

## ارزیابی سه روش زمین‌آماری در تخمین برخی از خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک و تأثیر تراکم نمونه‌برداری بر پارامترهای تغییرنا

چنگیز سعدی‌پور<sup>1</sup>، محسن رودپیما، علیداد کرمی، ناصر دواتگر و سیده مریم صلاح‌الدین

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه شاهد؛ [chsadipoor@gmail.com](mailto:chsadipoor@gmail.com)

استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه شاهد؛ [roodpeyma@yahoo.co.uk](mailto:roodpeyma@yahoo.co.uk)

استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز.

ایران؛ [alidad\\_karami@yahoo.com](mailto:alidad_karami@yahoo.com)

استادیار موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران؛ [n\\_davatgar@yahoo.com](mailto:n_davatgar@yahoo.com)

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک دانشگاه شاهد؛ [m.salahedin88@gmail.com](mailto:m.salahedin88@gmail.com)

دریافت: 94/11/3 و پذیرش: 95/9/17

### چکیده

هدف از این پژوهش مقایسه دقت سه روش زمین‌آماری کریجینگ، کوکریجینگ و وزن دادن عکس فاصله برای تخمین برخی از خصوصیات خاک‌های دشت لاغر و تعیین تأثیر تراکم نمونه‌برداری بر پارامترهای تغییرنا بود. این بررسی در دشت لاغر واقع در جنوب استان فارس به وسعت 12986 هکتار انجام شد. درصد اندازه ذرات خاک (شن، سیلت و رس)، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد گچ، هدایت هیدرولیکی اشباع و پراکنش رنگین دانه های خاک اندازه‌گیری و با توجه به مناسب‌ترین مدل درون‌یابی بررسی و پهنه‌بندی شد. سپس، روش‌های میان‌یابی ارزیابی و درون‌یاب مناسب انتخاب شد. نتایج نشان داد که تخمین‌گر کریجینگ برای درون‌یابی پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، رنگین دانه خاک و درصد گچ بهتر و خطای کمتری نسبت به روش وزن دادن عکس فاصله و کوکریجینگ دارد. برای درون‌یابی پارامترهای درصد شن، سیلت و رس روش وزن دادن عکس فاصله به دو روش دیگر ارجحیت داشت و برای درون‌یابی درصد کربنات کلسیم معادل روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ و روش وزن دادن عکس فاصله نتیجه بهتری را ارائه داد. تأثیر تراکم نمونه‌برداری بر پارامترهای تغییرنا نیز مورد بررسی قرار گرفت. در سطح اول، همه‌ی نمونه‌ها (80 نمونه) و در سطح دوم 40 نمونه به طور تصادفی انتخاب و برای تعیین تغییرنا و درون‌یابی در نظر گرفته شدند. با توجه به نتایج به دست آمده تغییرات منظمی در مقادیر پارامترهای تغییرنا مشاهده نگردید اما می‌توان افزایش اثر قطعه‌ای را در اکثر خصوصیات مورد بررسی مشاهده کرد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، کریجینگ، کوکریجینگ، وزن دادن عکس فاصله

<sup>1</sup>نویسنده مسئول، آدرس: تهران، منطقه 19، اسماعیل آباد، خیابان نرگس، خوابگاه امام حسین

## مقدمه

به تغییرات مشخص و تدریجی ویژگی‌های خاک که تابعی از عوامل پدوژنیک، فیزیوگرافی، ژئومورفولوژی و برهم‌کنش عوامل خاکساز است تغییرات ساختاری گویند. علاوه بر آن تغییراتی در نتیجه مدیریت و کاربری اراضی هم در خاک‌ها اتفاق می‌افتند، این‌گونه تغییرات زیاد یک ویژگی در دو نقطه مجاور هم را تغییرات غیرساختاری یا تصادفی می‌گویند. داشتن اطلاعاتی از این تغییرات در خاک برای مدیریت بهتر و امنیت تولید غذا اهمیت داشته و در کاهش خسارت به محیط زیست نیز مؤثر است (فروغی‌فر و همکاران، 1390). ویژگی‌های خاک دارای تغییرات مکانی و زمانی از مقیاس‌های کوچک تا بزرگ می‌باشند که تحت تأثیر ویژگی‌های ذاتی (نظیر فاکتورهای متأثر از مواد مادری خاک) و ویژگی‌های غیر ذاتی (مانند عملیات مدیریتی خاک، کوددهی و تناوب زراعی) قرار می‌گیرد (کوئین و ژانگ، 2002؛ یمفک و همکاران، 2005). برای درک بهتر تأثیر عوامل مدیریتی و آلودگی و دستیابی به عملیات زراعی مناسب نیاز به کمی‌سازی تغییرات ویژگی‌های خاک است (سون و همکاران، 2003). بارانی و همکاران (1392) در مطالعه‌ای که با هدف تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی خاک در منطقه زیدون خوزستان انجام دادند، در تعداد 200 نقطه با شبکه‌بندی منظم به فواصل 1x1 کیلومتری هدایت هیدرولیکی را با روش‌های چاهک و چاهک معکوس اندازه‌گیری نمودند. در این پژوهش از روش‌های زمین‌آماری کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی و کریجینگ عمومی استفاده شده که از میان آنها کریجینگ ساده دقت برآورد بالاتری در منطقه‌ی مورد مطالعه داشته و از میان مدل‌های واریوگرام، مدل کروی انتخاب گردیده است.

محمدی (1385 و 1998) با استفاده از تخمین-گرهای زمین‌آماری، پراکنش مکانی برخی از ویژگی‌های خاک سطحی شامل قابلیت هدایت الکتریکی، درصد رطوبت اشباع، نسبت جذب سدیم و درصد آهک خاک را با روش‌های کوکریجینگ، کریجینگ و رگرسیون خطی بررسی نمودند. نتایج پژوهش‌های مزبور نشان داده که تخمین‌گرهای زمین‌آماری نسبت به روابط همبستگی خطی از برتری نسبی برخوردار بوده و روش کریجینگ به عنوان روش برتر برای برآورد داده‌های مکانی پارامترهای خاک معرفی شده و برآورد به روش کریجینگ با واقعیت‌های منطقه مطابقت بیشتری داشته است. در آزمایشی که توسط ولتز و گولارد (1994) جهت ارزیابی سه روش میان‌یابی وزن دادن عکس فاصله، کریجینگ

معمولی و کوکریجینگ برای برآورد منحنی رطوبتی خاک انجام شده نتایج نشان داده که روش کریجینگ و کوکریجینگ بهتر از روش وزن دادن عکس فاصله بوده است. جلالی و همکاران (1392) در مقایسه روش‌های زمین‌آماری با روش Knn (نزدیک‌ترین همسایه) برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بر روی خاک‌های اطراف بجنورد به این نتیجه رسیدند که روش غیرپارامتریک Knn نسبت به سایر روش‌ها از دقت قابل قبولی برخوردار بوده و پس از آن روش‌های کوکریجینگ و کریجینگ ساده، واجد بیشترین دقت در تخمین مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک بوده‌اند. کرمی و همکاران (1391) در مطالعه‌ای که بر روی پراکنش مکانی پارامترهای نفوذ آب به خاک در مقیاس ناحیه‌ای بر روی 4000 هکتار از اراضی دشت کوار واقع در شرق شیراز داشتند با اندازه‌گیری پارامترهای جرم مخصوص ظاهری (BD)، مقدار رطوبت اولیه خاک، درصد شن، سیلت و رس خاک، مقدار کربن آلی، درصد رطوبت اشباع خاک، EC و pH خاک و با میان‌یابی پارامترهای نفوذ با روش‌های کریجینگ، وزن دادن عکس فاصله و کوکریجینگ، با مدل‌های خطی، نمایی، گوسی و کروی با مقایسه روش‌های درون‌یابی به این نتیجه رسیدند که روش کوکریجینگ در مقایسه با دیگر روش‌های درون‌یابی (وزن دادن عکس فاصله و کریجینگ) کارایی بیشتری در برآورد مشخصه-های نفوذ (توانایی جذب و انتقال) دارد. محمدی (1997) تغییرات مکانی کادمیوم را در شمال شرقی بلژیک مورد بررسی قرار داده است.

نتایج این مطالعه نشان داده که میانگین کادمیوم اندازه‌گیری شده نسبتاً زیاد بوده و در بررسی داده‌های کادمیوم یک روند منطقه‌ای مشاهده گردیده و آن بیان‌گر رابطه بین غلظت کادمیوم تا نزدیک‌ترین کارخانه بوده، علاوه بر آن تغییرات مکانی کادمیوم دارای ناهمسانگردی بوده که ناشی از اثرات باد گزارش شده، و به منظور تهیه ی نقشه‌ی پراکنش کادمیوم مدل‌های روند منطقه‌ای برازش داده شده بر داده‌های کادمیوم مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج به دست آمده حاکی از غلظت زیاد کادمیوم در منطقه بوده است. حسینی و همکاران (1997) تخمین‌گرهای مختلف را برای درون‌یابی مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در جنوب شرقی ایران مورد بررسی قرار داده‌اند. عالمی و همکاران (1988) از تخمین-گرهای کریجینگ و کوکریجینگ برای درون‌یابی خصوصیات خاک استفاده نموده‌اند.

در پژوهشی که توسط اصغری و همکاران (1393) به منظور بررسی تغییرات مکانی چند شاخص

هیدرومتری (جی و بادر، 1986)، پراکنش لکه‌های رنگی خاک، درصد گچ و درصد کربنات کلسیم معادل در گره-های شبکه اندازه‌گیری شد.

