). در بسیاری از مطالعات زمین‌آماري با فرض نبود روند اقدام به مدل‌سازی تغییرنا می‌شود که در صورت حضور روند مقادیر حاصل از تخمین‌گرهای زمین‌آماري معتبر نمی‌باشد. بنابراین، هدف از این پژوهش بررسی اثرات سطوح روند بر مدل‌سازی تغییرنا و پهنه‌بندی میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل بود.

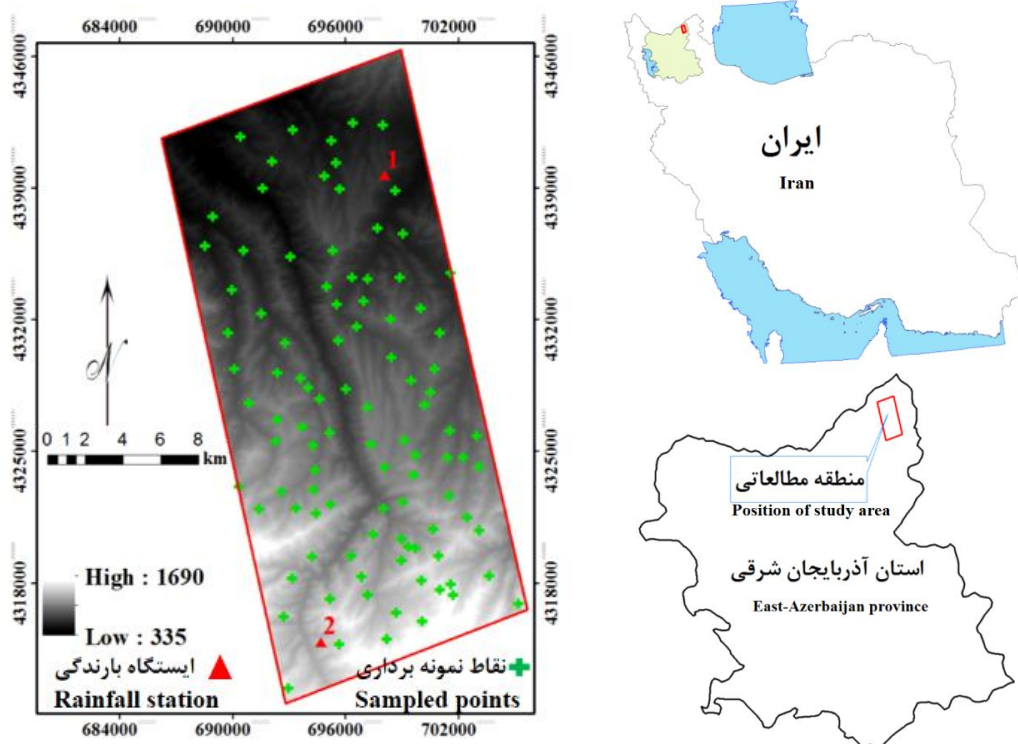
### مواد و روش‌ها

**تشریح منطقه مطالعاتی و نمونه‌برداری خاک:**  
منطقه مورد مطالعه در شمال‌غرب ایران (استان آذربایجان شرقی) واقع و وسعتی برابر با ۴۱۳۵۳ هکتار از اراضی زراعی دشت سنلین شهرستان کلیبر را می‌پوشاند. این منطقه بین طول‌های جغرافیایی ۴۷ درجه ۸ دقیقه تا ۴۷ درجه ۲۲ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه ۵۶ دقیقه تا ۳۹ درجه ۱۵ دقیقه شمالی قرار دارد. منطقه مورد بحث از جنوب به رشته‌کوه‌های هشت‌سر، از شمال به رود ارس و از غرب به رشته‌کوه‌های سه‌برادر منتهی می‌شود و کاربری منطقه عمدتاً گندم‌زار است که

کادمیوم مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، فلزات مورد نظر در ۱۰۰ نقطه اندازه‌گیری و نرمال بودن داده‌ها را با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی کردند. اما با بررسی خلاصه آماری داده‌های مربوط به سرب، روی و کادمیوم، وجود حداقل یک داده پرت (مقدار حداکثر) قابل مشاهده است. آن‌ها سپس اقدام به پهنه‌بندی متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ کردند (۵). دائم‌پناه و همکاران (۲۰۱۱) قابلیت روش‌های زمین‌آماري و سنجش از دور را برای تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور، تعداد ۸۸ نمونه از شهرستان مهولات استان خراسان رضوی برداشت کردند. نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. اما، حداقل یک داده پرت در نسبت جذب سدیمی مشاهده می‌شود (۴). خلیل‌مقدم و قربانی‌دشتکی (۲۰۱۲) برای برآورد مقاومت برشی لایه رویین خاک از روش‌های کریجینگ، توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی مکانی خاک استفاده کردند. برای این کار مقاومت برشی به همراه ویژگی‌های زودیافت خاک در ۹۰ نقطه از زاگرس مرکزی اندازه‌گیری و نرمال بودن داده‌ها را مورد بررسی قرار دادند. اما وجود حداقل یک داده پرت (مقدار حداکثر) قابل مشاهده است (۱۰). همچنین، برخی از پژوهشگران از جمله موسوی‌فرد و همکاران (۲۰۱۳) و لیو و همکاران (۲۰۱۳) که به نوعی به پهنه‌بندی ویژگی‌های خاک پرداخته‌اند در میان مجموعه داده‌ها، حداقل یک داده مشکوک و پرت در خلاصه آماری گزارش شده مشاهده کردند (۱۲، ۱۶). خداکرمی و همکاران (۲۰۱۱) توزیع غلظت عناصر سنگین مانند کروم، کبالت و نیکل را در سه زیرحوضه شامل کبودرآهنگ، رزن و خونجان استان همدان مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، نرمال بودن داده‌ها، وجود داده‌های پرت و غیرعادی در مجموعه داده‌ها در پهنه‌بندی

همچنین، ایستگاه‌های بارندگی سد ارسباران و عرب‌شاهی که در شکل ۱ محل آن‌ها مشخص شده است به‌ترتیب دارای میانگین بارندگی ۳۲۳ و ۴۸۹ میلی‌متر در سال هستند.

به‌صورت دیم کشت می‌شود. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد. میانگین دما و بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب برابر ۱۲/۲ درجه سلسیوس و ۳۸۳/۵ میلی‌متر است (اداره هواشناسی استان، سال ۱۳۹۲).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و توزیع نقاط نمونه‌برداری (نقاط سبز: نقاط نمونه‌برداری از خاک و نقاط قرمز: ایستگاه بارندگی).

Figure 1. Location of study area and sampling data distribution (Green points: sampled points and Red points: rainfall station).

