

## بررسی پراکنش مکانی برخی خصوصیات خاک مراتع اشتهارد با استفاده از روش‌های آمار مکانی

نرگس ناصری حصار<sup>۱</sup>، محمدعلی زارع چاهوکی<sup>۲\*</sup> و محمدجعفری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ایران

۲- نویسنده مسئول، استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران، پست الکترونیک: mzare@ut.ac.ir

۳- استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۱۶

### چکیده

اولین گام در انجام درون‌یابی داده‌های میدانی، بررسی همبستگی مکانی آنها و تهیه نقشه خصوصیات خاک است. هدف از این پژوهش، بررسی کارآیی دو روش آمار مکانی کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله در تهیه نقشه خصوصیات خاک است. پنج واحد نمونه‌برداری در منطقه انتخاب شد و برای نمونه‌برداری از خاک با توجه به سطح واحدها و شرایط منطقه، محل حفر پروفیل‌ها طوری تعیین شد تا کل محدوده مورد مطالعه را پوشش دهد. در هر واحد، شش پروفیل خاک و در کل منطقه ۳۰ پروفیل خاک حفر شد و از دو عمق ۰-۲۰ و ۲۰-۸۰ سانتی‌متر نمونه برداشت شد. متغیرهای خاک شامل درصد سنگریزه، رس، سیلت، شن، آهنک، ماده آلی و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. در نرم‌افزار GS+ دقت دو روش آمار مکانی با استفاده از روش ارزیابی متقابل با کمک دو پارامتر آماری MAE و MBE مورد آزمون قرار گرفت. طی نتایج این پژوهش، MAE و MBE مربوط به روش کریجینگ برای بیشتر پارامترهای خاک از روش وزن‌دهی معکوس فاصله کمتر است و کریجینگ روش دقیق‌تری برای درون‌یابی خصوصیات خاک محسوب می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آمار مکانی، وزن‌دهی معکوس فاصله، کریجینگ، مراتع اشتهارد.

### مقدمه

نقشه‌های هم‌میزان از متغیرهاست (محمدی، ۱۳۷۷). استفاده از روش‌های زمین آماری در علوم خاک توسط محققان مختلفی بکار گرفته شده است. در پژوهشی تغییرات زمانی و مکانی کیفیت خاک براساس آنالیز زمین آماری در مناطق نیمه‌گرمسیری چین بررسی شد (Bosun & Qiguo, 2003). آنالیز زمین آماری نشان داد که تمام ویژگی‌های خاک (پتاسیم، فسفر، مواد آلی و pH) و تغییرات آنها دارای ساختار مکانی بوده‌اند و میان‌یابی توسط کریجینگ (Kriging) ساختار مکانی مشابهی را در میان این متغیرها نشان داد. در مطالعه‌ای دیگر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در روش‌های مختلف مدیریتی برای منطقه‌ای در زاگرس با

از ویژگی‌های کلیدی خاک تغییرپذیری زمانی و مکانی آن است. در فرایند تشکیل خاک عوامل و فرایندهای مختلفی دخیل هستند که در طول زمان و مکان متغیرند که خواص خاک تحت تأثیر آنها شکل می‌گیرد (Vieira & Gonzalez, 2003). اطلاعات در مورد تغییرپذیری خصوصیات خاک در مدل‌سازی‌های اکولوژیکی، پیش‌بینی‌های محیطی و مدیریت منابع طبیعی مهم می‌باشد. آمار مکانی به‌عنوان شاخه‌ای از علم آمار قادر به توصیف و مدل‌سازی ساختار مکانی متغیر مورد نظر توسط تغییرنا، میان‌یابی و تخمین الگوی پراکنش مکانی متغیرها و تهیه

تعیین منحنی رطوبتی خاک مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت (Voltz & Goulard, 1994).

با اشاره به منابع ذکر شده در این تحقیق، اهمیت انتخاب روش درون‌یابی برای هر پدیده طبیعی مشخص می‌شود. همچنین استنباط می‌گردد که هر یک از شاخص‌های محیطی دارای رفتاری در طبیعت هستند که پیش‌بینی و یا تخمین آنها نیاز به انتخاب روش خاصی دارد. روش انتخاب شده تابعی از شرایط حاکم بر همان مجموعه از داده‌هاست، به طوری که برای شاخص‌های دیگر و یا شرایط محیطی دیگر صادق نخواهد بود (Abdollahi & Rahimian, 2007). از آنجا که یکی از عوامل مؤثر بر پراکنش پوشش گیاهی، ویژگی‌های خاک است، برای بررسی توان اراضی یا تهیه نقشه پیش‌بینی رویشگاه به نقشه خصوصیات خاک نیاز است که این نقشه‌ها با روش‌های آمار مکانی تولید می‌شود. هدف از این پژوهش، مقایسه دقت روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله در درون‌یابی خصوصیات خاک و بعد تهیه نقشه خصوصیات خاک مراتع شهرستان اشتهارد با استفاده از روش دقیق‌تر است.