تراکم و آرایش نقاط مشاهده‌ای و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، بر حسب شرایط و خصوصیات خاک‌های منطقه و روند رسوب‌گذاری آن متفاوت بود و در هر حال، به گونه‌ای انتخاب شد که با استفاده از نتیجه‌های به دست آمده بتوان ارتباط قابل قبولی بین خصوصیات لایه‌ها و مشخصات هیدرودینامیک خاک به دست آورد. از GPS دستی برای پیاده کردن نقاط بر روی زمین استفاده گردید. شدت نفوذ به علت تغییرات مکانی خواص فیزیکی خاک مؤثر بر آن، می‌تواند از مقادیر خیلی کم تا خیلی زیاد تغییر کند (جنسن و همکاران، 1987). برای تخمین نفوذ آب به خاک دقت مدل‌های مختلف در مکان‌های مختلف متفاوت می‌باشد. به این علت چندین مدل برای تعیین شدت نفوذ پیشنهاد شده است. از رایج‌ترین این مدل‌ها، مدل تجربی کوستیاکوف (1932) و مدل فیزیکی فیلیپ (1957) استفاده شد. آماره-های توصیفی کمینه، بیشینه، میانگین، میانه، چولگی، کشیدگی، انحراف معیار، ضریب تغییرات و ضریب همبستگی خطی ( $r$ ) بین متغیرها با استفاده از نرم‌افزار SPSS مشخص گردید. موقعیت نقاط نمونه‌برداری در دشت لاغر در شکل 1 ارائه شده است.

#### روش‌های درون‌یابی مکانی

روش‌های به کار برده شده برای تخمین متغیرها در نواحی نمونه‌برداری نشده و پهنه‌بندی شامل کریجینگ، کوکریجینگ و وزن دادن عکس فاصله بودند. کریجینگ بر منطق میانگین متحرک وزنی استوار و می‌توان گفت که بهترین تخمین‌گر نارایب است. یکی از حسن‌های اصلی کریجینگ این است که خطای تخمین و دامنه اطمینان آن تخمین نیز محاسبه می‌شود (تئودوسیو و لاتیپولاس، 2006).

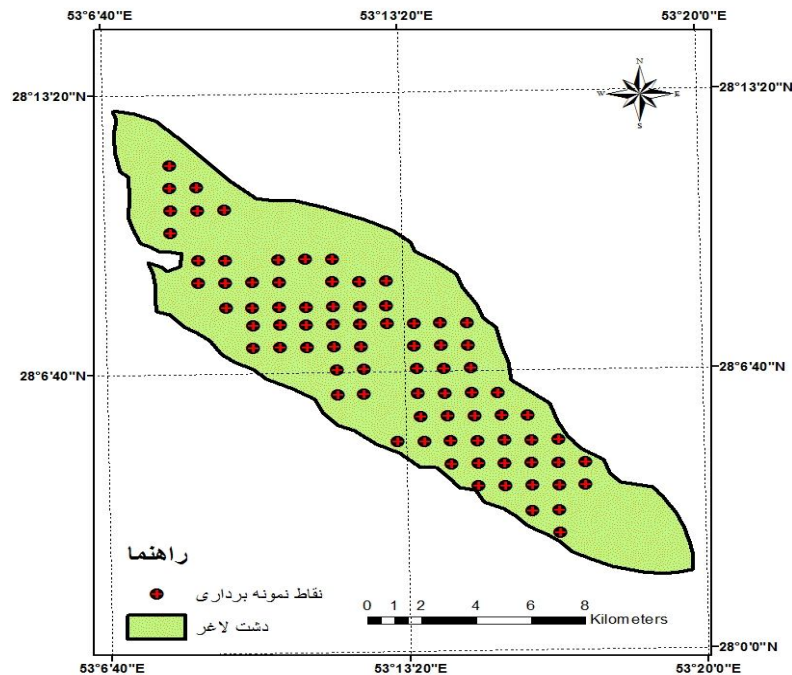
وزن دادن عکس فاصله از روش‌های موجود در محدوده آمار خطی است که کاربرد زیادی در محاسبات مسائل متنوع در علوم مربوط به منابع آب و خاک دارد. کوکریجینگ یک روش زمین‌آماري چند متغیره است. کاربرد این روش وقتی است که داده کافی برای متغیر اصلی به علت سخت یا پرهزینه بودن اندازه‌گیری متغیر وجود ندارد. در صورتی که بین متغیر اصلی و متغیر دیگری (متغیر همراه که به آسانی و با تعداد نمونه بیشتری اندازه‌گیری شده است) همبستگی داشته باشند، می‌توان از کوکریجینگ برای تخمین متغیر اصلی استفاده کرد.

مهم کیفیت فیزیکی خاک شامل کربن آلی (OC)، شن، سیلت، رس، میانگین وزنی قطر خاکدانه‌ها (MWD)، هدایت هیدرولیکی اشباع (Ks)، رطوبت اشباع ( $\theta_s$ ) و جرم مخصوص ظاهری در سه کاربری مجاور هم شامل جنگلی، زراعی و مرتعی واقع در منطقه‌ی فندقلوی اردبیل بررسی شده است. در مجموع 100 نمونه خاک از عمق 0 تا 15 سانتی‌متری به صورت شبکه‌ی منظم 100 در 100 متر برداشته شده است. ابتدا دقت روش‌های زمین‌آماري کریجینگ و وزن دادن عکس فاصله (IDW) بررسی و در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی این خصوصیات در سطح منطقه رسم شده است. بر اساس معیار آماری ضریب تبیین ( $R^2$ ) روش کریجینگ در تخمین رس، شن و سیلت و روش IDW در تخمین OC، MWD، Ks،  $\theta_s$  و BD بیشترین دقت را داشته است.

در مطالعه‌ای که توسط دلبری و جهانی (1393) با هدف بررسی تغییرات مکانی و پهنه‌بندی هدایت الکتریکی (EC)، pH و درصد سدیم قابل تبادل (ESP) بر روی 152 نمونه خاک در منطقه چات در استان گلستان صورت گرفته، از روش‌های زمین‌آماري کریجینگ معمولی، لاگ کریجینگ، کوکریجینگ و روش وزن دادن عکس فاصله با توان‌های 1 تا 3 جهت تخمین پارامترهای مورد نظر استفاده گردیده است. نتایج آنالیزهای زمین‌آماري نشان داده که تمامی پارامترها از همبستگی مکانی متوسطی در سطح منطقه برخوردار بوده‌اند. بهترین مدل ساختار مکانی برای EC مدل نمایی و برای ESP و pH مدل کروی بوده است. بر اساس نتایج حاصل از اعتبارسنجی مقاطع و با توجه به توانایی کریجینگ در ارائه میزان عدم قطعیت مقادیر برآورد شده، در مجموع مناسب‌ترین روش تخمین برای EC، pH و ESP خاک با میانگین مطلق خطاهای به ترتیب 0/183، 8/886 و 13/19 روش کریجینگ معمولی تعیین شده است.

#### مواد و روش‌ها

دشت لاغر به مساحت تقریبی 12986 هکتار واقع در شهرستان خنج از توابع استان فارس می‌باشد که در محدوده‌ی جغرافیایی 28 درجه و 1 دقیقه و 2 ثانیه تا 28 درجه و 12 دقیقه و 54 ثانیه عرض شمالی و 53 درجه و 4 دقیقه و 44 ثانیه تا 53 درجه و 21 دقیقه و 50 ثانیه طول شرقی واقع شده است. در این پژوهش ابتدا نقشه‌ی 1:20000 دشت لاغر با درج در محیط ArcGIS رقومی‌سازی و به فواصل 1x1 کیلومتر شبکه‌بندی و موقعیت نقاط بر روی نقشه مشخص گردید. ویژگی‌های خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع به روش چاهک، فراوانی نسبی ذرات خاک (شن، سیلت و رس) به روش



شکل 1- موقعیت نقاط نمونه‌برداری در دشت لاغر

اثر قطعه‌ای انجام گردید. در روش درونیابی کریجینگ از مولفه‌های تابع همبستگی نیم‌تغییرنا برای تعیین وزن متغیرها ( $\lambda_i$ ) در پیش‌بینی متغیر  $Z$  در نقاط نمونه‌برداری نشده بر پایه داده‌های موجود در موقعیت‌های معلوم به شرح زیر استفاده شد.

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z_{x_i} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

که در آن  $Z(x_0)$ : مقدار تخمین متغیر  $Z$  در نقطه نمونه‌برداری نشده  $X_0$ ;  $Z(x_i)$ : مقدار مشاهداتی متغیر  $Z$  در نقطه‌های نمونه‌برداری  $X_i$  و  $\lambda_i$ : وزن تعلق گرفته به هر مشاهده در نقطه  $X_i$  است.

برازش مدل‌های نیم‌تغییرنا با استفاده از نرم افزار GS+5.1 انجام گردید. برای داده‌هایی که نرمال نبودند با تبدیل لگاریتمی نرمال شدند و میان‌یابی با داده‌های واقعی انجام گردید. پهنه‌بندی متغیرها با استفاده از بهترین میان‌یاب در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.2 انجام شد.