همه مشاهدات (تقریباً در حدود ۹۹/۸٪) در مجموعه داده‌ها دارای مقادیر (مقدار  $Z$ ) کم‌تر از سه هستند که در دامنه  $(\bar{X} \pm 3Std.)$  قرار می‌گیرند. که  $\bar{X}$  نشان‌دهنده مقدار میانگین ویژگی‌های خاک و  $Std$  انحراف معیار آن‌ها است. بنابراین، مشاهداتی از ویژگی‌های خاک که دارای مقدار قدرمطلق  $Z$  بزرگ‌تر از سه باشد، به‌عنوان مشاهدات پرت در مجموعه داده‌ها در نظر گرفته می‌شود (۳، ۲۱). در واقع، داده‌های پرت داده‌هایی هستند که به‌طور معنی‌داری از مقدار داده‌های اصلی و واقعی انحراف

تعداد ۱۰۰ نمونه خاک سطحی (عمق صفر تا ۱۵ سانتی‌متری) به‌صورت تصادفی براساس مساحت طبقات متفاوت شیب با فاصله میانگین ۱۰۰۰ متر از منطقه مورد مطالعه برای تجزیه آزمایشگاهی برداشت شد. ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۸)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک ۱ نرمال (۱) و درصد کربن آلی خاک به روش اکسایش تر (۲۴) تعیین شد. تشخیص داده‌های پرت: به‌منظور تعیین داده‌های پرت، مطابق قضیه چی‌بی‌شف، با استانداردسازی  $Z$

که در آن،  $Z$  ویژگی خاک،  $X$  و  $Y$  مختصات جغرافیایی،  $\beta$  شیب،  $\alpha$  عرض از مبدا و  $\varepsilon$  کمیت خطا است. تغییرات مکانی یک متغیر ناحیه‌ای ( $Z(x)$ ) را می‌توان از طریق رابطه ۳ نشان داد.

$$Z(x_i) = \mu + \varepsilon(x_i) \quad (3)$$

که در آن،  $\mu$  مولفه ساختاری و  $\varepsilon(x_i)$  عبارت از تغییرات مکانی تصادفی است (۱۵). مطابق با فرضیات ایستایی،  $\mu$  در یک منطقه ثابت و ایستا فرض می‌شود. در حضور روند به‌جای  $\mu$  از یک تابع رگرسیونی (رابطه ۲) استفاده می‌شود. در این صورت رابطه ۳ به‌صورت رابطه ۴ در می‌آید.

$$Z(x_i) = f(X_i, Y_i, \alpha_i, \beta_i) + \varepsilon(x_i) \quad (4)$$

همان‌طور که رابطه ۴ نشان می‌دهد در حضور روند عبارت  $E[\{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}^2]$  با  $E[\{\varepsilon(x_i) - \varepsilon(x_i + h)\}^2]$  برابر نخواهد شد. بنابراین، واریوگرام محاسبه شده در حضور روند موجب اریب تخمین‌های ویژگی‌های خاک می‌گردد (۲۵). در مطالعه حاضر، با برازش مناسب‌ترین مدل رگرسیون در جهت‌های متفاوت جغرافیایی حضور یا عدم حضور روند سطحی مشخص شد. برای نمایش بهتر سطوح روند در نرم‌افزار ArcGIS از نمودار سه‌بعدی (3D graph) استفاده گردید.

بعد از آنالیز سطوح روند و مدل‌سازی آن در جهت‌های متفاوت جغرافیایی، مقدار توجیه شده روند توسط معادله رگرسیونی از مقادیر ماده آلی خاک حذف و باقی‌مانده‌ها (Residuals) به‌وسیله کریجینگ معمولی پهنه‌بندی شدند. در نهایت، برای تخمین ویژگی‌های مورد مطالعه، تخمین حاصل از روند و تخمین‌های حاصل از باقی‌مانده‌ها به‌وسیله کریجینگ بایکدبگر جمع و به‌عنوان تخمین نهایی متغیر در نظر گرفته شد.

داشته که می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری، جمع‌آوری داده‌ها و یا ناشی از عوامل طبیعی باشد (۱۷). افزون بر بررسی داده‌های پرت در مجموعه داده‌ها اقدام به شناسایی داده‌های پرت موضعی گردید که در این روش، داده‌ها در مقایسه با داده‌های همسایه مورد کاوش قرار می‌گیرند. شناسایی داده‌های پرت موضعی با استفاده از الگوریتم دسته‌بندی خوشه‌ای نقشه ورونی (Voronoi map) ArcGIS انجام شد. در این الگوریتم از شاخص مورانز (I) برای وجود شباهت و عدم وجود شباهت داده‌های اطراف استفاده می‌گردد (۱۸). شاخص مورانز به‌صورت زیر می‌باشد:

$$I_i = \left[ \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \right] \left[ \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (z_i - \bar{z})(z_j - \bar{z})}{\sum_{i=1}^n (z_i - \bar{z})^2} \right] \quad (1)$$

که در آن،  $Z_i$  یک داده در میان مجموعه داده‌ها،  $\bar{z}$  میانگین داده‌های اطراف ( $Z_i$ )،  $n$  تعداد داده‌ها و  $w$  وزن مکانی بین نقطه  $i$  و  $j$  که محدوده تأثیر وابستگی ساختار مکانی را نشان می‌دهد و براساس ارتباط همجواری (همسایگی) تعیین می‌شود. در واقع، این شاخص همبستگی بین مشاهدات همسایه یا اطراف را نشان می‌دهد. مقادیر مثبت و منفی شاخص مورانز به‌ترتیب بیانگر شباهت و عدم شباهت مشاهدات اطراف نسبت به یکدیگر می‌باشد که عدم شباهت نشان‌دهنده داده پرت موضعی بوده و از طریق محاسبه  $p$  (p-value) بیان و تفسیر می‌گردد (۶).

**تحلیل روند سطحی و برآورد ویژگی‌های خاک:** عموماً، برای تحلیل روند سطحی نوع خاصی از رگرسیون چندگانه به‌کار گرفته می‌شود (رابطه ۲)، که در آن متغیرهای مستقل، مختصات جغرافیایی نقاط و متغیر وابسته یک نوع ویژگی از خاک می‌باشد (۱۹).

$$Z_i = f(X_i, Y_i, \alpha_i, \beta_i) + \varepsilon \quad (2)$$

ویژگی‌های خاک، رس دارای کم‌ترین (۳۵/۳۷) و کربنات کلسیم معادل دارای بیش‌ترین ضریب تغییرات (۴۸/۵۱) می‌باشد.