### مواد و روش‌ها

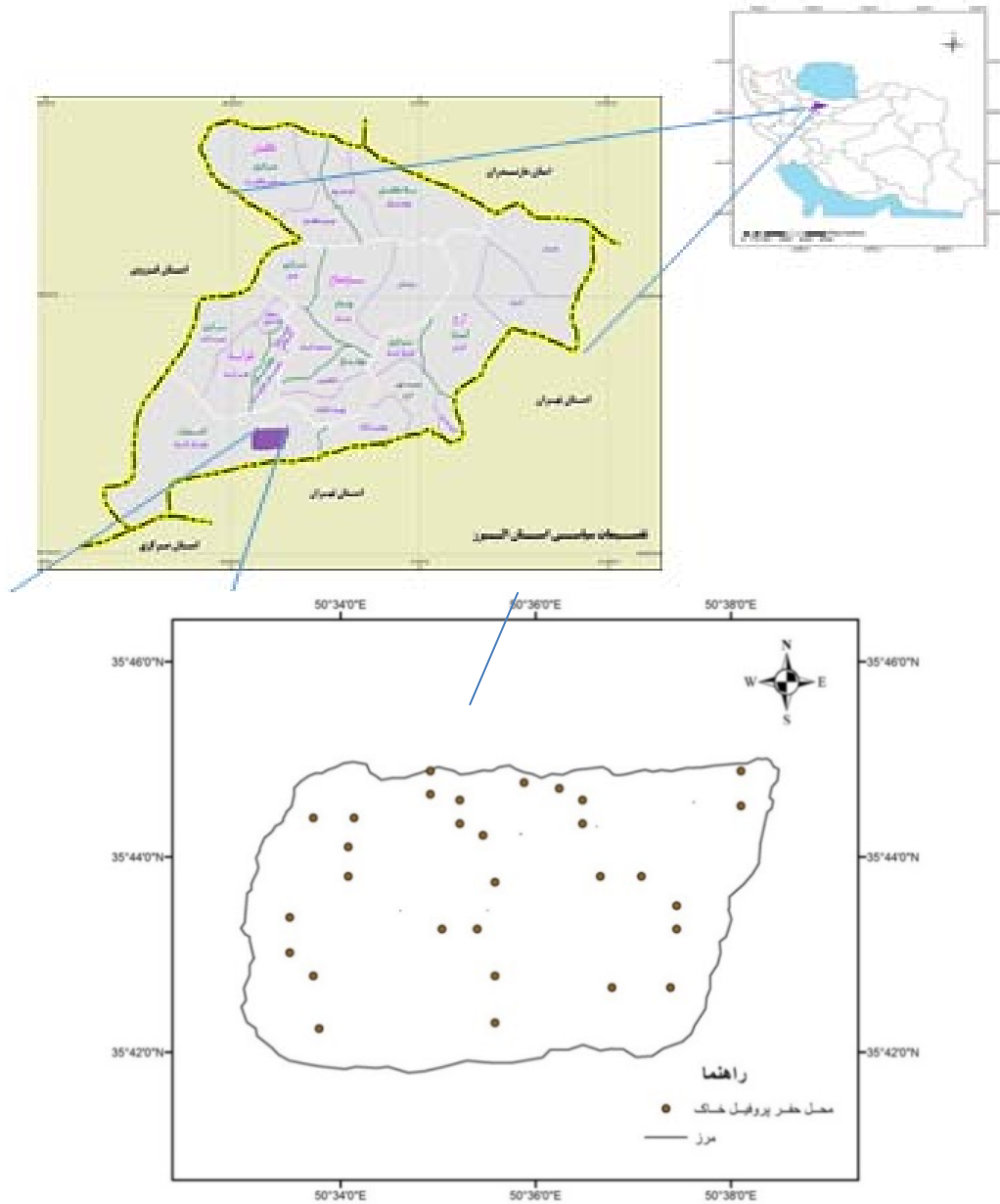
#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از مراتع شهرستان اشتهارد در جنوب غربی استان البرز است که با مساحت ۳۹۹۷/۳ هکتار بین عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و با ارتفاع متوسط بین ۱۱۲۹ تا ۱۳۷۸ متر از سطح دریا قرار دارد. منطقه مورد مطالعه با توجه به شرایط آب و هوایی و نوع پوشش گیاهی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و از نظر تقسیمات ژئوبوتانیکی به روش پابو در ناحیه استپی سرد قرار می‌گیرد.

کاربرد زمین آمار و روش‌های آماری درون‌یابی شد Neal و همکاران (۲۰۰۴) در مطالعه‌ای با هدف بررسی تأثیر تاج درخت بنه (*Pistacia atlantica*) بر پراکنش مکانی خصوصیات شیمیایی خاک، به منظور تجزیه و تحلیل پراکنش و تغییرات مکانی متغیرهای خاک از روش درون‌یابی کریجینگ استفاده کردند و درون‌یابی‌ها با استفاده از آماره میانگین خطا و جذر میانگین مربعات خطا ارزیابی شد. نتایج نشان‌دهنده وجود ساختار مکانی در متغیرهای مورد بررسی (نیتروژن، کربن آلی، پتاسیم، فسفر، سدیم و لیتیم) است و بجز لیتیم سایر متغیرهای دیگر ساختار مکانی قوی داشتند (Hosseini et al., 2012). همچنین از روش زمین آمار برای تعیین خصوصیات خاک مناطق مناسب برای احداث چراگاه در حوضه آمازون در کشور برزیل استفاده شده است (Pcerri et al., 2004).

Zarechahouki و همکاران (۲۰۱۰) کاربرد روش‌های آمار مکانی شامل روش‌های کریجینگ نقطه‌ای، وزن‌دهی معکوس فاصله و وزن‌دهی نرمال فاصله را در مدل‌های پیش‌بینی رویشگاه گونه‌های گیاهی بررسی کردند. برای ارزیابی دقت نتایج از روش ارزیابی متقابل (Cross validation) با کمک دو پارامتر آماری MAE و MBE استفاده شد. آنان در پژوهشی دیگر نقشه خصوصیات خاک را در مراتع شرق سمنان با استفاده از روش آمار مکانی با بررسی روش‌های کریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار تهیه کردند (Zarechahouki et al., 2013).

درون‌یابی در سایر شاخص‌های محیطی از جمله شوری خاک، هدایت هیدرولیکی، خصوصیات ژئومرفولوژی منطقه و غیره انجام شده است. به طوری که در مطالعه‌ای چندین روش درون‌یابی برای تخمین هدایت هیدرولیکی خاک مورد مقایسه قرار گرفت تا خطوط هم‌میزان برای منطقه جنوب غربی ایران ترسیم شود (Hosseini et al., 1993). همچنین در پژوهشی سه روش مختلف درون‌یابی برای



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور ایران و استان البرز و محل حفر پروفیل‌های خاک

#### روش تحقیق

بعد از انتخاب منطقه مورد مطالعه، از تلفیق نقشه‌های ارتفاع، جهت، شیب و زمین‌شناسی، نقشه واحدهای نمونه‌برداری تهیه شد. پنج واحد نمونه‌برداری در منطقه انتخاب شد و در هر واحد شش پروفیل خاک و در مجموع در کل منطقه ۳۰ پروفیل خاک برداشت شد. در هر پروفیل با توجه به عمق مؤثر ریشه‌دوانی گیاهان از دو عمق ۲۰-۰

و ۸۰-۲۰ سانتی‌متر به‌طور جداگانه نمونه‌برداری انجام شد و در مجموع ۶۰ نمونه خاک برداشت شد. برای نمونه‌برداری از خاک با توجه به سطح واحدهای نمونه‌برداری و شرایط منطقه، محل حفر پروفیل‌ها طوری انتخاب شد تا کل محدوده مورد مطالعه را پوشش دهد. در آزمایشگاه خصوصیات خاک شامل سنگریزه، بافت، آهک، ماده آلی، اسیدیته و هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. درصد ذرات

استفاده از روش ارزیابی متقابل و با در نظر گرفتن دو پارامتر آماری میانگین خطای اریب یا انحراف (MBE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد که رابطه‌های ۱ و ۲ نحوه محاسبه آنها را نشان می‌دهند.

$$\text{رابطه ۱} \quad \text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n |\hat{z}(x) - z(x)|$$

$$\text{رابطه ۲} \quad \text{MBE} = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n (\hat{z}(x) - z(x))$$

که در این معادلات n تعداد نمونه‌ها و  $z(x)$  مقدار برآوردی در نقطه x می‌باشد. این مقادیر حالت ایده‌آل باید مساوی صفر باشد و مقدار مثبت یا منفی آنها به ترتیب نشان‌دهنده برآورد بیشتر یا کمتر از مقدار واقعی است (Wakernagel, 2002). نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه نیز می‌تواند برای ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها مورد بررسی قرار گیرد. وقتی این نسبت کمتر از ۰/۲۵ باشد، متغیر مورد نظر دارای ساختار مکانی قوی می‌باشد. بین ۰/۷۵-۰/۲۵ ساختار مکانی متوسط بوده و هنگامی که بزرگتر از ۰/۷۵ باشد، ساختار مکانی ضعیف می‌باشد (Robinson & Metternicht, 2006).