روش وزن دادن عکس فاصله<sup>2</sup> (IDW)

IDW وزن‌دهی بر پایه عکس فاصله تا نقطه تخمین است. به عبارت دیگر، وزن‌دهی بیشتر به نزدیک-

### کریجینگ نقطه‌ای<sup>1</sup> (pk)

بر پایه نتایج آمار توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری شده‌ای که توزیع فراوانی نرمال نداشتند با تبدیل داده نرمال شدند و سپس الگوی تغییرات مکانی و درجه پیوستگی مکانی متغیرها با استفاده از نیم‌تغییرنا  $[\gamma(h)]$  ارزیابی گردید. در ابتدا نیم‌تغییرنمای تجربی محاسبه شد (جورنیل و هوئیچبرگز، 1978).

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

که در آن  $\gamma(h)$  مقدار نیم‌تغییرنا در فاصله  $h$  جفت نمونه به کار رفته در محاسبه  $\gamma(h)$  به ازای هر فاصله‌ای مانند  $h$  است.  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i + h)$  به ترتیب مقادیر متغیر در موقعیت‌های نمونه‌برداری  $X_i$  و  $X_i+h$  است. پس از به دست آوردن نیم‌تغییرنمای تجربی مناسب-ترین مدل از بین مدل‌های کروی، گوسی، نمایی، خطی و خطی سقف‌دار بر نیم‌تغییرنمای تجربی برازش و اثر قطعه‌ای و دیگر ویژگی‌های زمین‌آماري تعیین گردید (لاخانکر و همکاران، 2010). ارزیابی بهترین مدل برازش داده شده بر نیم‌تغییرنا با استفاده از بیشترین ضریب تبیین و دامنه تأثیر و کمترین مجموع مربعات باقیمانده (RSS) و

<sup>2</sup> Inverse distance weighting (IDW)

<sup>1</sup> Point kriging (PK)

### ارزیابی اعتبار روش‌های درون‌یابی

برای اعتبارسنجی روش‌های درون‌یابی و صحت برآوردها از روش اعتبارسنجی جک نایف<sup>1</sup> استفاده شد. در این روش یک نقطه موقتاً حذف و با اعمال درون‌یابی روش مورد نظر، برای نقطه فوق مقداری برآورد گردید، سپس مقدار حذف شده به جای خود برگردانده شد و برای دیگر نقاط به صورت مجزا این برآورد انجام شد (محمدی، 1385). برای ارزیابی اعتبار برآوردها و درون‌یاب‌ها از ضریب همبستگی و ضریب تبیین برای نکویی برازش و بیان هم‌راستایی استفاده گردید. برای ارزیابی برآوردها و انتخاب روش مناسب درون‌یابی از آماره‌های میانگین اریب خطاها (MBE)<sup>2</sup>، میانگین مطلق خطا (MAE)<sup>3</sup>، میانگین مربعات خطاها (MSE)<sup>4</sup> و ریشه میانگین مربعات خطاها (RMSE)<sup>5</sup> به شرح زیر استفاده گردید:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{(x_i)}^* - Z_{(x_i)}) \quad (7)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_{(x_i)}^* - Z_{(x_i)}| \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z_{(x_i)}^* - Z_{(x_i)}]^2 \quad (9)$$

$$(10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z_{(x_i)}^* - Z_{(x_i)})^2}$$

در این روابط:  $Z_{(x_i)}^*$  مقدار برآورد شده متغیر،  $Z_{(x_i)}$  مقدار اندازه‌گیری شده متغیر و  $n$  تعداد نمونه‌ها است. آماره‌ی MBE میزان اریبی را نشان می‌دهد و در شرایط ایده‌آل باید مساوی صفر باشد. مقادیر مثبت یا منفی نشان دهنده بیش‌برآوردی<sup>6</sup> و یا کم‌برآوردی<sup>7</sup> نسبت به مقدار واقعی است. آماره‌های MAE، MSE و RMSE معیاری از صحت برآورد هستند. هر روشی که از کوچکترین مقدار این آماره‌ها برخوردار باشد از توانایی بیشتری در صحت برآوردها برخوردار است (یزدانی و همکاران، 1385).

### نتایج و بحث

#### آمار توصیفی

توصیف‌های آماری داده‌ها شامل میانگین، واریانس، مقادیر بیشینه و کمینه، کشیدگی، چولگی، و

ترین نمونه‌ها و اختصاص وزن کمتر به نمونه‌هایی است که در فاصله بیشتر قرار گرفته‌اند. در این روش مقدار متغیر در نقاط نمونه‌برداری نشده از رابطه زیر مشخص شد (محمدی، 1385):

$$(4)$$

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^m}}$$

که در آن  $Z$  مقدار برآورد متغیر در نقطه نمونه برداری نشده،  $d_i$  فاصله نقطه نمونه برداری شده تا نقطه تخمین،  $N$  تعداد کل نمونه‌ها و  $m$  پارامتر توان فاصله است که تغییرات آن سبب قابلیت انعطاف روش IDW می‌شود. از کوکریجینگ نیز به عنوان تابع نیم تغییرنمای دوجانبه تجربی  $\gamma_{z_i}(h)$  برای توصیف همبستگی مکانی به شرح زیر استفاده شد (مکبرتنی و وبستر، 1983):

$$(5)$$

$$\gamma_{(i,j)} = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{ [Z_i(X_{(k+h)}) - Z_i(X_k)] [Z_j(X_{(k+h)}) - Z_j(X_k)] \}$$

که در آن  $N(h)$  تعداد جفت نمونه به کار رفته در محاسبه،  $Z_i$  و  $Z_j$  به ترتیب مقدار متغیرهای اصلی و همراه در موقعیت‌های مکانی  $X_k$  و  $X_{(k+h)}$  هستند. پس از محاسبه نیم تغییرنمای دوجانبه، مدل‌های نیم تغییرنما بر آن برازش داده شد. از مولفه‌های نیم تغییرنما برای برآورد مقدار متغیر اصلی در نقاط نمونه برداری نشده به شرح زیر استفاده شد (محمدی، 1385).

$$\hat{Z}_u(x_0) = \sum_{v=1}^V \sum_{i=1}^I \lambda_{iv} Z(x_{iv}) \quad (6)$$

که در آن  $U$  متغیر اصلی،  $V$  متغیر همراه،  $\lambda$  وزن تعلق گرفته به هر مشاهده برای متغیر همراه  $Z(x_{iv})$  مقدار متغیر همراه اندازه‌گیری شده در موقعیت  $x_i$  و  $\hat{Z}_u(x_0)$  مقدار متغیر اصلی برآورد شده در موقعیت نمونه برداری نشده  $x_0$  است. تعداد نمونه‌ها برای همه متغیرهای اصلی و همراه یکسان بود. در این شرایط مهم ترین علت برای به کارگیری روش کوکریجینگ می‌تواند تلاش در جهت دخالت دادن ارتباط مکانی بین متغیرهای اصلی و همراه باشد (محمدی، 1378).

<sup>1</sup> Jack-nife

<sup>2</sup> Mean bias error

<sup>3</sup> Mean absolute error

<sup>4</sup> Mean square error

<sup>5</sup> Root mean squared error

<sup>6</sup> Over estimate

<sup>7</sup> Under estimate

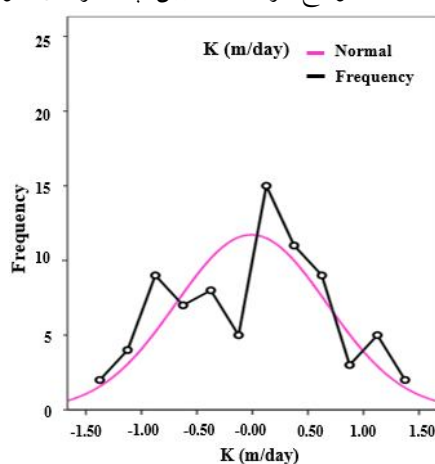
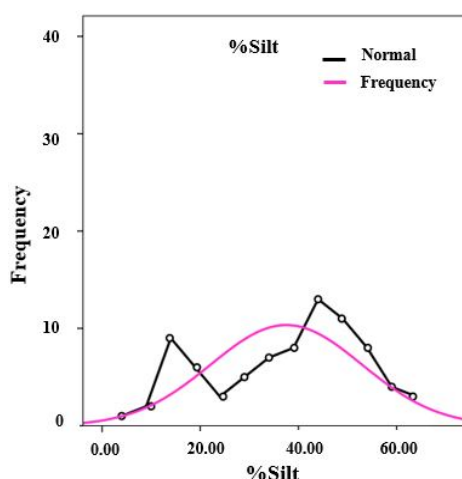
درصد ضریب تغییرات انجام شد که جدول 1 خلاصه می‌دهد. آماری نتایج مربوط به پارامترهای مورد بررسی را نشان

جدول 1- خلاصه آماری خصوصیات مورد مطالعه

ضریب تغییرات (%)	چولگی	کشیدگی	کمینه	بیشینه	واریانس	میانگین	تعداد	پارامتر
1/6862	3/375	14/227	0/04	30/3	23/131	2/8522	80	هدایت هیدرولیکی اشباع $K_s$ (m/day)
0/7322	0/561	-0/937	4/00	83/00	521/159	31/1750	80	درصد شن
0/4110	-0/346	-0/899	4/00	65/00	237/974	37/5250	80	درصد سیلت
0/3730	-0/299	-0/029	5/00	61/00	138/000	31/4875	80	درصد رس
2/5994	4/011	17/915	0	25	19/846	1/7137	80	ماتل (Mottling)
1/1052	0/686	-1/17	0/18	25	95/747	8/8533	80	درصد گچ (CaSO <sub>4</sub> %)
0/5803	-0/036	-1/044	1	30	94/882	16/785	80	درصد کربنات کلسیم معادل

بررسی از خود نشان دادند. همان‌طور که گفته شد شرط استفاده از روش‌های زمین‌آماری، ایستا بودن متغیر می‌باشد که از طریق نیم‌تغییر نما قابل تشخیص است، ضمناً توزیع داده‌ها نیز باید به توزیع نرمال نزدیک باشد. برای نمایش گرافیکی توزیع داده‌ها هیستوگرام‌های فراوانی این خصوصیات نیز ترسیم گردید که دو خصوصیت درصد سیلت و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک برای نمونه در شکل 2 نشان داده شده است.