در اثر خطا در اندازه‌گیری، اشتباه موقع ثبت داده‌ها و یا اضافه شدن بعضی مواد یا محصولات جانبی مانند کود دامی به برخی نقاط مورد مطالعه در زمان‌های نزدیک به نمونه‌برداری ممکن است برخی از داده‌ها مشکوک و یا پرت بوده و با بقیه داده‌ها تفاوت فاحشی داشته باشد. در کل، یک داده پرت و غیرمعمول در میان مجموعه داده‌های کربنات کلسیم معادل (۴۲٪) وجود داشت که با مقادیر بیشینه در مجموعه داده‌های خام اولیه جایگزین شدند. پکی (۲۰۰۶) نیز در مطالعه خود برای تصحیح داده‌های پرت از این روش استفاده کرد (۲۱). افزون بر بررسی اعداد پرت در مجموعه داده‌ها، در مطالعات زمین‌آماري باید داده‌های پرت به‌صورت موضعی نیز واریسی شود. به‌دلیل این‌که، برخی از داده‌ها در مقایسه با داده‌های نقاط اطراف جزء داده پرت بوده در صورتی که تشخیص آن‌ها در میان مجموعه داده‌ها یعنی کل نقاط ممکن نبود. نتایج بررسی نقشه ورونی نشان داد که در قسمت مرکزی و جنوب منطقه مورد مطالعه به‌ترتیب دو و سه داده پرت از نوع موضعی برای ماده آلی و کربنات کلسیم معادل وجود داشت که با مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های اطراف جایگزین شد. با توجه به نتایج آماری جدول ۱ و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف توزیع میزان ماده آلی و کربنات کلسیم معادل نرمال بودند و برای نرمال‌سازی میزان رس از تبدیل لگاریتمی استفاده شد.

به‌منظور ارزیابی اثر سطوح روند در مدل‌سازی تغییرنا و تخمین‌گر کریجینگ از روش اعتبارسنجی متقاطع با شاخص‌های خطای میانگین (ME) (برای تعیین اریب و تمایل به کم یا بیش برآورد) (معادله ۵)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) (بیانگر دقت میانگین پیش‌بینی و مقدار خطا می‌باشد) (رابطه ۶) و ضریب تبیین ( $R^2$ ) (رابطه ۷) استفاده شد.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [Z(X_i) - Z^*(X_i)] \quad (5)$$

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N [Z(X_i) - Z^*(X_i)]^2}{N} \right]^{1/2} \quad (6)$$

$$R^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (Z(X_i) - \bar{Z}(X_i))(Z^*(X_i) - \bar{Z}^*(X_i))}{\sum_{i=1}^N (Z(X_i) - \bar{Z}(X_i))^2 (Z^*(X_i) - \bar{Z}^*(X_i))^2} \right]^* \quad (7)$$

که در آن‌ها،  $Z^*(X_i)$  بیانگر مقادیر تخمینی،  $Z(X_i)$  مقادیر واقعی متغیرها و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

### نتایج و بحث

توصیف آماری میزان رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک در جدول ۱ ارائه شده است. ضریب تغییرات سه ویژگی یاد شده کم‌تر از ۵۰ درصد می‌باشد که بیانگر عدم تغییرپذیری زیاد این ویژگی‌ها در منطقه مورد مطالعه است. در بین

جدول ۱- توصیف آماری ویژگی‌های خاک.

Table 1. Statistic descriptive of soil properties.

درصد ضریب تغییرات (Coefficient of variation)	انحراف معیار (Standard deviation)	میانه Median	میانگین Mean	حداکثر Max	حداقل Min	ویژگی‌های خاک Soil properties
35.37	9.16	24.0	25.9	46.0	6.0	رس (%) Clay (%)
36.69	0.51	1.42	1.39	2.62	0.17	ماده آلی (%) Organic matter (%)
48.51	8.15	16.0	16.8	41.3	0.5	کربنات کلسیم معادل (%) Calcium carbonate equivalent (%)

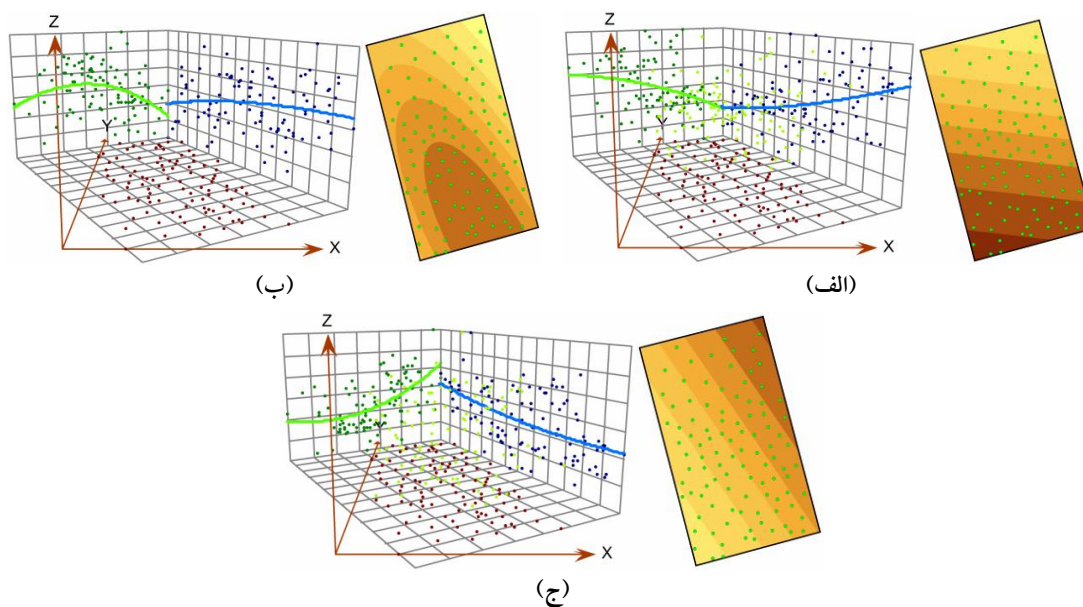
شمال- جنوب، تقریباً روندی برای کربنات کلسیم معادل خاک مشاهده نشد. بدین ترتیب، بهترین مدل رگرسیونی برای تبیین روند مقدار رس در هر دو جهت و کربنات کلسیم معادل در جهت شرق- غرب، مدل درجه یک (خطی) می‌باشد (جدول ۲). دلیل افزایش خلاف جهت میزان رس و کربنات کلسیم معادل، توزیع ارتفاعی و ویژگی‌های آب و هوایی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. روند میزان ماده آلی در جهت شرق- غرب از نوع درجه دو بوده به این صورت که بیش‌ترین میزان ماده آلی در قسمت مرکزی منطقه و کم‌ترین مقدار آن مربوط به حاشیه‌ها بود و در جهت شمال- جنوب یک روند خطی از نوع درجه یک مشاهده شد (جدول ۲).