### نتایج

در جدول ۱ مشخصات کمی متغیرهای مورد بررسی به همراه نتایج حاصل از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف ارائه شده است. نتایج حاصل از تحلیل واریوگرام شامل نوع مدل، شعاع تأثیر، آستانه و اثر قطعه‌ای به همراه ضریب تبیین  $R^2$  در جدول ۲ آمده است. شکل ۲ نیز مدل برازش داده شده مربوط به متغیرهای سنگریزه و آهک عمق دوم را نشان می‌دهد.

خاک شامل رس، سیلت و شن به روش هیدرومتری بایکاس و درصد سنگریزه با روش وزنی اندازه‌گیری شد. درصد آهک به روش کلسیمتری و درصد ماده آلی به روش والکی و بلاک تعیین گردید و تعیین هدایت الکتریکی در عصاره گل اشباع با هدایت‌سنج الکتریکی انجام شد (Jafarihaghighi, 2003). آنگاه بعد از آماده‌سازی داده‌ها، نرمال بودن توزیع آنها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف در نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۹ بررسی شد که نتایج در جدول ۱ آمده است.

در این تحقیق برای بررسی و تشریح ارتباط و ساختار مکانی خصوصیات خاک از روش‌های کریجینگ نقطه‌ای و وزن‌دهی معکوس فاصله و برای تجزیه و تحلیل "تغییرنمایا واریوگرام" از نرم‌افزار  $GS^+$  نسخه ۵ استفاده شد. برای ورود داده‌ها به نرم‌افزار فایلی شامل x و y نقاط نمونه‌برداری و مقادیر ویژگی‌های موردنظر تهیه شد. در تحلیل واریوگرام، نوع مدل، شعاع تأثیر، آستانه و اثر قطعه‌ای بررسی گردید. همچنین منحنی‌های مربوط به برآورد متغیرهای خاک مورد بررسی با استفاده از روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله (Inverse IDW: Distance Weighting) تهیه شد.

در مطالعات زمین آماری باید صحت تمام فرضیات و روش‌ها به گونه‌ای کنترل گردد. ارزیابی در واقع تخمین هر نقطه نمونه‌برداری شده در یک ناحیه با استفاده از مقادیر نمونه همسایه (بدون در نظر گرفتن خود آن نمونه) با روش‌های درون‌یابی می‌باشد. بدین‌منظور بعد از برازش مدل به تغییرنما و تعیین پارامترهای مدل، ارزیابی تغییرنما به همراه نمودارهای تخمین برای متغیرهای مورد بررسی با

جدول ۱- مشخصات کمی متغیرهای مورد بررسی

| متغیر            | میانگین | واحد اندازه گیری | ضریب تغییرات | حداقل | حداکثر | چولگی | کشیدگی |
|------------------|---------|------------------|--------------|-------|--------|-------|--------|
| سنگریزه ۱        | ۲۷/۸۶   | درصد             | ٪۶۹/۷        | ۰/۵۰  | ۷۰/۵۰  | ۰/۶۹  | ۰/۴۰   |
| سنگریزه ۲        | ۳۱/۹۶   | درصد             | ٪۶۸/۸۸       | ۰/۵۰  | ۶۸/۲۰  | ۰/۵۱  | ۰/۰۶   |
| رس ۱             | ۱۶/۳۹   | درصد             | ٪۲۳/۰۲       | ۲/۸۰  | ۳۶/۴۰  | ۰/۳۱  | -۱/۱۰  |
| رس ۲             | ۱۵/۶۸   | درصد             | ٪۲۶/۷۸       | ۲/۴۰  | ۳۳/۰۰  | ۰/۰۷  | -۱/۴۱  |
| سیلت ۱           | ۲۴/۵۳   | درصد             | ٪۲۲/۰۵       | ۱۲/۶۰ | ۴۰/۸۰  | ۰/۳۱  | ۱/۴۲   |
| سیلت ۲           | ۲۳/۰۴   | درصد             | ٪۲۶/۵۸       | ۹/۶۰  | ۴۷/۶۰  | ۰/۲۷  | -۰/۷۰  |
| شن ۱             | ۵۹/۰۸   | درصد             | ٪۲۸/۹۲       | ۲۹/۸۰ | ۷۳/۸۰  | ۰/۵۵  | ۰/۲۴   |
| شن ۲             | ۶۱/۵۴   | درصد             | ٪۳۰/۵۵       | ۴۳/۶۰ | ۷۹/۶۰  | ۰/۹۷  | ۲/۰۳   |
| آهک ۱            | ۹/۰۵    | درصد             | ٪۱۳/۵۶       | ۲/۱۰  | ۱۵/۴۰  | -۱    | ۲/۹۶   |
| آهک ۲            | ۹/۰۷    | درصد             | ٪۱۲/۱۲       | ۲/۱۰  | ۱۵/۶۰  | ۰/۱۰  | -۰/۳۸  |
| ماده آلی ۱       | ۰/۳۵    | درصد             | ٪۰/۶۳        | ۰/۰۳  | ۰/۷۶   | -۰/۱۷ | -۱/۲۴  |
| ماده آلی ۲       | ۰/۳۰    | درصد             | ٪۰/۶۱        | ۰/۰۲  | ۰/۷۱   | -۰/۱۰ | -۰/۸۳  |
| هدایت الکتریکی ۱ | ۲/۸۳    | دسی زمینس بر متر | ٪۱۶/۹۵       | ۰/۱۸  | ۱۸/۴۰  | ۰/۳۲  | -۰/۳۹  |
| هدایت الکتریکی ۲ | ۳/۶۳    | دسی زمینس بر متر | ٪۱۶/۶۹       | ۰/۱۸  | ۱۸/۰۰  | ۰/۴۰  | -۰/۳۷  |