دو آماره کشیدگی و چولگی نشان می‌دهند که دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و ماتل از توزیع نرمال برخوردار نیست که می‌باید از طریق روش‌های نرمال-سازی این داده‌ها را نرمال کرد. اما داده‌های دیگر پارامترهای مورد مطالعه به توزیع نرمال نزدیک است ولی برای اطمینان از نرمال بودن داده‌ها نیاز به تست نرمال‌یته برای داده‌ها است. پارامتر ماتل بیشترین انحراف مقادیر آماره‌های کشیدگی (17/915) و چولگی (4/011) را از توزیع نرمال و درصد رس با ضریب کشیدگی (-0/029) و درصد کربنات کلسیم معادل با مقدار ضریب چولگی (-0/036) کمترین انحراف را از توزیع نرمال در بین پارامترهای مورد



شکل 2- نمودارهای فراوانی و توزیع نرمال برای دو خصوصیت درصد سیلت و هدایت هیدرولیکی اشباع ضریب همبستگی پیرسون ( $r$ ) بین پارامترهای مورد مطالعه محاسبه شد که نتایج آن در جدول 2 آمده است

جدول 2- مقادیر ضریب همبستگی پیرسون برای خصوصیات مورد بررسی

	Ks(m/day)	Sand(%)	Silt(%)	Clay(%)	Mottling	CaSO <sub>4</sub> (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)
K <sub>s</sub> (m/day)	1						
Sand(%)	0/161	1					
Silt(%)	-0/088	-0/890**	1				
Clay(%)	-0/205	-0/770**	0/398**	1			
Mottling	-0/038	0/18	-0/14	-0/17	1		
CaSO <sub>4</sub> (%)	0/214	-0/222*	0/303**	0/031	-0/126	1	
CaCO <sub>3</sub> (%)	-0/167	0/188	-0/24*	-0/044	0/055	-0/498**	1

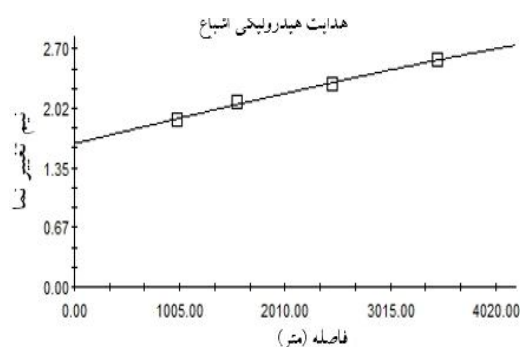
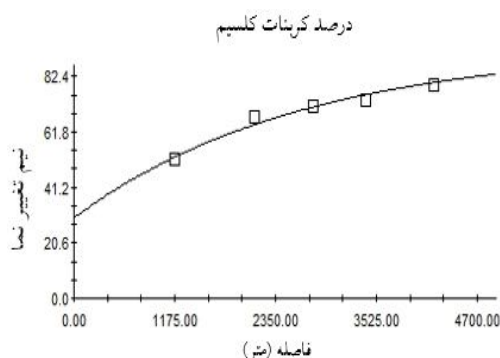
داشتن حداقل مربعات خطا و با داشتن R<sup>2</sup> بالاتر و مجموع مربعات باقی‌مانده‌ها (RSS) کمتر انتخاب گردید و پارامترهای مدل همسانگرد برای همه خصوصیات تعیین گردید. نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل تئوریک برازش داده شده بر آن در شکل 3 نشان داده شده است. پارامترهای - تغییرنماهای تعیین شده برای خصوصیات مورد نظر در جدول 3 ارائه شده است.

برازش مدل تئوری بر تغییرنمای تجربی نشان داد که برای هدایت هیدرولیکی اشباع و درصد گچ و درصد کربنات کلسیم معادل خاک مدل نمایی و برای ویژگی‌های درصد شن، سیلت، رس و ماتل مدل گوسی با داشتن بالاترین مقدار R<sup>2</sup> و کمترین مقدار RSS بهترین برازش را بر تغییرنمای تجربی نشان داد. از این مدل‌ها و با استفاده از مناسب‌ترین میان‌یاب برای تخمین ویژگی‌ها و میان‌یابی استفاده شد.

مطابق نتایج این جدول، بین پارامتر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و دیگر خصوصیات مورد بررسی همبستگی معنی‌داری مشاهده نگردید. بین درصد شن با درصد سیلت، رس و درصد گچ خاک همبستگی منفی و معنی‌داری مشاهده شد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین درصد سیلت خاک با درصد رس و گچ و همبستگی منفی و معنی‌داری بین درصد سیلت با درصد کربنات کلسیم معادل وجود داشت. همبستگی منفی و معنی‌داری نیز بین درصد کربنات کلسیم معادل با درصد گچ، با ضریب همبستگی 0/498- وجود داشت.

#### بررسی الگوی مکانی خصوصیات

نیم‌تغییرنمای تجربی به منظور بررسی الگوی توزیع مکانی خصوصیات مورد بررسی محاسبه گردید. تغییرنماهای جهت‌دار نیز به منظور بررسی ناهمسانگردی برای هر یک از خصوصیات ترسیم شد. پس از رسم - تغییرنمای تجربی بهترین مدل تئوری بر تغییرنما با در نظر



شکل 3- نیم‌تغییرنمای تجربی و مدل تئوریک برازش داده شده بر آن برای خصوصیت هدایت هیدرولیکی اشباع و درصد کربنات کلسیم

جدول 3- بهترین مدل برازش داده شده بر نیم‌تغییرنمای تجربی و اطلاعات زمین‌آماری آنها برای پارامترهای مورد مطالعه

Rss	R <sup>2</sup>	(C <sub>o</sub> /C <sub>o</sub> +C)	دامنه تأثیر (A)	مقدار آستانه (Sill)	اثر قطعه‌ای (C <sub>o</sub> )	مدل انتخابی	خصوصیت
6/5	0/973	0/499	7230	3/5390	1/769	نمایی	K <sub>s</sub> (m/day)
0/005	0/865	0/499	21100	1/479	0/739	گوسی	Sand(%)
1870	0/930	0/499	21100	427/9	213/9	گوسی	Silt(%)
402	0/827	0/499	21100	251/3	125/6	گوسی	Clay(%)
1/9	0/982	0/246	9925	3/025	0/746	گوسی	Mottling
13/1	0/987	0/217	2140	90/47	19/70	نمایی	CaSO <sub>4</sub> (%)
13/8	0/970	0/318	2648	93/12	29/70	نمایی	CaCO <sub>3</sub> (%)

خصوصیت می‌دانند به طوری که با افزایش درصد ضریب تغییرات این نسبت کاهش می‌یابد. نتایج حاصل در این پژوهش، تا حدودی این نظر را تأیید می‌کند اما در مورد همه‌ی پارامترها صادق نمی‌باشد. به عنوان مثال خصوصیات هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد سیلت، درصد رس و با توجه به متفاوت بودن ضریب تغییرات آنها، دارای نسبت واریانس ساختاردار به کل یکسان (0/500) می‌باشند. دامنه تأثیر (A)، که نشان‌دهنده‌ی دامنه‌ای است که ساختار تغییرات متغیر در آن شناخته شده است، برای خصوصیت‌های درصد شن، سیلت و رس (21100 متر) و درصد گچ (2140 متر) به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را دارا می‌باشند.

#### درون‌یابی مقادیر خصوصیات

نتایج جدول 4، 5 و 6 نشان می‌دهد که تخمین-گر کریجینگ برای درون‌یابی پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع و ماتل نتایج بهتر و خطای کمتری را نسبت به روش وزن دادن عکس فاصله و کوکریجینگ ارائه داد. جهت درون‌یابی پارامترهای درصد شن، سیلت و رس روش وزن دادن عکس فاصله نتیجه بهتری نسبت به دو روش دیگر نشان داد اما برای درون‌یابی پارامتر درصد کربنات کلسیم معادل روش کوکریجینگ نسبت به روش کریجینگ و روش وزن دادن عکس فاصله نتیجه بهتری را ارائه داد.

نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه (C<sub>o</sub>/C<sub>o</sub>+C) شاخصی از قدرت ساختار متغیرهای مکانی است. اگر این نسبت کمتر از 0/25 باشد، متغیر از ساختار مکانی قوی و اگر نسبت بین 0/25 تا 0/75 قرار گیرد ساختار مکانی آن متوسط و اگر این نسبت بیش از 0/75 باشد، ساختار مکانی آن ضعیف خواهد بود (کامباردلا و همکاران، 1994). اگر ضریب تبیین بهترین مدل برازش داده شده بر نیم‌تغییرنما کمتر از 0/5 باشد همبستگی مکانی ضعیف تعریف می‌شود (دوففیرا و همکاران، 2007). همان‌طور که در جدول 3 دیده می‌شود پارامترهای ماتل و درصد گچ (CaSO<sub>4</sub>) با داشتن نسبت واریانس قطعه‌ای به آستانه به ترتیب 0/246 و 0/217 دارای ساختار مکانی قوی و خصوصیات هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد سیلت، درصد رس و درصد شن با داشتن نسبت واریانس قطعه-ای به آستانه 0/499 و درصد کربنات کلسیم معادل با داشتن این نسبت به مقدار 0/318 از ساختار مکانی متوسطی برخوردار هستند. با توجه به این که ضریب تبیین (R<sup>2</sup>) بهترین مدل‌های برازش داده شده بر تغییرنمای تجربی برای همه پارامترها بالاتر از 0/5 بود لذا از همبستگی مکانی قوی برخوردار می‌باشند. از این مدل‌ها برای تخمین زمین‌آماری در روش کریجینگ و وزن دادن عکس فاصله استفاده گردید.