براساس آماره  $R^2$  (جدول ۴)، حداکثر  $R^2$  برای رس (۰/۳۵) و حداقل آن برای ماده آلی (۰/۱۷) حاصل شد.  $R^2$  بالاتر میزان رس در مقایسه با میزان ماده آلی نشان می‌دهد که میزان رس بیش‌تر تحت تأثیر ویژگی‌های آب و هوایی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه است که دارای تغییرات مشخصی از جنوب- غرب منطقه به طرف شمال- شرق است. علت  $R^2$  پایین ماده آلی مربوط به میزان فعالیت‌های کشاورزی در نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه است که در

سطوح روند با برازش بهترین مدل رگرسیونی در جهت‌های جغرافیایی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای درک بهتر روند، شکل ۲ حدود ۳۰ درجه چرخش داده شد. محور X و Y نمودار سه‌بعدی (شکل ۲) به ترتیب بیانگر جهت شرق- غرب و شمال- جنوب می‌باشند. نقاط قرمز رنگ نشان‌دهنده موقعیت و مقادیر متغیرها می‌باشد. خط آبی و سبز به ترتیب نشان‌دهنده نوع روند در جهت‌های شمال- جنوب و شرق- غرب می‌باشند. صاف بودن، افزایش خطی در جهت جغرافیایی خاص و شکل سهمی (درجه ۲) خط‌های آبی و سبز به ترتیب بیانگر عدم وجود روند و مدل خطی (درجه یک) و مدل غیرخطی روند (درجه دو) می‌باشد (۶). همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، بهترین مدل رگرسیونی برای تبیین روند در جهت‌های شمال- جنوب و شرق- غرب برای رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل متفاوت است. میزان رس در منطقه دارای یک روند خطی از شمال به جنوب و غرب به شرق می‌باشد. در مورد کربنات کلسیم معادل در جهت شرق- غرب تا اواسط منطقه روندی مشاهده نشد سپس میزان کربنات کلسیم معادل به صورت خطی بر خلاف جهت میزان رس افزایش یافت. در جهت

کشاورزی می‌باشد که عمدتاً کاربری اراضی در منطقه گندم‌زار به صورت دیم است.

واقع مانع تأثیر ویژگی‌های آب و هوایی و توپوگرافی در توزیع ماده آلی خاک شده است. مقدار ماده آلی خاک در منطقه مطالعاتی شدیداً تحت تأثیر فعالیت



شکل ۲- بررسی حضور یا عدم حضور روند سطحی (الف رس، ب ماده آلی و ج کربنات کلسیم معادل).

Figure 2. Investigation of trend surface and without trend surface a) Clay b) Organic matter c) Calcium carbonate equivalent.

جدول ۲- مدل‌های رگرسیونی تبیین‌کننده سطوح روند.

Table 2. Regression models for explaining trend surface.

مدل‌های رگرسیونی Regression models	ویژگی‌های خاک Soil properties
$Z = 25.9 - 9.41X - 78.52Y$ (ME=-0.000008, RMSE=7.428, $R^2=0.35$ )	رس Clay
$Z = 1.54 - 0.76X - 2.13Y - 23.92X^2 - 29.03XY - 21.39Y^2$ (ME=-0.000005, RMSE=0.455, $R^2=0.17$ )	ماده آلی Organic matter
$Z = 16.66 + 70.48X + 46.08Y$ (ME=-0.000007, RMSE=7.13, $R^2=0.22$ )	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent

همه‌جهته استفاده شد. بررسی پیوستگی مکانی ماده آلی در جهات مختلف نشان داد که ساختار مکانی داده‌ها در جهات شمال-شرق (NE) و جنوب-غرب (SW) دارای پیوستگی مکانی یکسان اما

تحلیل تغییرنما در جهات‌های متفاوت نشان داد که تغییرپذیری رس و کربنات کلسیم معادل در جهات‌های مختلف دارای رفتار مشابهی است (شکل ۳). بنابراین، در آنالیزهای زمین آماری از تغییرنما

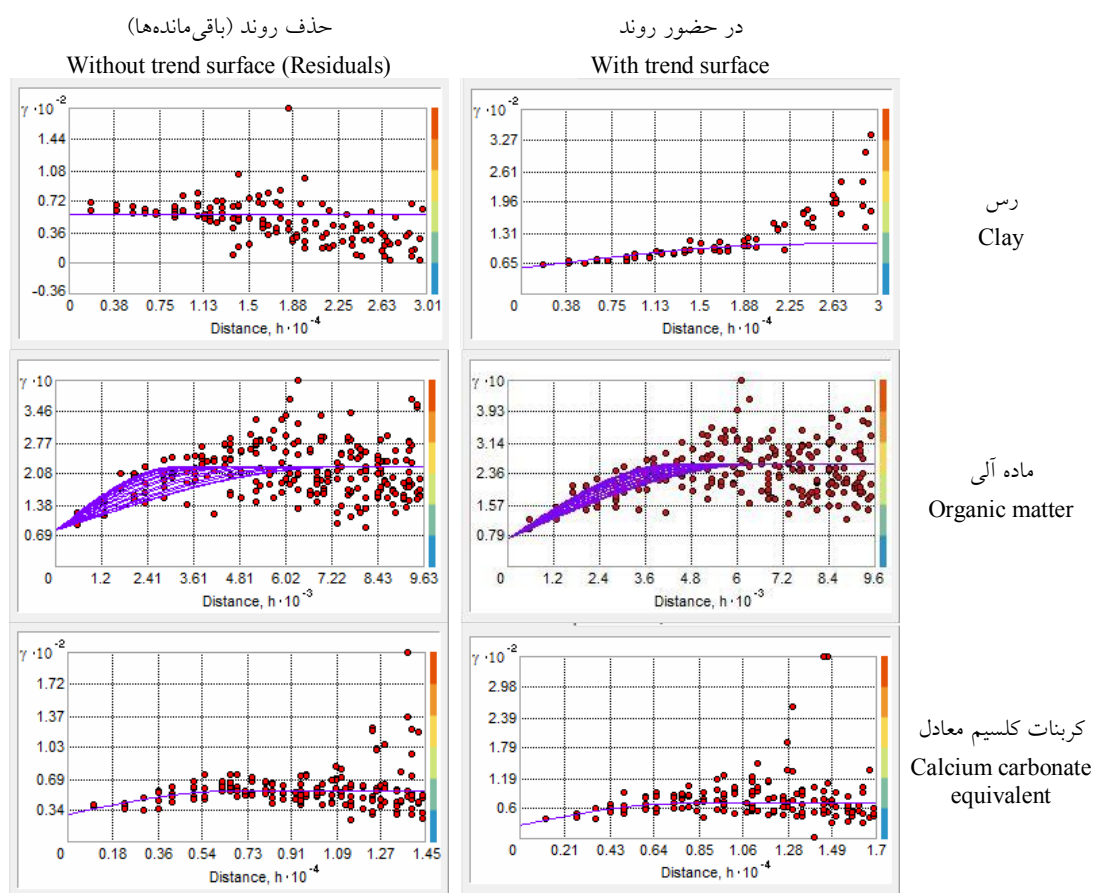


برای باقی مانده‌ها به وسیله کریجینگ است. با حذف روند ساختار مکانی در باقی مانده‌ها برابر صفر و پیوستگی مکانی کاملاً از بین رفته و تغییرنا اثر قطعه‌ای خالص شده است. این نتایج بیانگر آن است که ساختار مکانی رس در منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر عوامل محیطی مانند شرایط آب و هوایی و توپوگرافی می‌باشد. به این صورت که با افزایش ارتفاع میزان بارندگی افزایش و متعاقب آن شرایط برای تشکیل خاک مهیا می‌گردد.