\*\*\*کد ۱: عمق ۲۰-۰۰ سانتی متر خاک و کد ۲: ۸۰-۲۰ سانتی متر خاک

جدول ۲- اجزای مربوط به تغییرنمای (واریوگرام) همسان گرد خصوصیات خاک مورد بررسی

| پارامتر خاک      | مدل تغییرنما | اثر قطعه‌ای<br>Nugget effect | آستانه<br>Sill | دامنه تأثیر<br>(m)Range | C/C <sub>0</sub> +C | اثر قطعه‌ای به<br>آستانه | ضریب تبیین<br>R <sup>2</sup> |
|------------------|--------------|------------------------------|----------------|-------------------------|---------------------|--------------------------|------------------------------|
| سنگریزه ۱        | کروی         | ۰/۰۰۲۳                       | ۱/۱۷۲۶         | ۳۸۱۰                    | ۰/۹۹۸               | ۰/۰۰۱۹                   | -۰/۷۲۵                       |
| سنگریزه ۲        | کروی         | ۰/۰۰۲۳                       | ۱/۰۳۳۵         | ۱۹۷۰                    | ۰/۹۹۸               | ۰/۰۰۱۹                   | ۰/۶۴۷                        |
| رس ۱             | خطی          | ۰/۹۶۳۴                       | ۰/۹۶۳۴         | ۶۷۸۰/۴۸                 | ۰                   | ۱                        | ۰/۲۶۴                        |
| رس ۲             | نمایی        | ۰/۷۹۷۹                       | ۱/۵۹۵۹         | ۱۳۸۶۰                   | ۰/۵                 | ۰/۴۹                     | -۰/۴۵۹                       |
| سیلت ۱           | خطی          | ۰/۹۴۴۵                       | ۰/۹۴۴۵         | ۶۷۸۰/۴۸                 | ۰                   | ۱                        | ۰/۰۰۸                        |
| سیلت ۲           | خطی          | ۰/۹۵۸۳                       | ۰/۹۵۸۳         | ۶۷۸۰/۴۸                 | ۰                   | ۱                        | ۰/۲۵۷                        |
| شن ۱             | گوسی         | ۰/۹۳۲۴                       | ۱/۸۶۶۱         | ۲۱۱۰۰                   | ۰/۵                 | ۰/۴۹                     | ۰/۳                          |
| شن ۲             | نمایی        | ۰/۶۴۷۴                       | ۲/۳۰۶۴         | ۱۴۲۱۰                   | ۰/۷۱۹               | ۰/۲۸                     | ۰/۴۴۸                        |
| آهک ۱            | کروی         | ۰/۱۸۵۳                       | ۱/۰۶۰۴         | ۳۳۲۰                    | ۰/۸۲۵               | ۰/۱۷                     | -۰/۴۱۴                       |
| آهک ۲            | نمایی        | ۰/۷۸۹۲                       | ۱/۵۷۹۱         | ۱۳۳۶۰                   | ۰/۵                 | ۰/۴۹                     | ۰/۱۶۴                        |
| ماده آلی ۱       | کروی         | ۰/۳۲۱۷                       | ۰/۹۴۲۶         | ۱۱۳۰                    | ۰/۶۵۹               | ۰/۳۴                     | ۰/۲۴                         |
| ماده آلی ۲       | نمایی        | ۰/۸۴۷۹                       | ۱/۶۹۸۷         | ۲۱۱۰۰                   | ۰/۵۰۱               | ۰/۴۹                     | ۰/۴                          |
| هدایت الکتریکی ۱ | خطی          | ۰/۲۲۴۷                       | ۰/۹۴۷۷         | ۷۶۰                     | ۰/۷۶۳               | ۰/۲۳                     | ۰/۴۵                         |
| هدایت الکتریکی ۲ | کروی         | ۰/۳۰۷۷                       | ۰/۹۴۹۹         | ۱۸۲۰                    | ۰/۶۷۶               | ۰/۳۲                     | ۰/۳۲                         |

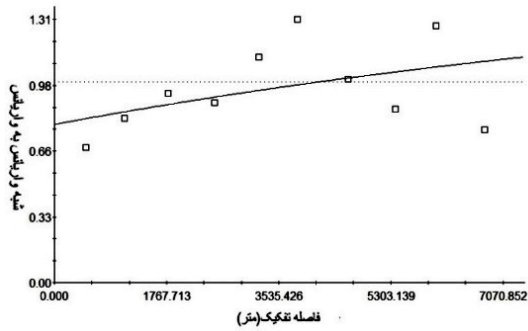
\*\*\*کد ۱: عمق ۲۰-۰۰ سانتی متر خاک و کد ۲: ۸۰-۲۰ سانتی متر خاک

نشان‌دهنده همبستگی مکانی قوی این پارامترها می‌باشد. پارامترهای شن و ماده آلی هر دو عمق، آهک و رس و هدایت الکتریکی عمق دوم خاک به علت داشتن اثر قطعه‌ای

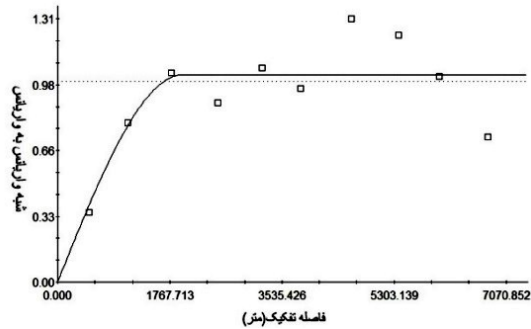
با توجه به جدول ۲ نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه برای بعضی از خصوصیات خاک (سنگریزه هر دو عمق، آهک و هدایت الکتریکی عمق اول) کمتر از ۰/۲۵ است که

عمق یک به دست آمد که می‌توان گفت این پارامترها فاقد ساختار مکانی و دارای اثر قطعه‌ای خالص بودند.