بورگس و وبستر (1980) میزان نسبت واریانس ساختاردار به کل را متأثر از میزان ضریب تغییرات آن



جدول 4- دقت تخمین گر کریجینگ در تخمین مقادیر خصوصیات مورد بررسی

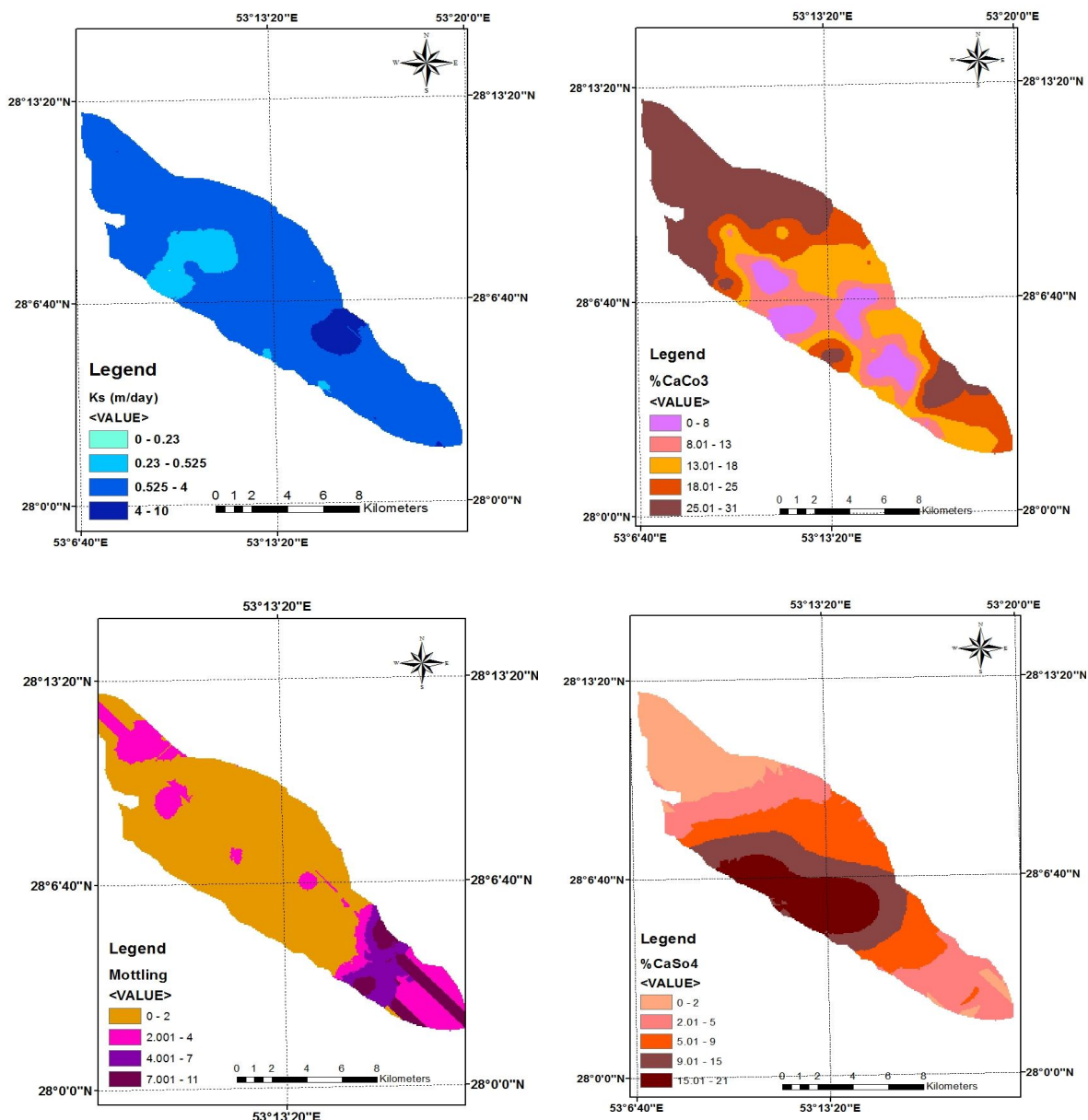
RMSE	MSDR	MBE	MAE	MSE	پارامتر	تخمین گر
4/877	0/032	-1/462	2/323	23/794	هدایت هیدرولیکی اشباع	کریجینگ معمولی
30/337	1/241	270/647	26/166	920/339	درصد شن	
16/040	0/347	0/317	13/173	257/308	درصد سیلت	
12/388	0/206	-0/052	9/639	153/464	درصد رس	
4/508	0/027	-1/033	1/915	20/328	ماتل	
8/897	0/106	-2/825	6/621	79/172	درصد گچ	
6/998	0/066	-0/244	5/492	48/982	کربنات کلسیم معادل	

جدول 5- دقت تخمین گر وزن دادن عکس فاصله در تخمین مقادیر خصوصیات مورد بررسی

RMSE	MSDR	MBE	MAE	MSE	پارامتر	تخمین گر
4/977	0/033	-1/720	2/344	24/779	هدایت هیدرولیکی اشباع	وزن دادن عکس فاصله
24/967	0/840	-7/843	20/481	623/386	درصد شن	
16/027	0/346	0/424	13/176	256/895	درصد سیلت	
12/352	0/205	-0/025	9/605	152/577	درصد رس	
4/514	0/027	-1/028	1/911	20/380	ماتل	
8/905	0/106	-2/820	6/609	79/311	درصد گچ	
7/697	0/079	-1/004	6/246	59/252	کربنات کلسیم معادل	

جدول 6- دقت تخمین گر کوکریجینگ در تخمین خصوصیات مورد بررسی

RMSE	MSDR	MBE	MAE	MSE	متغیر فرعی	متغیر اصلی	تخمین گر
30/73	1/27	4/80	24/26	944/72	درصد سیلت	درصد شن	کوکریجینگ
30/73	1/27	4/80	24/26	944/72	درصد رس		
29/87	1/20	3/21	23/76	892/39	CaSO <sub>4</sub> (%)	درصد سیلت	
17/69	0/42	0/21	14/45	312/95	درصد شن		
17/69	0/42	0/21	14/45	312/95	درصد رس		
17/69	0/42	0/21	14/45	312/95	CaSO <sub>4</sub> (%)		
17/69	0/42	0/21	14/45	312/95	کربنات کلسیم معادل	درصد رس	
13/75	0/25	0/312	11/25	189/15	درصد شن		
13/75	0/25	0/312	11/25	189/15	درصد سیلت	CaSO <sub>4</sub> (%)	
9/51	0/12	-2/31	6/62	90/52	درصد شن		
9/51	0/12	-2/31	6/62	90/52	درصد سیلت		
9/51	0/12	-2/31	6/62	90/52	کربنات کلسیم معادل	کربنات کلسیم معادل	
6/88	0/06	-0/006	5/21	47/46	درصد سیلت		
6/88	0/06	-0/006	5/21	47/46	CaSO <sub>4</sub> (%)	معادل	