در مورد کربنات کلسیم معادل، مدل‌سازی تغییرنا به ترتیب در شرایط حضور روند و حذف روند نشان داد که اثر قطعه‌ای در دو حالت به ترتیب ۲۶/۸۶ و ۵۵/۷۷ و حد آستانه به ترتیب ۶۸/۹۹ و ۵۵/۰۵ می‌باشد (جدول ۳). تحلیل تغییرنا کربنات کلسیم معادل با حذف روند نشان داد که باقی مانده‌ها دارای پیوستگی مکانی (۴۹/۰٪) می‌باشد. از بین مدل‌های مختلف تغییرنا، مدل کروی بهترین برازش را بر تغییرنمای تجربی ماده آلی داشت (شکل ۳). ساختار مکانی ماده آلی با اثر قطعه‌ای یکسان در شرایط حضور و حذف روند و با حد آستانه متفاوت (به ترتیب ۰/۲۵ و ۰/۲۲) به ترتیب برابر با ۶۸/۰ و ۶۳/۶ درصد است (جدول ۴). افزون بر این، با حذف روند میزان ناهمسانگردی در باقی مانده‌ها افزایش یافته است نسبت  $k$  از ۱/۵۸ به ۲/۴۱ افزایش یافته و امتداد آن از زاویه ۶۶/۱ به ۵۶/۸ درجه منتقل شده است (جدول ۴).

دامنه‌ای متفاوت می‌باشد (شکل ۳). نسبت محور بزرگ به محور کوچک ( $k$ ) ۱/۵۸ است (جدول ۴) که محور بزرگ آن در امتداد زاویه ۶۶/۱ درجه است. بنابراین، تغییرپذیری ماده آلی خاک در منطقه مورد مطالعه، ناهمسانگرد است. همان‌گونه که تغییرنا نشان می‌دهد (شکل ۳) حد آستانه تغییرناهای محاسبه شده در جهات متفاوت برای ماده آلی خاک یکسان و برابر با ۲۰/۲۹٪ بود ولی دامنه آن‌ها متفاوت می‌باشد. بنابراین، ناهمسانگردی ماده آلی خاک از نوع ناهمسانگردی هندسی است (۱۵). علت ناهمسانگردی ماده آلی در منطقه مورد مطالعه مربوط به توزیع ارتفاعی و مدیریت اراضی می‌باشد که در راستای ناهمسانگردی، خاک‌ها تقریباً در یک کلاس ارتفاعی قرار گرفته و از مدیریت یکسان برخوردار می‌باشد.

تغییرنا همسانگرد رس از مدل کروی پیروی می‌نماید (شکل ۳). پارامترهای مدل یاد شده در جدول ۳ ارائه شده است. تغییرنا مقدار رس بعد از رسیدن به حد آستانه دوباره افزایش یافته است که علت این افزایش دوباره، براساس اظهارات الیور و کارول (۲۰۰۴) بیانگر حضور روند است (۱۹). مدل‌سازی تغییرنا متغیر رس به ترتیب در شرایط حضور روند و حذف روند نشان داد که اثر قطعه‌ای در دو حالت تقریباً یکسان (به ترتیب ۵۰/۰۷ و ۵۵/۷۷)، اما حد آستانه متفاوت (به ترتیب ۱۱۵/۶ و ۵۵/۷۷) و ساختار مکانی ۵۶/۷ و صفر درصد است (جدول ۳) که بیانگر ساختار مکانی متوسط در حضور روند است. حذف روند بیانگر مدل‌سازی تغییرنا



شکل ۳- تغییرنمایی ویژگی‌های مورد مطالعه در حضور و عدم حضور روند.

Figure 3. Variogram of study properties in trend surface and without trend surface.

پیش‌بینی شده و نیز خطای استاندارد و P value مربوط به هر یک از آن‌ها ارائه شده است. نتایج تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که اختلاف شیب و عرض از مبدأ خط رگرسیون در تخمین‌گر کریجینگ در شرایط حضور و حذف روند معنی‌دار نیستند ( $P \leq 0/001$ ). این امر می‌تواند ناشی از فعالیت‌های کشاورزی (مانند گندم‌کاری، دامداری و ...)، سوزاندن بقایای گیاهی و تغییر کاربری توسط انسان‌ها و یا ناهنجاری‌های محیطی مانند فرسایش خاک باشد. به‌طوری‌که مدل‌های رگرسیونی تبیین‌کننده روند تنها ۳۵، ۲۸ و ۲۱ درصد از تغییرات به‌ترتیب رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل را در منطقه مطالعاتی توجیه کردند. با این حال، حذف روند موجب شد که آماره  $R^2$  در ویژگی‌های رس، ماده آلی و کربنات

دقت تخمین ویژگی‌های خاک در شرایط حضور و حذف روند در اطراف خط ۱:۱ که در واقع بیانگر رابطه بین مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده متغیرها است ارائه شده است (شکل ۴). میانگین خطای غیر از صفر بیش یا کم برآوردی یک تخمین‌گر را نشان می‌دهد. براساس شاخص‌های ارزیابی (جدول ۵) تخمین‌گر کریجینگ در حضور و حذف روند، در برآورد متغیر رس و کربنات کلسیم معادل کم‌برآوردی و در مورد ماده آلی بیش‌برآوردی نشان داد. ارزیابی تخمین‌گر کریجینگ در شرایط حضور و حذف روند با آماره‌های  $RMSE$  و  $R^2$  (جدول ۵) نشان داد که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در دقت تخمین‌گر وجود ندارد. همچنین، در جدول ۶ شیب و عرض از مبدأ رگرسیون خطی ساده بین متغیر هدف اندازه‌گیری و

کلسیم معادل به ترتیب از ۰/۲۲ به ۰/۲۴، از ۰/۳۷ به ۰/۳۸ و از ۰/۳۰ به ۰/۳۲ جزئی افزایش و آماره RMSE نیز به ترتیب برای ویژگی‌های یاد شده از ۸/۰۳۲ به ۷/۹۸۴، از ۰/۴۰۴ به ۰/۴۰۲ و از ۶/۶۸۰ به ۶/۶۴۶ کاهش یابد. الیور و کارول (۲۰۰۴) نیز گزارش کردند که حذف روند موجب افزایش دقت تخمین می‌گردد (۱۹).

جدول ۳- پارامترهای تغییرنمای ویژگی‌های رس و کربنات کلسیم معادل خاک.

Table 3. Variogram parameters of clay and Calcium carbonate equivalent.

ویژگی خاک Soil properties	روند Trend	مدل Model	دامنه (km) Range (km)	اثر قطعه‌ای Nugget effect	حد آستانه Cill	هم‌بستگی مکانی (%)* Spatial correlation (%)
رس Clay	حضور روند With trend	کروی Spherical	29.7	50.08	115.6	56.7
	حذف روند Without trend	کروی Spherical	23.8	55.77	55.77	0.00
کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent	حضور روند With trend	کروی Spherical	7.73	26.87	68.99	61.1
	حذف روند Without trend	کروی Spherical	6.59	28.06	55.05	49.0

\* نسبت واریانس بخش ساختاری به واریانس حد آستانه [(Sill-Nugget)/Sill]

جدول ۴- پارامترهای تغییرنمای ماده آلی خاک.