به آستانه ۰/۷۵-۰/۲۵ همبستگی مکانی متوسط را نشان می‌دهد و این نسبت برای رس عمق اول و سیلت هر دو



(ب)

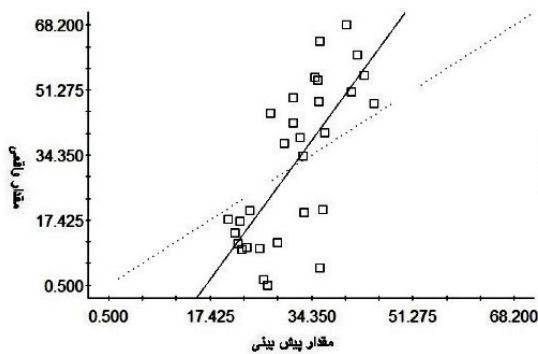


(الف)

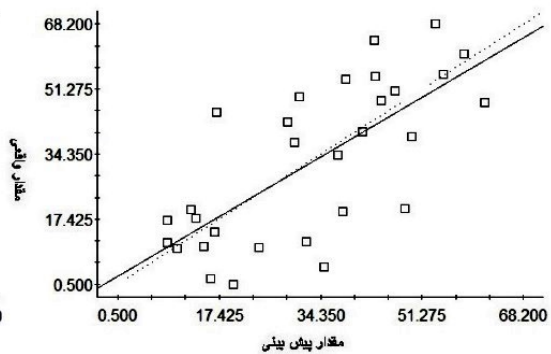
شکل ۲- مدل تغییرنمای (خط) برازش داده شده بر مدل تغییرنمای تجربی (نقطه) برای (الف) سنگریزه عمق دوم (۲۰ تا ۸۰ سانتی‌متر)، (ب) آهک مربوط به عمق دوم خاک (۲۰ تا ۸۰ سانتی‌متر)

است. شایان ذکر است که هر چه انطباق خط ممتد بر خط چین (با زاویه ۴۵ درجه) بیشتر باشد، برآوردها ناریب‌تر و صحت آنها بیشتر است.

شکل ۳ و ۴ نمودارهای ارزیابی متقابل را برای متغیرهای درصد آهک و سنگریزه عمق دوم با استفاده از روش کریجینگ و میانگین متحرک وزن‌دار نشان می‌دهد. در این نمودارها مقادیر واقعی در برابر مقادیر برآورد شده آمده

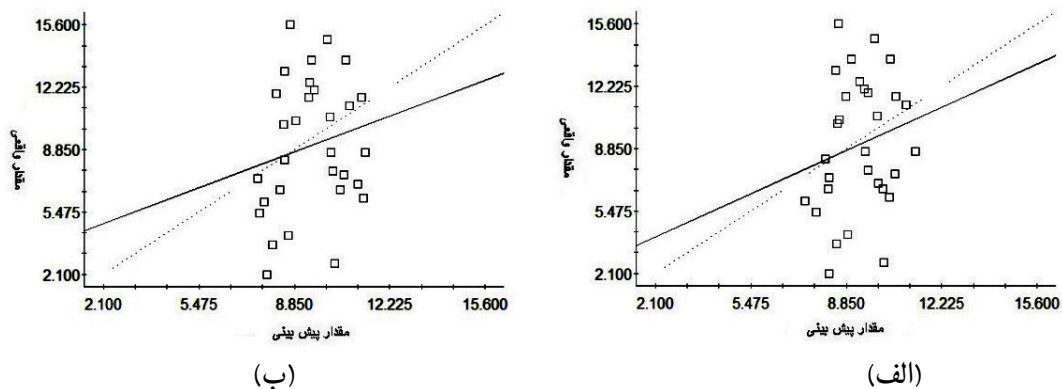


(ب)



(الف)

شکل ۳- نمودار ارزیابی متقابل برآورد سنگریزه عمق دوم خاک منطقه با استفاده از روش‌های (الف) کریجینگ نقطه‌ای و (ب) وزن‌دهی معکوس فاصله



شکل ۴- نمودار ارزیابی متقابل برآورد آهک عمق دوم خاک منطقه با استفاده از روش‌های (الف) کریجینگ نقطه‌ای و (ب) وزندهی معکوس فاصله (IDW)

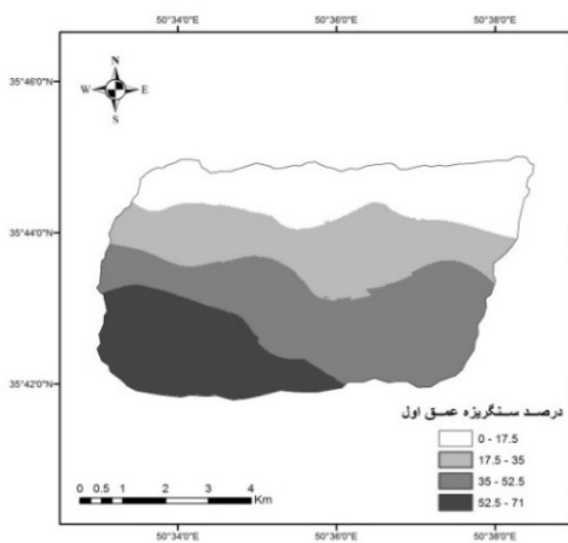
نقشه‌های این پارامترها با استفاده از روش درونیابی کریجینگ در نرم‌افزار GIS تهیه شد که برخی از آنها در شکل‌های ۵ تا ۸ آمده است. برای سایر پارامترهای خاک شامل هدایت الکتریکی و شن عمق اول و سیلت عمق دوم، MAE و MBE مربوط به روش IDW از روش کریجینگ کمتر است که نقشه‌های این پارامترها در نرم‌افزار GIS با تکنیک IDW تهیه شده و برخی از آنها در شکل‌های ۹ و ۱۰ آورده شده است.

جدول ۳ نتایج حاصل از مقایسه بین دقت روش‌های مختلف آمار مکانی با استفاده از روش ارزیابی متقابل را نشان می‌دهد. با مقایسه میانگین خطا و میانگین انحراف روش‌های درونیابی مشاهده می‌شود که MAE و MBE مربوط به روش کریجینگ برای اغلب پارامترهای خاک شامل سنگریزه، ماده آلی، رس و آهک دو عمق خاک و پارامترهای EC و شن عمق دوم و سیلت عمق اول از روش IDW کمتر است. با توجه به ویژگی‌های واریوگرام،

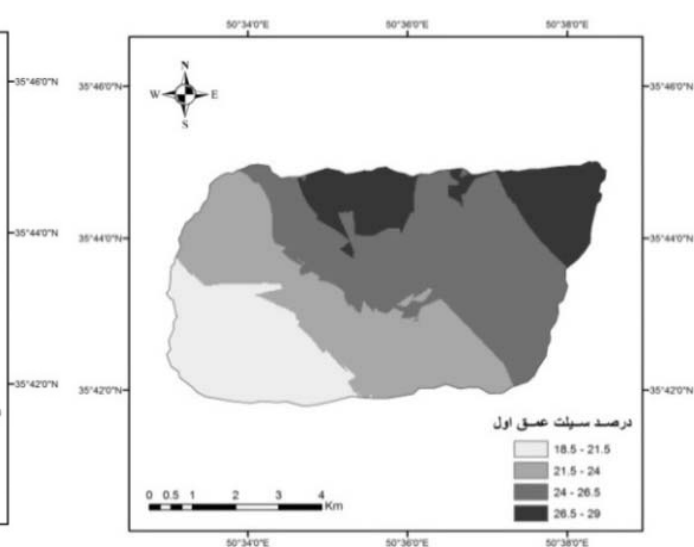
جدول ۳- مقایسه دقت روش‌های مختلف آمار مکانی با استفاده از روش ارزیابی متقابل