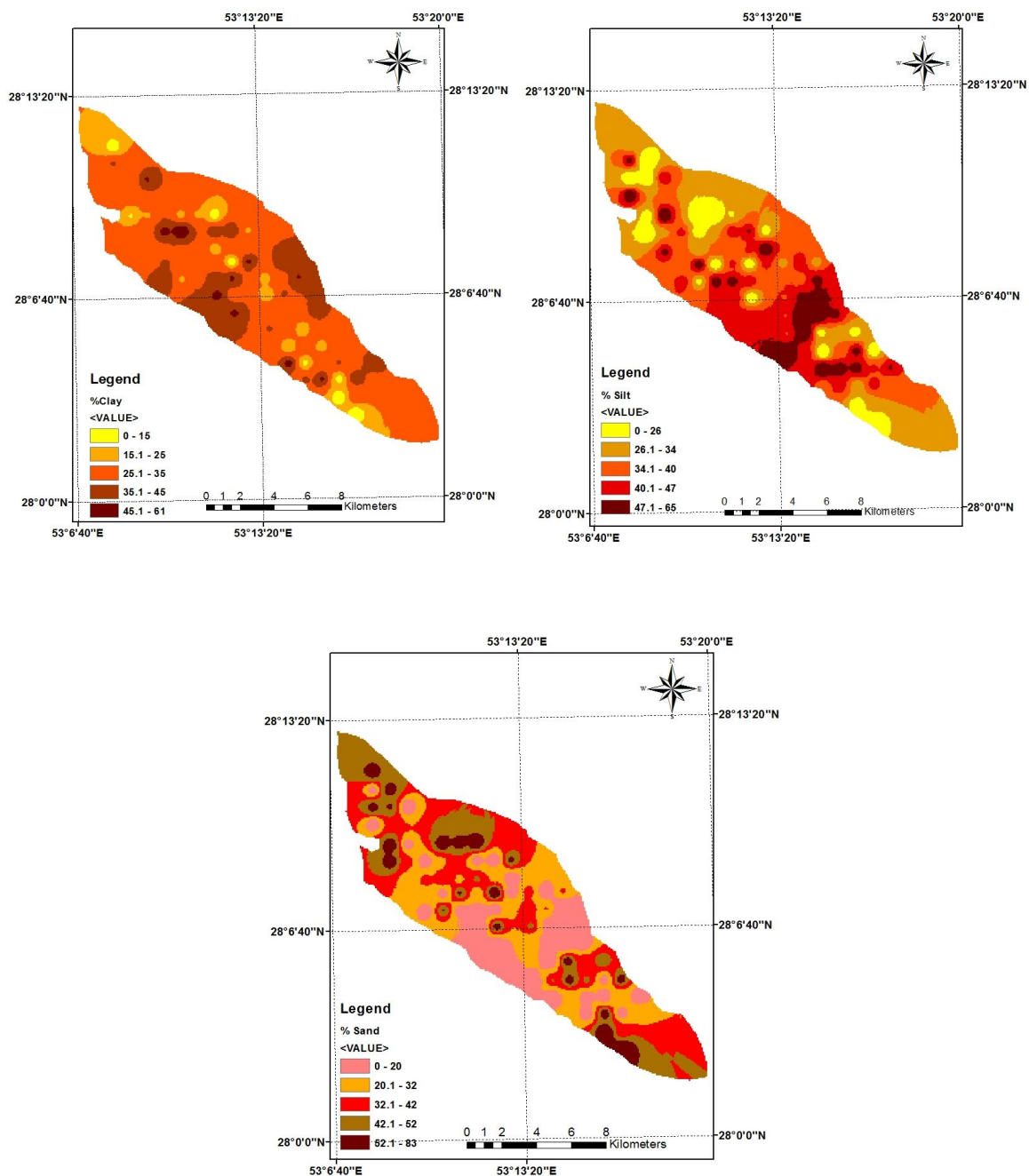
شکل 4- بهینه‌بندی خصوصیت هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد گچ، ماتل (روش کریجینگ)

مخصوص ظاهر، مقادیر رس، سیلت و شن، هدایت هیدرولیکی اشباع و مقدار رطوبت حجمی در 7 نقطه و برای سه عمق توسط اقبال و همکاران (2005) انجام شده، آنالیزهای زمین‌آماری نشان داده که تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی اشباع و جرم مخصوص ظاهری در فاصله کمتری نسبت به درصد شن، رس و مقدار رطوبت حجمی رخ می‌دهد. در این مطالعه دامنه تأثیر برای خصوصیات درصد سیلت، درصد رس و ماتل خاک بیشترین فاصله و بعد از آن به ترتیب پارامترهای درصد گچ (9110 متر)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (7230

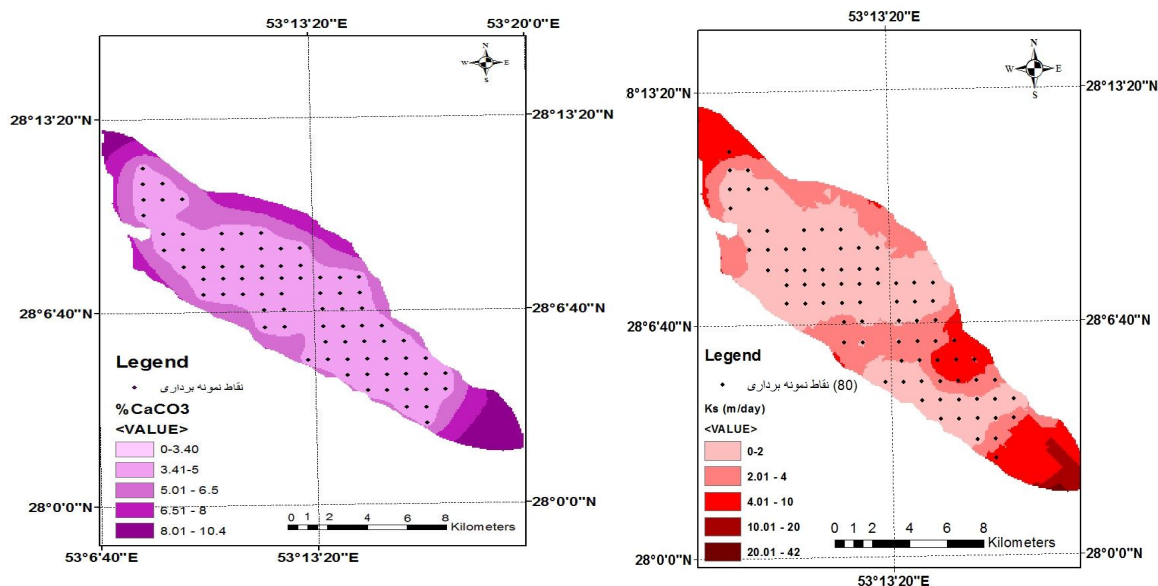
گالیچاند و همکاران (1992) در زمینه شوری و قلیائیت خاک و کرسیس (1991) و هاچینسون (1993) برای کاربرد روش‌های میان‌یابی، در پژوهش‌های خود به این نتیجه رسیدند که روش کریجینگ از روش‌های دیگر میان‌یابی دقیق‌ترند. ولتز و گولارد (1994) سه روش میان‌یابی نزدیک‌ترین فاصله، کریجینگ معمولی و کوکریجینگ را برای برآورد منحنی رطوبتی خاک ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج بدست آمده، کریجینگ و کوکریجینگ نتایجی بهتر از روش نزدیک‌ترین فاصله داشته‌اند. در مطالعه‌ای که بر روی تغییرات مکانی خصوصیات فیزیکی خاک‌های واریزه‌ای شامل، جرم

به عنوان روش‌های بهتر و در چهار سطح تراز انجام شد. شکل 4 و 5 پهنه‌بندی خصوصیات مورد مطالعه با روش کریجینگ معمولی و وزن دادن عکس فاصله را نشان می‌دهد.

درصد کربنات کلسیم معادل (2140 متر) و کمترین مقدار آن مربوط به درصد شن خاک بوده است. پس از درون‌یابی مقادیر هر یک از خصوصیات با سه روش درون‌یابی، پهنه‌بندی خصوصیات با استفاده از روش‌های کریجینگ معمولی و وزن دادن عکس فاصله



شکل 5- پهنه‌بندی خصوصیت درصد رس، درصد سیلت و درصد شن خاک (روش وزن دادن عکس فاصله)



شکل 6- نقشه‌ی خطای تخمین برای پارامتر درصد کربنات کلسیم معادل و هدایت هیدرولیکی اشباع

دهنده‌ی تخمین بهتر مقادیر واقعی با استفاده از درون‌یابی است. همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود، خصوصیات که توزیع مکانی مناسبی نشان نداشتند دارای خطای استاندارد بیشتری نیز می‌باشند. پارامتر  $SE_{prediction}$  بیانگر میزان انحراف معیار داده‌ها و ضریب تبیین حاصل از تخمین است که از رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$SE_{prediction} = SD \cdot (1 - r^2)^{0.5} \quad (11)$$

و پارامتر عرض از مبدا ( $Y_{intercept}$ ) نشان دهنده‌ی مقدار عرض از مبدا خط برازش داده شده بین داده‌های واقعی و تخمینی است که مقدار آن هر چه به صفر نزدیکتر باشد، نشان‌دهنده‌ی تخمین بهتر تخمین‌گر می‌باشد. مقادیر این پارامترها در جدول 7، 8 و 9، برای خصوصیات مختلف نشان می‌دهد که خصوصیات مکانی که دارای الگوی مکانی مناسب و میزان تغییرپذیری کمتری هستند، نتایج درون-یابی آنها با هر یک از تخمین‌گرهای مورد استفاده، بهتر بوده است.

بررسی این نقشه‌ها نشان می‌دهد که خطای تخمین در پهنه‌هایی که تراکم نمونه‌برداری بیشتر است کاهش می‌یابد. همچنین مقادیر کمی این خطا به ما کمک می‌کند تا سطح اعتماد به داده‌ها تعیین شود و در صورت لزوم برای افزایش دقت در نمونه‌برداری تراکم تعداد نمونه‌ها در پهنه‌هایی که از دقت مورد نظر برخوردار نیستند، افزایش داده شود. این نقشه‌ها می‌تواند در جهت مدیریت دقیق‌تر و تفسیر فرآیندها مورد استفاده قرار گیرند.