Table 4. Variogram parameters of organic matter.

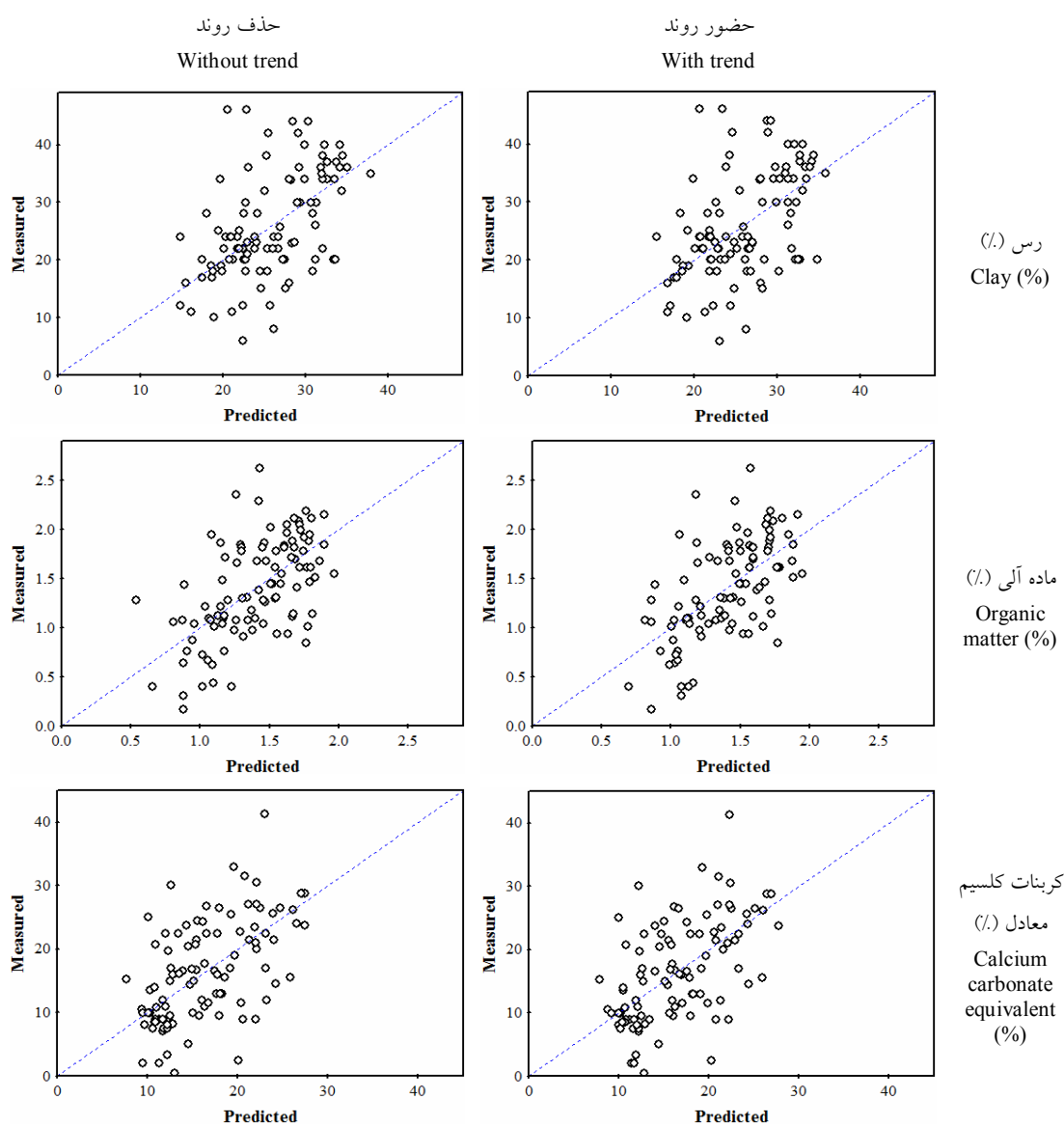
ویژگی خاک Soil properties	روند Trend	مدل Model	دامنه (km) Range (km)		k (حداقل/ حداکثر) Max/Min	امتداد (درجه) Direction (degree)	اثر قطعه‌ای Nugget effect	حد آستانه Cill	هم‌بستگی مکانی (%) Spatial correlation (%)
			حداقل Min	حداکثر Max					
			ماده آلی Organic matter	حضور روند With trend					
حذف روند Without trend	کروی Spherical	3.11		7.49	2.41	56.8	0.08	0.22	63.6

مرتفع مربوط به شرایط مساعد برای تشکیل خاک به لحاظ بارندگی و دما می‌باشد. در مورد کربنات کلسیم معادل همان‌طور که نقشه مربوطه (شکل ۵) نشان می‌دهد. بیش‌ترین مقدار کربنات کلسیم معادل در شمال‌شرق و کم‌ترین مقدار در قسمت جنوب و غرب منطقه که برعکس توزیع ارتفاعی منطقه است. دلیل این امر مربوط به کاربری سابق در مناطق جنوبی که بیش‌تر جنگل و مرتع بوده است می‌باشد. به این

شکل ۵ نقشه پراکنش ویژگی‌های خاک را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. بالاترین مقدار رس در قسمت جنوب و غرب و کم‌ترین مقدار آن در شمال‌شرق منطقه واقع شده است. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود ارتفاع از جنوب منطقه مورد مطالعه به سمت شمال کاهش می‌یابد. نقشه توزیع رس نشان می‌دهد که توزیع رس نیز به سمت غرب و جنوب افزایش می‌یابد. بالا بودن میزان رس در مناطق

ماده آلی زیاد در قسمت غرب و جنوب منطقه نیز مربوط به وجود جنگل پیش از زراعت (قبل از تغییر کاربری اراضی) و ویژگی‌های آب و هوایی مطلوب برای رشد پوشش گیاهی در مرکز و قسمت جنوب و جنوب‌غربی منطقه می‌باشد. دلیل پایین بودن ماده آلی خاک در بخش‌های شمال و به‌ویژه شمال‌غرب منطقه مطالعاتی مربوط به پوشش گیاهی کم و تخریب اراضی تحت کشاورزی دیم می‌باشد.

صورت که، میزان ماده آلی بالا و متعاقب آن نفوذپذیری بالا موجب شده که واکنش خاک در این بخش از منطقه پایین باشد و شرایط را برای انحلال آهک فراهم سازد. توزیع ماده آلی در قسمت‌های مختلف منطقه مطالعاتی متفاوت می‌باشد (شکل ۵). همان‌طور که از روی نقشه ماده آلی قابل مشاهده است میزان ماده آلی در قسمت‌های مرکزی، غرب و جنوب منطقه بالاست.



شکل ۴- رابطه بین مقدار اندازه‌گیری و برآورد شده ویژگی‌های مورد مطالعه در حضور و حذف روند.

Figure 4. Relationship between measured and predicted study properties with and without trend.