| IDW    | Point Kriging | پارامتر آماری | عمق   |         |
|--------|---------------|---------------|-------|---------|
| -۱/۹۴۸ | ۰/۴۶۰         | MBE           | ۰-۲۰  | سنگریزه |
| ۱۳/۰۸۵ | ۷/۵۶۶         | MAE           |       |         |
| -۰/۶۷  | ۰/۶۶          | MBE           | ۲۰-۸۰ |         |
| ۱۳/۹۰۲ | ۱۱/۴۶۴        | MAE           |       |         |
| -۰/۳۴۷ | -۰/۲۹۵        | MBE           | ۰-۲۰  | رس      |
| ۵/۸۸۳  | ۵/۷۴۱         | MAE           |       |         |
| -۰/۴۹۸ | -۰/۳۹۸        | MBE           | ۲۰-۸۰ |         |
| ۶/۹۴۶  | ۶/۸۰۹         | MAE           |       |         |
| ۰/۷۲۱  | ۰/۷۱۵         | MBE           | ۰-۲۰  | سیلت    |
| ۵/۴۳۰  | ۵/۱۶۶         | MAE           |       |         |
| ۰/۴۹۹  | ۰/۵۶۹         | MBE           | ۲۰-۸۰ |         |
| ۵/۸۴۹  | ۵/۹۶۸         | MAE           |       |         |

|        |        |     |       |          |
|--------|--------|-----|-------|----------|
| -۰/۳۷۸ | -۰/۴۴۲ | MBE | ۰-۲۰  | شن       |
| ۶/۴۵۰  | ۶/۹۴۷  | MAE |       |          |
| ۰/۰۱۲  | ۰/۰۶۸  | MBE | ۲۰-۸۰ |          |
| ۷/۴۸۹  | ۶/۷۲۷  | MAE |       |          |
| -۰/۲۷۳ | ۰/۰۴۲  | MBE | ۰-۲۰  | آهک      |
| ۲/۷۲۶  | ۲/۱۸۱  | MAE |       |          |
| ۰/۳۶۹  | ۰/۲۴۲  | MBE | ۲۰-۸۰ |          |
| ۳/۰۲۳  | ۲/۹۸۳  | MAE |       |          |
| -۰/۰۲۰ | -۰/۰۱۷ | MBE | ۰-۲۰  | ماده آلی |
| ۰/۱۴۶  | ۰/۱۳۹  | MAE |       |          |
| -۰/۰۲۴ | -۰/۰۱۴ | MBE | ۲۰-۸۰ |          |
| ۰/۱۶۵  | ۰/۱۵۷  | MAE |       |          |
| ۰/۱۵۸  | ۰/۲۸۵  | MBE | ۰-۲۰  | EC       |
| ۳/۱۸۳  | ۳/۴۴۹  | MAE |       |          |
| -۰/۰۱۹ | ۰/۰۱۸  | MBE | ۲۰-۸۰ |          |
| ۳/۴۲۳  | ۲/۷۹   | MAE |       |          |

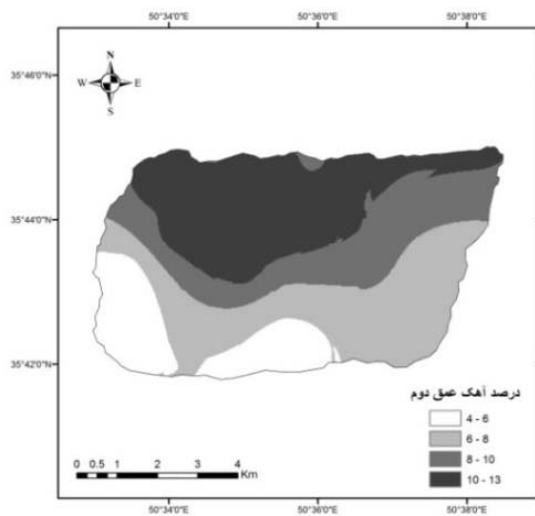


شکل ۵- نقشه درصد سنگریزه عمق اول با کریجینگ

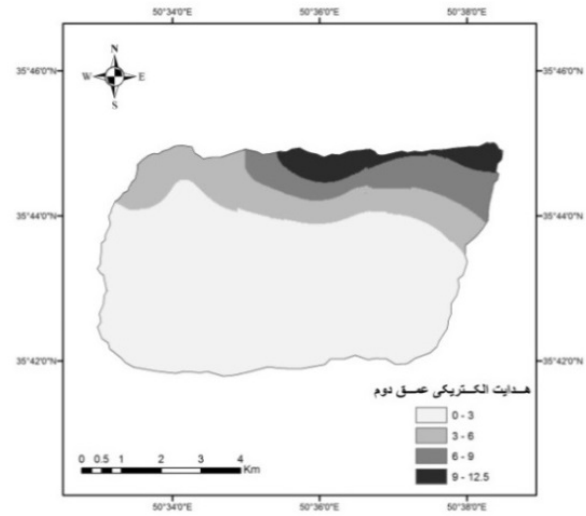


شکل ۶- نقشه درصد سیلت عمق اول با کریجینگ

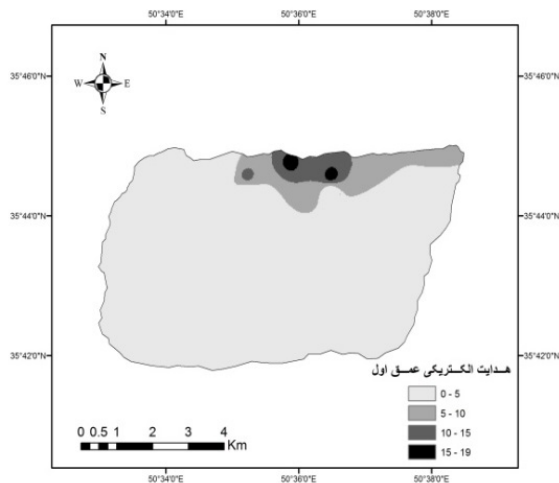




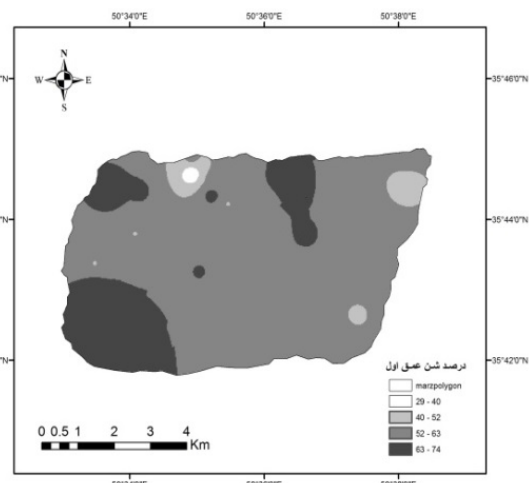
شکل ۸- نقشه هدایت الکتریکی عمق دوم با کریجینگ