جدول 7، 8 و 9 نیز پارامترهای ارزیابی مقاطع مقادیر واقعی و برآورد شده هر یک از خصوصیات با استفاده از سه تخمین‌گر را نشان می‌دهد. مقدار ضریب رگرسیون ( $r$ ) نشان دهنده‌ی درجه‌ی مناسب بودن برازش داده‌ها با رگرسیون خطی است که هر چه این مقدار به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده‌ی پراکنش مناسب‌تر داده‌ها بر روی خط یک به یک است. خطای استاندارد ( $SE$ )، نیز پارامتر دیگری است که نزدیک بودن آن به صفر، نشان-

جدول 7- پارامترهای ارزیابی اعتبارسنجی متقاطع تخمین‌گر کریجینگ معمولی

تخمین‌گر	پارامتر	r	SE	SE <sub>prediction</sub>	Y <sub>intercept</sub>
کریجینگ معمولی	هدایت هیدرولیکی اشباع	0/054	0/589	4/678	1/13
	درصد شن	0/005	0/132	22/775	33/98
	درصد سیلت	0/001	0/415	15/416	42/62
	درصد رس	0/067	0/606	11/34	76/66
	ماتل	0/021	1/333	4/408	0/55
	درصد گچ	0/256	0/236	8/443	1/49
	درصد کربنات کلسیم معادل	0/478	0/122	7/036	-0/216

جدول 8- پارامترهای ارزیابی اعتبارسنجی متقاطع تخمین‌گر وزن دادن عکس فاصله

تخمین‌گر	پارامتر	r	SE	SE <sub>prediction</sub>	Y <sub>intercept</sub>
وزن دادن عکس فاصله	هدایت هیدرولیکی اشباع	0/054	0/589	4/678	1/13
	درصد شن	0/011	0/525	22/70	42/44
	درصد سیلت	0/000	0/394	15/424	39/734
	درصد رس	0/051	0/588	11/44	69/30
	ماتل	0/017	0/813	4/418	0/92
	درصد گچ	0/257	0/244	8/437	1/22
	درصد کربنات کلسیم معادل	0/383	0/162	7/651	-0/964

جدول 9- پارامترهای ارزیابی اعتبارسنجی متقاطع تخمین‌گر کوکریجینگ

تخمین‌گر	متغیر فرعی	خصوصیت	r	SE	SE <sub>prediction</sub>	Y <sub>intercept</sub>
کوکریجینگ	درصد رس	درصد سیلت	0/000	0/126	22/828	30/88
		درصد رس	0/000	0/126	22/828	30/88
	درصد رس	CaSO <sub>4</sub> (%)	0/000	0/134	22/829	31/13
		درصد شن	0/000	0/190	15/424	36/311
	درصد سیلت	درصد رس	0/000	0/190	15/424	36/311
		CaSO <sub>4</sub> (%)	0/000	0/190	15/424	36/311
	درصد رس	کربنات کلسیم معادل	0/000	0/190	15/424	36/311
		درصد شن	0/002	0/197	11/733	34/254
	درصد رس	درصد سیلت	0/002	0/197	11/733	34/254
		درصد شن	0/182	0/144	8/851	4/95
	CaSO <sub>4</sub> (%)	درصد سیلت	0/182	0/144	8/851	4/95
		کربنات کلسیم معادل	0/182	0/144	8/851	4/95
	کربنات کلسیم معادل	درصد سیلت	0/498	0/103	6/900	1/505
		CaSO <sub>4</sub> (%)	0/498	0/103	6/900	1/505

## بررسی اثر تراکم نمونه‌برداری

و کوکریجینگ در جداول 7، 8 و 9 ارائه شده است. همان‌طور که در جدول 10 و 11 مشاهده می‌گردد با کاهش تراکم نمونه، تغییرات منظمی در مقادیر پارامترهای تغییرنا مشاهده نگرددید اما می‌توان افزایش اثر قطعه‌ای و افزایش در مقدار RSS را در اکثر ویژگی‌های مورد بررسی مشاهده کرد.

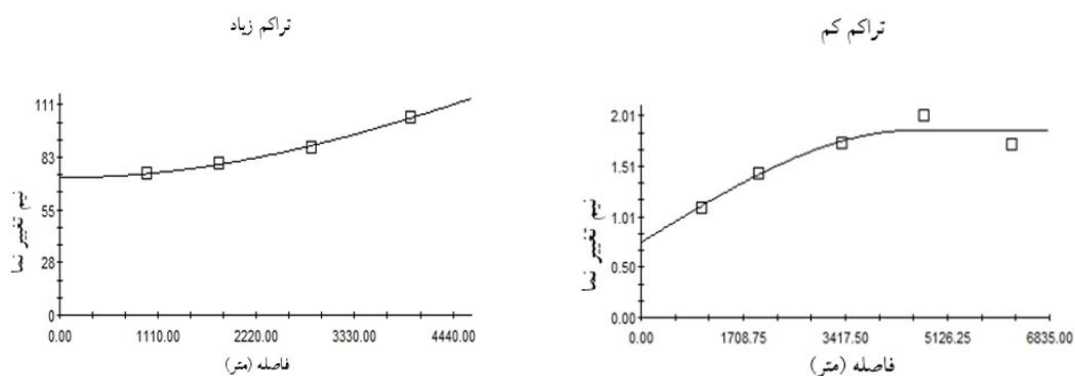
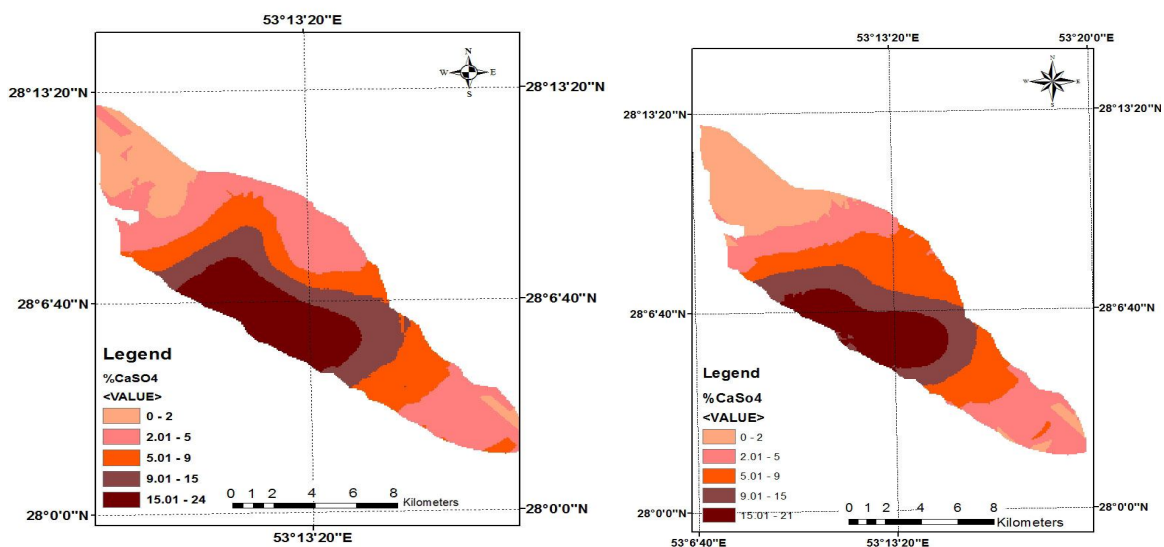
برای بررسی اثر تراکم نمونه‌برداری بر تغییر الگوی نیم‌تغییرنا و درون‌یابی برخی پارامترهای مورد مطالعه، دو سطح متفاوت از تراکم نمونه‌ها در نظر گرفته شد. در سطح اول همه‌ی نمونه‌ها و در سطح دوم 40 نمونه برای تعیین نیم‌تغییرنا و درون‌یابی در نظر گرفته شدند. نتایج تأثیر تغییر تراکم نمونه، بر پارامترهای تغییرنا و همچنین ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین مقادیر واقعی و تخمینی با استفاده از تخمین گر کریجینگ، وزن دادن عکس فاصله

جدول 10 - تراکم بالای نمونه‌برداری و پارامترهای نیم‌تغییرنا برای خصوصیات مورد بررسی

تراکم نمونه برداری	پارامتر	مدل انتخابی	اثر قطعه‌ای ( $C_0$ )	مقدار آستانه (Sill)	دامنه تأثیر (A)	نسبت واریانس ( $C_0/C_0+C$ )	$R^2$	Rss
تراکم زیاد (80 نمونه)	$K_S$	نمایی	1/7690	3/539	7230	0/499	0/973	$6/52 \times 10^{-3}$
	Sand(%)	گوسی	0/001	0/702	925	0/001	0/840	0/029
	Silt(%)	گوسی	213/900	427/9	21100	0/499	0/930	1870
	Clay(%)	گوسی	125/600	251/3	21100	0/499	0/827	402
	CaSO <sub>4</sub> (%)	گوسی	0/7460	3/025	9925	0/246	0/982	$1/9 \times 10^{-3}$
	CaCO <sub>3</sub> (%)	نمایی	19/7000	90/47	2140	0/217	0/987	13/1
	Mottling	خطی	0/56679	0/56679	4422/01	1	0/965	$9/84 \times 10^{-3}$

جدول 11 - تراکم پایین نمونه‌برداری و پارامترهای نیم‌تغییرنا برای خصوصیات مورد بررسی

تراکم نمونه برداری	پارامتر	مدل انتخابی	اثر قطعه‌ای ( $C_0$ )	مقدار آستانه (Sill)	دامنه تأثیر (A)	نسبت واریانس ( $C_0/C_0+C$ )	$R^2$	Rss
تراکم کم	$K_S$	نمایی	2/373	4/747	21100	0/499	0/923	0/333
	Sand(%)	نمایی	0/650	1/301	21100	0/499	0/743	0/0527
	Silt(%)	گوسی	226	662/9	17320	0/340	0/881	235
	Clay(%)	خطی	129	144/69	4811/69	0/891	0/791	776
	CaSO <sub>4</sub> (%)	کروی	0/781	1/931	4990	0/404	0/930	0/0359
	CaCO <sub>3</sub> (%)	نمایی	63/30	126/610	13290	0/499	0/924	18/1
	Mottling	نمایی	0/759	1/519	21100	0/499	0/847	0/125