جدول ۵- ارزیابی تخمین‌گر کریجینگ در حضور و حذف روند.

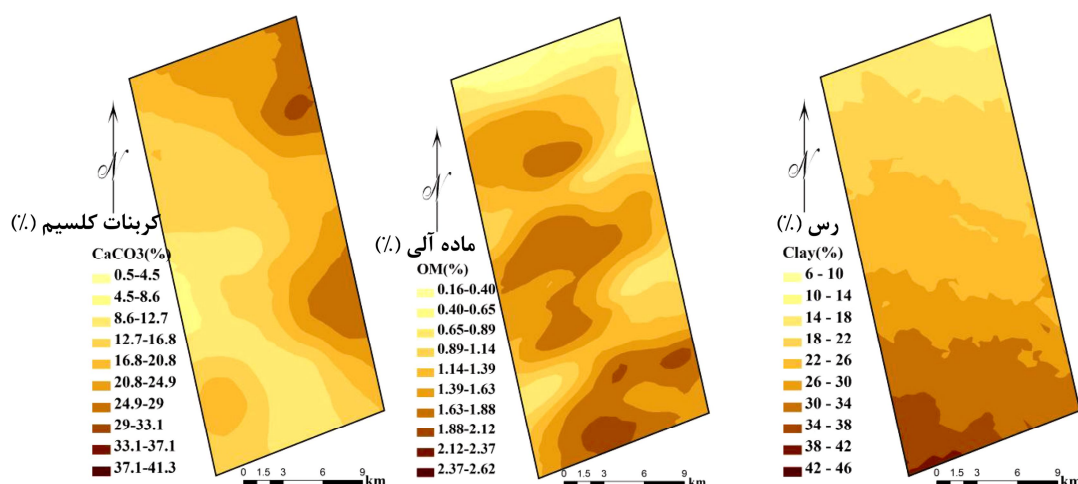
Table 5. Evaluation of kriging estimator with and without trend.

R <sup>2</sup>	RMSE	میان	ME	حداکثر Max	حداقل Min	روند Trend	ویژگی خاک Soil properties
0.22	8.032	0.225	-0.073	18.32	-25.34	حضور With	رس Clay
0.24	7.984	0.200	-0.07	18.08	-25.25	حذف Without	
0.37	0.404	0.029	0.009	0.94	-1.17	حضور With	ماده آلی Organic matter
0.38	0.402	0.022	0.003	0.89	-1.15	حذف Without	
0.30	6.680	-0.0331	-0.036	17.83	-18.96	حضور With	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent
0.32	6.646	-0.239	-0.086	17.48	-18.32	حذف Without	

جدول ۶- ضرایب مدل رگرسیون بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده و خطای استاندارد و P value مطابق با آنها.

Table 6. Coefficient of regression model between measured and predicted and standard error and its P value.

P value	خطای استاندارد Standard error	ضرایب رگرسیون Regression coefficient	روند Trend	متغیر هدف Target variable
0.0000	0.158	شیب Slope	حضور With	رس Clay
0.3562	4.157	عرض از مبدأ Intercept		
0.0000	0.149	شیب Slope	حذف Without	
0.2921	3.948	عرض از مبدأ Intercept		
0.0000	0.197	شیب Slope	حضور With	ماده آلی Organic matter
0.851	0.137	عرض از مبدأ Intercept		
0.0000	0.131	شیب Slope	حذف Without	
0.8172	0.191	عرض از مبدأ Intercept		
0.0000	2.322	شیب Slope	حضور With	کربنات کلسیم معادل Calcium carbonate equivalent
0.4423	0.134	عرض از مبدأ Intercept		
0.0000	0.130	شیب Slope	حذف Without	
0.3631	2.259	عرض از مبدأ Intercept		



شکل ۵- نقشه تخمین رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل خاک (حاصل جمع سطوح روند و پهنه‌بندی باقی‌مانده‌ها با کریجینگ).

Figure 5. Map of clay, organic matter and calcium carbonate equivalent soil (summation of trend surface and zoning residuals with kriging).

بقایای گیاهی و تغییر کاربری توسط انسان‌ها و یا ناهنجاری‌های محیطی مانند فرسایش خاک باشد. به‌طوری‌که مدل‌های رگرسیونی تبیین‌کننده روند (جدول ۲) نتوانستند تغییرات رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل را در منطقه به خوبی توجیه کنند. با این حال، با حذف روند مقدار  $R^2$  در ویژگی‌های رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل به ترتیب ۹/۱، ۲/۷ و ۶/۶ درصد افزایش یافت.

بررسی پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک نشان داد که توزیع رس به‌نحوی است که بیش‌ترین پراکنش این ویژگی در نیمه غربی منطقه می‌باشد. میزان کربنات کلسیم معادل بر خلاف رس در نیمه شرقی منطقه بیش‌تر از نیمه غربی منطقه بود. پراکنش ماده آلی نیز در قسمت‌های مختلف منطقه متفاوت بود به‌طوری‌که بیش‌ترین مقدار آن در قسمت مرکزی و جنوب منطقه واقع شده است.

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش، اعداد پرت در مجموعه داده‌ها و به‌صورت موضعی و نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف در متغیرهای رس، ماده آلی و کربنات کلسیم معادل بررسی شد. سطوح روند با برازش مناسب‌ترین مدل‌های رگرسیونی تجزیه و تحلیل گردید. تحلیل تغییرات در جهت‌های متفاوت نشان داد که تغییرپذیری رس و کربنات کلسیم معادل در جهت‌های مختلف همسانگرد و میزان ماده آلی ناهمسانگرد است. بررسی اثر سطوح روند بر تغییرات نشان داد که اثر قطعه‌ای در حضور و عدم حضور روند تقریباً مشابه بوده، اما حد آستانه متفاوتی حاصل شد. تخمین ویژگی‌های خاک (حاصل جمع روند و کریجینگ باقی‌مانده‌ها) نشان داد که تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای در دقت تخمین‌گر کریجینگ در شرایط حضور و حذف روند وجود ندارد. این امر می‌تواند ناشی از فعالیت‌های کشاورزی، سوزاندن