شکل ۷- نقشه درصد آهک عمق دوم با کریجینگ



شکل ۱۰- نقشه درصد شن عمق اول با IDW



شکل ۹- نقشه EC عمق اول با IDW

است و هر چه کمتر باشد بهتر است (Alexandra & Bollock, 1999). Zarechahouki و همکاران (۲۰۱۳) برای درون‌یابی EC، آهک و شن خاک، کریجینگ را روش دقیق‌تری معرفی کردند. همچنین این نتیجه با نتیجه پژوهش Toranjzar و Zarechahouki (۲۰۱۳) که برای درون‌یابی شن و هدایت الکتریکی عمق دوم خاک روش کریجینگ معمولی را استفاده کردند، مطابقت دارد. همچنین با نتایج Jiachun و Haizhen (۲۰۰۷) که طی پژوهشی در چین روش کریجینگ را روش مناسبی برای درون‌یابی ماده آلی

## بحث

نتایج به دست آمده از روش ارزیابی متقابل نشان می‌دهد که MAE و MBE مربوط به روش کریجینگ برای اغلب پارامترهای خاک شامل سنگریزه، ماده آلی، رس و آهک دو عمق خاک و پارامترهای هدایت الکتریکی و شن عمق دوم و سیلت عمق اول از روش IDW کمتر است (جدول ۳). MAE معرف دقت روش و مقدار متوسط خطاست که هر چه به صفر نزدیک باشد، بهتر است و MBE نشان‌دهنده میانگین انحراف معیار مقدار برآوردی از مقدار مشاهده‌ای

شده داشتند. البته هر چه شعاع تأثیر متغیری بیشتر باشد دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر، پراکنش رنددار و در حقیقت پیوستگی مکانی بیشتر در مقادیر متغیر مورد نظر دارد (Hasani Pak, 1998).

به‌طور کلی می‌توان بیان کرد در بین روش‌های مختلف درون‌یابی، روش کریجینگ از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. طبق نظر برخی از پژوهشگران نیز، این روش به‌عنوان بهترین روش درون‌یابی و تخمین در نقاط فاقد آمار در مناطق همگن می‌تواند عمل کند (Delfiner & Delhomme, 1975 و Cressies, 1993). در ایران از کریجینگ استفاده‌های فراوانی می‌شود، برای ساخت نقشه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. Hosseini و همکاران (۲۰۱۲) نیز روش کریجینگ را روش مناسبی برای درون‌یابی خصوصیات شیمیایی خاک معرفی کردند. این روش نیاز به محاسبات قبلی و تعیین نحوه همبستگی مکانی داده‌های صحرایی دارد که با ترسیم سمی و اریوگرام تجربی و انتخاب مدل ریاضی مناسب که بتواند بر نقاط آن برازش شود قابل انجام است (Rahimian & Abdollahi, 2007).

از مزیت‌های نقشه‌های تولیدی، کمی کردن نتایج حاصل است که موجب قابلیت باز تولیدی و بهنگام‌سازی اطلاعات بدست آمده می‌گردد. با توجه به ماهیت کمی این گونه نقشه‌ها، از آنها می‌توان به‌عنوان لایه‌های مختلف اطلاعاتی در سیستم‌های اطلاعات به‌منظور تجزیه و تحلیل‌های کمی و مدلسازی جغرافیایی بهره جست. در مبحث مدلسازی رویشگاه، از آنجاکه از مهمترین عوامل مؤثر بر حضور رویشگاه گونه‌های گیاهی، خصوصیات خاک است، این نقشه‌ها می‌تواند همراه با پوشش گیاهی به‌عنوان معیارهای توصیفی برای ارائه مدل پیش‌بینی حضور رویشگاه استفاده شود و چنانچه برای تهیه نقشه‌ها از روش آمار مکانی دقیق‌تری استفاده شود روش‌های مدلسازی با دقت و صحت بیشتری می‌توانند حضور رویشگاه گونه‌های گیاهی را پیش‌بینی کنند.

#### منابع مورد استفاده

دانستند، تطابق دارد. Esfandiarpour و همکاران (۲۰۱۰) نیز برای ارزیابی پراکنش مکانی درصد رس روش کریجینگ را بهترین روش معرفی کردند. اما زارع چاهوکی و همکاران (۱۳۹۲) IDW را در مقایسه با کریجینگ روش مناسبتری برای درون‌یابی درصد رس دانستند.

برای سایر پارامترهای خاک اندازه‌گیری شده شامل شن و EC عمق اول و سیلت عمق دوم MAE و MBE مربوط به روش IDW از روش کریجینگ کمتر است. برخی پژوهشگران از جمله Weber و Englund (۱۹۹۴) روش وزن‌دهی معکوس فاصله را روش بهتری نسبت به سایر روش‌ها، از جمله کریجینگ معرفی کرده‌اند. پژوهشگران دیگری نیز در پهنه‌پندی کربن آلی کل خاک نتایج مشابه بدست آوردند (Gotway et al., 1996). این امر نشان‌دهنده این است که دقت روش‌های آمار مکانی در موقعیت‌های مختلف متفاوت است و در هر منطقه باید روش‌های مختلف درون‌یابی آزمون شود.

در بررسی نسبت اثر قطعه‌ای به آستانه (جدول ۲) نتیجه گرفته شد که متغیرهای سیلت هر دو عمق و رس عمق اول فاقد ساختار مکانی بودند که در چنین شرایطی تغییرات داده‌ها مستقل از یکدیگر بوده و اصل همبستگی مکانی (فاصله کمتر، شباهت بیشتر و بعکس) در مقیاس مطالعاتی موردنظر برقرار نمی‌باشد (Mohammadi, 2001). همچنین می‌توان نتیجه گرفت که این متغیرها ممکن است در مقیاس‌های کوچکتر از مقیاس به‌کار رفته در این تحقیق، وابستگی مکانی داشته باشند. این نسبت برای سنگریزه هر دو عمق، آهک و هدایت الکتریکی عمق اول ساختار مکانی قوی را نشان داد که نشان می‌دهد تغییرپذیری این ویژگی‌ها می‌تواند تابعی از بعد مکانی و فواصل باشد. وابستگی مکانی قوی ممکن است به‌وسیله تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک مثل بافت خاک و کانی‌شناسی و وابستگی مکانی ضعیف‌تر ممکن است توسط تغییرات غیرذاتی کنترل شود (Cambardella et al., 1994). شعاع تأثیر داده‌ها دامنه‌ای بین ۷۶۰ تا ۲۱۱۰۰ متر را شامل می‌شود. ماده آلی و آهک عمق دوم بیشترین شعاع تأثیر را در بین متغیرهای بررسی