شکل 7- اثرات تغییر تراکم نمونه برداری بر توزیع مکانی درصد گچ

### نتیجه گیری کلی

فاصله، کریجینگ و کوکریجینگ انجام شد و دقت این تخمین‌گرها با یکدیگر مقایسه گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که خصوصیات مورد بررسی، تغییرات مکانی ساختاردار را به خوبی نشان داد و هر یک از خصوصیات الگوی مکانی خاص خود را دارا بود. همچنین نتایج ارزیابی تخمین‌گرها برای میان‌یابی مقادیر خصوصیات مورد مطالعه که تغییرات ساختاردار مکانی داشتند، نشان داد که تخمین‌گر کریجینگ برای درون‌یابی پارامترهای هدایت هیدرولیکی اشباع، ماتل (Mottling)، درصد گچ نتایج بهتر و خطای کمتری نسبت به روش وزن دادن عکس فاصله داشت اما برای درون‌یابی پارامترهای درصد شن، سیلت و رس، روش وزن دادن

تعیین مقدار خصوصیات از خاک که در این پژوهش دارای تغییرات پیوسته مکانی می‌باشند در قالب یک کمیت عددی کلی و بدون در نظر گرفتن تغییرات مکانی آن، برای برنامه‌ریزی خاص مکانی کافی نمی‌باشد. در این پژوهش تغییرات مکانی خصوصیات از خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، درصد ذرات خاک (درصد شن، سیلت و رس)، پراکنش و میزان لکه‌های رنگی موجود در خاک، درصد گچ ( $\text{CaSO}_4$ ) و درصد کربنات کلسیم معادل با استفاده از زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفت و درون‌یابی و پهنه‌بندی مقادیر این خصوصیات با استفاده از روش‌های وزن دادن عکس

تغییرات منظمی در مقادیر پارامترهای تغییرنا مشاهده نگردید اما افزایش در مقادیر اثر قطعه‌ای و RSS را در اکثر خصوصیات مورد بررسی می‌توان مشاهده کرد.

### قدردانی و تشکر

از سازمان آب منطقه‌ای فارس و شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس به خاطر همکاری در انجام این پروژه صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

عکس فاصله نتیجه بهتری نشان داد. در مورد درصد کربنات کلسیم روش کوکریجینگ نتیجه بهتری نسبت به دو روش دیگر ارائه داد. تخمین‌گر کریجینگ تخمین دقیق‌تری نسبت به روش وزن دادن عکس فاصله، برای تخمین موضعی ارائه داد. نقشه‌های پهنه‌بندی خصوصیات مورد نظر با استفاده از روش‌های میان‌یابی کریجینگ معمولی و وزن دادن عکس فاصله و کوکریجینگ معمولی رسم گردید. در مورد تراکم نمونه‌ها، با کاهش تراکم نمونه

### فهرست منابع:

1. اصغری، ش. دیزجقربانی اقدم، ث. اسمعیلی عوری، ا. 1393. بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک در منطقه فندقلوی اردبیل با استفاده از زمین‌آمار، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 28، شماره 6، صفحه 1271-1283.
2. بارانی، س. پاپن، پ. الباجی، م. 1392. تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی خاک در منطقه زیدون، چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، صفحه 2025-2038.
3. جلالی، و.ر. خاشعی سیوکی، ع. همایی، م. 1392. مقایسه روش‌های زمین‌آماری با روش غیرپارامتریک Knn (نزدیک-ترین همسایه) برای برآورد هدایت هیدرولیکی اشباع خاک، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد 20، شماره 5، صفحه 147-162.
4. دلبری، م. جهانی، س. 1393. بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های شوری و سدیمی خاک‌های منطقه چات در استان گلستان، نشریه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، الف، جلد 28، شماره 2، صفحه 433-446.
5. فروغی‌فر، ح. جعفرزاده، ع. ا. ترابی گلسفیدی، ح. علی‌اصغرزاده، ن. تومانیان، ن. دواتگر، ن. 1390. تغییرات مکانی برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک سطحی در شکل‌های اراضی مختلف دشت تبریز، نشریه دانش آب و خاک، جلد 21، شماره 3، سال 1390، صفحه 1-21.
6. کرمی، ع. همایی، م. بای‌بوردی، م. محمودیان شوشتری، م. دوات‌گر، ن. 1391. پراکنش مکانی پارامترهای نفوذ آب به خاک در مقیاس ناحیه‌ای، نشریه دانش آب و خاک، جلد 22، شماره 1، صفحه 18-31.
7. محمدی، ج. 1385. پدومتری، جلد دوم (آمار مکانی)، انتشارات پلک، 453 صفحه.
8. محمدی، ج. 1378. مطالعه تغییرات مکانی شوری در منطقه رامهرمز (خوزستان) با استفاده از نظریه ژئواستاتستیک: کوکریجینگ. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد 3، شماره 2، صفحه 1-8.
9. یزدانی، م. چاوشی، س. شیرانی، ک. خداقلی، م. 1385. بررسی وضعیت خشکسالی در زیر حوضه‌ی آبخیز زاینده‌رود، اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون. زاینده‌رود، دانشگاه شهرکرد، صفحه 1711-1704.
10. Alemi. M.h., Shahriari, M.R., and Nielsen, D.R. 1988. Kriging and cokriging of soil properties. Soil Technology, 1: 117-132.
11. Burgess. T.M., and Webster, R. 1980. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties semi-variogram and punctual kriging. Journal of Soil Science, 31: 31-315.



12. Cambardella, C.A., Moorman, T.B., Novak, J.M., Parkin, T.B., Karlen, D.L., Turco, R.F., and Konopka, A.E. 1994. Fieldscale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58: 1501–1511.
13. Cressis, N. 1991. *Statistics for spatial data*. John Wiley and Sons, Inc., New York.
14. Duffera, M., White, J.G., and Weisz, R.W. 2007. Spatial variability of southeastern U.S. coastal plain soil physical properties: Implications for site-specific management. *Geoderma*, 137: 327-339.
15. Gallichand, J.D., Bouckland, D., Marcotte, D., and Hendry, M.J. 1992. Spatial interpolation of soil salinity and sodicity for a saline soil in southern Alberta. *Canadian Journal of Soil Science*, 72: 503-516.
16. Gee, G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part I*, 2d ed. (A. Klute, ed.), Madison, WI, Am. Soc. Agron., pp. 383-411.
17. Hosseini, E., Gallichand, J., and Caron, J. 1997. Comparison of several interpolations for smoothing hydraulic conductivity data in south west of Iran. *ASAE*, 36(6): 1687-1693.
18. Hutchinson, M.F. 1993. On thin plate spline and kriging. PP. 104-1 13. In: M.E. "1 after and M.D. Lock (Eds.), *Computing Science and Statistics*, Vol. 25, Interface foundation of north America, University of California, Berkeley, CA, USA.
19. Iqbal, J., Thornasson, J.A., Jenkins, J.N., Owens, P. R., and Whisler, F.D. 2005. Spatial variability analysis of soil physical properties of alluvial soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69: 1338-1350.
20. Jensen, M.E., Swarner, L.R., and Phelan, J.T. 1987. Improving irrigation efficiencies. Pp. 1120–1142 In: Hagan RM. Haise. HR. Edminster. TW (eds.). *Irrigation of Agricultural Lands*. Agron Monogr 11, ASA and SSSA. Madison. WI.
21. Journel, A.G., and Huijbregts, C.J. 1978. *Mining geostatistics*, Academic Press. London.
22. Kostikov, A.N. 1932. On the dynamics of the coefficient of water percolation in soils and on the necessity of studying it from a dynamic point of view for the purposes of amelioration. Pp.17 – 21. *Transactions of the Sixth Congress of International Soc. Soil Sci. Moscow. Russia*.
23. Lakhankar. T., Jones, A.S., Combs, C.L., Sengupta, M., Vonder Haar, T.H., and Khanbilvardi, R. 2010. *Sensors*, 10(1): 913-932.
24. McBratney, A.B., and Webster, R. 1983. Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil. *Journal of Soil Science*, 34(1): 137-162.
25. Mohammadi, J. 1997. *Geostatistical mapping of environmental soil hazards*. Ph.D. thesis. Gent univ, 196p.
26. Mohammadi, J. 1998. *Geostatistical mapping of environment soil hazards*. Pp: 42-43. Fourth Iranian International Statistic Conference. Shahid Beheshti University. Tehran, Iran.
27. Mohammadi, J. 2000. Evaluation and mapping of soil salinity hazard in Ramhormoz area (Khuzestan) using disjunctive kriging. *Journal of Agricultural Research*, 25: 45-57.
28. Philip, J.R. 1957. The theory of infiltration: 4. Sorptivity and algebraic infiltration equation. *Soil Sci.*, 84: 257-264.
29. Quine, T.A., and Zhang, Y. 2002. An investigation of spatial variation in soil erosion, soil properties and crop production within an agricultural field in Devon, UKJ. *Soil and Water Cons.*, 57: 50-60.
30. Sun, B., Zhou, SL., and Zhao. QG. 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the region of subtropical China. *Geoderma*, 115: 85-99.
31. Theodossiou, N., and Latinopoulos, P. 2006. Evaluation and optimization of groundwater observation networks using the kriging methodology. *Environmental Modelling and Software*, 21: 991–1000.
32. Voltz, M., and Goulard, 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves, *Geoderma*, 62: 109-123.
33. Yemefack, M., Rossiter, D.G., and yomgang, R.N. 2005. Multi-scale characterization of soil variability within an agricultural landscape mosaic system in southern Cameroon. *Geoderma*, 125: 117-14