## منابع

1. Allison, L.E., and Moodie, C.D. 1965. Carbonate, P 1379-1400, In: C.A. Black et al. (Eds.), Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical Methods. 2<sup>nd</sup> ed. Agron. Monogr. 9. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
2. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. Soil Sci. Soc. Amer. J. 58: 1501-1511.
3. Chiang, L.H., Pell, R.J., and Seasholtz, M.B. 2003. Exploring process data with the use of robust outlier detection algorithms. J. Proc. Con. 13: 437-449.
4. Daempanah, R., Haghnia, G.H., Alizadeh, A., and Karimi, A. 2011. Mapping Salinity and Sodicity of Surface Soil by Remote Sensing and Geostatistic Methods in South Side of MahValat County. J. Water Soil. 25: 30. 498-508. (In Persian)
5. Dayani, M., Mohammadi, J., and Naderi, M. 2009. Geostatistical Analysis of Pb, Zn and Cd concentration in soil of Sepahanshahr suburb (south of Esfahan). J. Water Soil. 23: 4. 67-76. (In Persian)
6. ESRI. 2002. Spatial Analyst Help Documentation. ArcGIS Users' Guide. ESRI Inc., Redlands, CA. 563p.
7. Fox, J. 2008. Applied Regression Analysis and Generalized Linear Models, 2<sup>nd</sup> edn. Sage Publications, CA.
8. Gee, G.H., and Bauder, J.W. 1986. Particle size analysis, P 383-411. In: A. Klute (Ed.), Methods of soil Analysis. Physical Properties. SSSA, Madison, WI.
9. Huang, X., Senthilkumar, S., Kravchenko, A., Thelen, K., and Qi, J. 2007. Total carbon mapping in glacial till soils using near-infrared spectroscopy, Landsat imagery and topographical information. Geoderma. 141: 1-2. 34-42.
10. Khalil Moghadam, B., and Ghorbani Dashtaki, Sh. 2012. Comparison of geostatistics, PTFs, SSPFs methods and their combination for estimating soil surface shear strength. J. Water Soil. 26: 1. 127-128. (In Persian)
11. Khodakarami, L., Safianian, A., Mir ghafari, N., Afioni, M., and Golshahi, A. 2011. Mapping of microelement concentration of chromium, cobalt and nickel in soils of sub-catchment three of Hamadan using GIS and geostatistic. J. Sci. Technol. Agric. Natur. Resou. Water and Soil Sci. 15: 58. 243-254. (In Persian)
12. Liao, K., Shaohui, X.U., Jichun, W.U., and Qing, Z.H.U. 2013. Spatial estimation of surface soil texture using remote sensing data. Soil Science and Plant Nutrition. 59: 488-500.
13. Makabe, S., Kakuda, K., Sasaki, Y., Ando, T., Fujii, H., and Ando, H. 2009. Relationship between mineral composition or soil texture and available silicon in alluvial paddy soils on the Shounai Plain, Japan. Soil Science and Plant Nutrition. 55: 300-308.
14. Meersmans, J., De Ridder, F., Canters, F., Baets, S.D., and Molle, M.V. 2008. A multiple regression approach to assess the spatial distribution of Soil Organic Carbon (SOC) at the regional scale (Flanders, Belgium). Geoderma. 143: 1-2. 1-13.
15. Mohammadi, J. 2006. Pedometrics (Vol 2: Spatial statistic). Pelk Press. Tehran. (In Persian)
16. Mousavifard, S.M., Momtaz, H.R., and Khodaverdiloo, H. 2013. Efficiency of some geostatistical estimators for interpolation and mapping some soil quality properties. J. Soil Water Resour. Cons. 2: 3. 57-71. (In Persian)
17. Noorigheidari, M.H. 2010. Identify of outlier data in overflow regional to method of principle component. National Congress of Civil engineering. (In Persian)
18. Odland, J. 1988. Spatial autocorrelation. In: G.I. Thrall (Ed.), Sage University Scientific Geography Series no. 9. Sage Publications, Beverly Hills, 87p.
19. Oliver, M.A., and Carroll, Z.L. 2004. Description of spatial variation in soil to optimize cereal management. Project Report 330. Home-Grown Cereals Authority, London.
20. Ostovari, Y., Beigi Harchegani, H., and Davoodian, A.R. 2012. Spatial variation of nitrate in the Lordegan aquifer. Water and Irrigation Management. 2: 1. 55-67. (In Persian)

21. Pekey, H. 2006. The distribution and sources of heavy metals in Izmit Bay surface sediments affected by a polluted stream. *Marine Pollut. Bull.* 52: 1197-1208.
22. Santra, Y., Chopra, U.K., and Chakraborty, D. 2008. Spatial variability of soil properties and its application in predicting surface map of hydraulic parameters in agriculture farm. *Current Science.* 95: 473-482.
23. Shin, N.J., Cailes, J., and Peneffen, M. 2000. Determination of spatial continuity of soil lead levels in an urban residential neighborhood. *Environmental Research.* 82: 46-52.
24. Walkley, A., and Black, I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid in soil analysis. 1. Experimental. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 79: 459-465.
25. Webster, R., and Oliver, M.A. 2007. *Geostatistics for environmental scientists.* John Wiley and Sons, Ltd.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(1), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Trend surface analysis and its effects on variogram modeling and mapping of some soil properties**

**S. Mirzaee<sup>1</sup>, \*Sh. Ghorbani Dashtaki<sup>2</sup>, J. Mohammadi<sup>2</sup>,  
H. Asadi<sup>3</sup> and F. Asadzadeh<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Soil Science, Shahrekord University, <sup>3</sup>Associate Prof., Dept. of Soil Science, Guilan University, <sup>4</sup>Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Urmia University

Received: 03/10/2015; Accepted: 09/13/2015

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Accuracy of spatial estimation of soil properties such as clay, organic matter and calcium carbonate equivalent is very important in plant nutrition and environmental planning. The most important step before statistical analysis and using geostatistical estimators is data check. In addition to investigation of outlier data and data distribution, another important action in geostatistical studies is trend surface analysis. Analyzing trend surface can evaluate the role of factors such as stone kin, climate, topography and generally regional anomalies. The objective of this study was trend-surface analysis and its effects on variogram modeling and mapping of clay, organic matter and calcium carbonate equivalent.

**Materials and Methods:** For this purpose, 100 surface soil samples in 0-15 cm depth were selected randomly based on different classes area slope from 41353 ha area in Selin plain farmland located in Kaleibar region, East-Azerbaijan. Soil properties such as clay, calcium carbonate equivalent and organic matter were measured by hydrometer, return titration and wet oxidation method, respectively. For analyzing trend surface used multiple regression models which its independent variables was geographical coordinate and dependent variable was soil properties. For zoning clay, organic matter and calcium carbonate equivalent and residuals of removing trend ordinary kriging was used. The effect of removing trend surface in variogram modeling and kriging estimating were evaluated by cross-validation method with indexes mean error (ME), root mean square error (RMSE) and determination coefficient ( $R^2$ ).

**Results:** Trend surface analysis showed that the best regression models for trend determination of clay, calcium carbonate equivalent and organic matter were first order, first order and quadratic, respectively. Removing the detected trend led to decrease in sill but the nugget effect did not change. However, no significant difference was observed between accuracy of kriging estimator in presence and removal of trend. This can be attributed to both abnormal manner of environment and activations of human. So that, the regression models of the trends were 35, 18 and 21% of clay, organic matter and calcium carbonate equivalent variations, respectively. However, removing the detected trend led to increase 9.1, 2.7 and 6.6% of  $R^2$  for clay, organic matter and calcium carbonate equivalent, respectively.

**Conclusion:** Generally, investigation of trend surface is recommended in soil studies dealing with spatial data, because the trend depends on the location and conditions of the study area as well as the source of the creating trend.

**Keywords:** Surface trend, Nugget effect, Kriging

---

\* Corresponding Author; Email: ghorbani-sh@agr.sku.ac.ir