- Spatial distribution of heavy metals in soils: a case study of Changxing, China. *Environmental Geology*, 52:1-10.
- Mohammadi, J., 1999. Study of the spatial variability of soil salinity in Ramhormoz area (Khuzestan) using geostatistical theory II. cokriging. *JWSS - Isfahan University of Technology*. 3(1) :1-8.
- Mohammadi, J., 2001. Review on fundamentals of geostatistics and its application to soil science. *Journal of Water and Soil*, 15:99-121.
- Neal, M., H., Khademi, M. A. and Hajabbasi, 2004. Response of Soil quality indicators and their spatial Variability to land degradation in central Iran. *Applied Soil Ecology* 27: 221-232.
- Pcerri, C. E., M .Bernoux, V. and Chaplot, 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon pasture. *Geodrama*, 123:51- 68.
- Robinson, T. P., Metternicht, G., 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computer and Electronics in Agriculture*, 50:97-108.
- Razack, M. and Lasm, T., 2006. Geostatistical estimation of the transmissivity in a highly fractured metamorphic and crystalline aquifer (Man-Danane Region, Western IvoryCoast). *Journal of Hydrology*, 325: 164-178.
- ToranjZar, H., Zarechahouki, M. A., 2014. Comparison of geostatistical methods for prediction of soil parameter in plant community of Nitrariaschoberi(arid regions). *Journal of Range and Watershed Management*, 66(4):509-519.
- Vieira, S. R. and Gonzalez. A. Paz., 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia Campinas*, 62: 127-138.
- Voltz, M. and Goulard, M., 1994. Spatial interpolation of soil moisture retention curves. *Geoderma*, 62:109-123.
- Wakernagel, H., 2002. *Multivariate geostatistics*. Springer press, 387p.
- Weber, D. D. and Englund, E. J., 1994. Evaluation and comparison of spatial interpolators II. *Mathematical Geology*, 26(5): 589-603.
- Zarechahouki, M. A., ZareErnani, M., ZareChahouki, A. and KhalasiAhvazi, L., 2010. Application of spatial statistical methods in predictivemodels of plant species habitat. *Arid Biom Scientific and Research Journal*, 1(1):13-24.
- Zarechahouki, M. A., KhalasiAhvazi, L., Azarnivand. H. and ZareChahouki, A., 2013. Preparing the spatial distribution of soil factors by interpolation methods in east rangeland of Semnan. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(3):387-399.
- Abdollahi, J. and Rahimian, M. H., 2007. Determination of the best geo-statistical model for field data interpolation using remote sensing. *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 14 (2): 156-170.
- Alexandra, K. and Bollock, G., 1999. A comparative study of interpolation methods for mapping soil properties. *Agronomy Journal*, 91:393-400.
- Bosun, S. Z. and Qiguo, Z., 2003. Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical, China. *Geoderma* 115:85-99.
- Cambardella, C. A., Moorman, T. B., Parkin, T. B., Karlen, D. L., Turco. R. F. and Konopka. A. E., 1994. Field scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society American Journal*, 58: 1501-1511.
- Cressies, N., 1993. *Statistics for spatial data*, John Wiley and Sons press, 928p.
- Delfiner, P. and Delhomme, J. P., 1975. Optimum interpolation by kriging. 96-114. In: Davis J. D. and McCullagh M. J. (Eds), *Display and Analysis of Spatial Data*. New York, John Wiley and Sons.
- Esfandiarpour Borujeni, I., Mohammadi, J. Salehi, M. H., Toomanian, N. and Poch, R. M., 2010. Assessing geopedological soil mapping approach by statistical and geostatistical methods: A case study in the Borujen region, Central Iran. *Catena*, 82 , 1-14.
- Goovaerts, P. and Webster, R., 1994. Scale-dependent correlation between topsoil copper and cobalt concentrations in Scotland. *European Journal of Soil Science*, 45:79-95.
- Gotway, C. A., Hergert, G. W., Ferguson, R. B. and Peterson, T. A., 1996. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soilparameters. *Soil Science Society of America Journal*, 60 (4): 1237-1247.
- HasaniPak, A., 1998. *Geostatistics*. University of Tehranpress.314p.
- Hosseini, E., Gallichand, J. and Caron, J., 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in south west Iran. *Transactions of the ASAE*, 37(6):1799-1807.
- Hosseini, V., Akhavan, R. and Tahmasebi, M., 2012. Effect of Pistachio (*Pistaciaatlantica*) canopy on the spatial distribution of soil chemical characteristics (Case study: Sarvabad, Kurdistan). *Iranian Journal of Forest*, 4(1): 13-24.
- Jafarihaghighi, M., 2003. *Methods of soil analysis: physical and chemical analysis and sampling, with emphasis on theory and practical*. NedayeZohapress. 236p.
- Jiachun, Sh., Haizhen, W., Jianming, X., Jianjun. W., Xingmei, L., Haiping, Zh., Chunlan, Yu., 2007.

## Comparison of spatial statistical methods for mapping of soil properties (Case Study: Rangelands of Eshtehard)

N. Naseri Hesar<sup>1</sup>, M. A. Zare Chahouki<sup>2\*</sup> and M. Jafari<sup>3</sup>

1-Ph.D. Student, Department of Rangeland Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, Gorgan, Iran.

2\*- Corresponding author, Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, Email: mzare@ut.ac.ir

3- Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received:5/11/2014

Accepted:12/7/2014

### Abstract

Spatial correlation is the first step in the interpolation of field data and mapping of soil properties.

The aim of this research was to study the efficiency of two spatial statistics methods i.e., Kriging and inverse distance weighting for mapping of soil properties. Five sampling units were selected in the region, and the location of soil profiles was so determined to cover the whole area. In each unit, six profiles and totally 30 soil profiles were dug in the whole area. Soil samples were taken from two depths of 0-20 cm and 20-80cm. Soil variables including gravel, clay, silt, lime, organic matter, pH and EC were measured in both soil depths. In the GS<sup>+</sup> software, the accuracy of two spatial statistics methods was tested using cross validation with the help of two statistical parameters: MAE and MBE. According to the results, MAE and MBE, related to the Kriging method, for the majority of soil parameters, are less than that of inverse distance weighting method; therefore, Kriging is a more accurate method to interpolate soil properties.

**Keywords:** Spatial statistics, Kriging, inverse distance weighting, Rangelands of Eshtehard.