

## اثر تراکم نمونه‌برداری بر دقت تخمین برخی از ویژگی‌های خاک در دشت شهرکرد

نرگس حسین‌زاده<sup>۱\*</sup> - محمدحسن صالحی<sup>۲</sup> - جهانگرد محمدی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۱

### چکیده

انجام مطالعات خاکشناسی با دقت کافی همراه با کاهش هزینه و زمان، یکی از اهداف محققین بوده است. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر تراکم نمونه‌برداری بر دقت تخمین آماری و زمین‌آماری برخی از ویژگی‌های خاک در دشت شهرکرد انجام شد. بدین منظور، ۲۴۰ نمونه سطحی خاک (افق A) به فاصله‌ی ۱۲۵ متری از یکدیگر برداشت گردید. سپس، ویژگی‌های مختلف شامل جرم‌مخصوص ظاهری، بافت خاک، درصدحجمی سنگریزه، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد ماده‌ی آلی، pH و قابلیت هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شد. تراکم‌های نمونه‌برداری دوم (۱۲۰ نمونه) و سوم (۶۰ نمونه) به صورت تصادفی و با حفظ توزیع نسبتاً یکنواخت در کل منطقه، از نمونه‌های اولیه (۲۴۰ نمونه) انتخاب شد. مقایسه میانگین نشان داد تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های مورد مطالعه در تراکم‌های مختلف نمونه‌برداری وجود ندارد. با کاهش تعداد نمونه‌ها افزایش و یا کاهش منظمی در ضریب تغییرات، میانگین خطای تخمین و جذر میانگین مربع خطای محاسبه شده برای سه تراکم نمونه‌برداری نیز مشاهده نشد. در اعتبارسنجی پارامترهای کریجینگ با استفاده از ۵۰ نقطه نمونه‌برداری مجزا از نمونه‌های اصلی نیز مقادیر میانگین خطای تخمین نزدیک به صفر و مقادیر ریشه میانگین مجذور خطا پائین بود که بیانگر دقت قابل قبول تخمین در سه تراکم مورد مطالعه می‌باشد. هم‌خوانی چشمی و کمی نقشه‌های کریجینگ مربوط به سه تراکم نمونه‌برداری برای اغلب ویژگی‌ها بالا و بسیار نزدیک به هم بود که حاکی از میزان هم‌خوانی زیاد این نقشه‌ها بود. بنابراین، مطالعات نیمه‌تفصیلی می‌تواند جایگزین مطالعات تفصیلی برای بررسی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه در منطقه حاضر گردد و هزینه و زمان مطالعات را کاهش دهد.

**واژه‌های کلیدی:** تراکم نمونه‌برداری، دقت تخمین، همخوانی

### مقدمه

موقعیت خاک‌های مختلف و در نتیجه، تهیه‌ی نقشه‌ای با دقت بیشتر وجود خواهد داشت (۴).

تغییرات مکانی ویژگی‌های مختلف خاک از جمله بافت، رطوبت، شوری و قلیائیت خاک، ظرفیت تبادل کاتیونی نقش مهمی در فرایندهایی همچون نفوذ و رواناب، فرسایش خاک و سیلاب، حاصلخیزی خاک و جذب عناصر غذایی و غیره ایفاء می‌کنند (۱۰). استفاده از علم زمین‌آمار در راستای نقشه‌برداری ویژگی‌های خاک می‌تواند تضمین‌کننده اهداف کشاورزی دقیق باشد. تراکم نمونه‌برداری به معنی تعداد مشاهدات صحرائی برای شناسایی خاک‌هاست. بدیهی است در مطالعاتی که دقت بیشتری مورد انتظار است و نیز در مناطقی که خاک از پیچیدگی بیشتری برخوردار است مشاهدات بیشتری باید صورت گیرد (۸). دامنه‌ی تأثیر در واریوگرام فاصله‌ای است که در ماورای آن نمونه‌ها بر هم تأثیری نداشته و آن‌ها را می‌توان مستقل از یکدیگر محسوب نمود. دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک، تابعی از مقیاس و فاصله نمونه‌برداری و موقعیت سیمای اراضی می‌باشد (۹).

وانگ (۲۷) با بررسی تغییرپذیری ویژگی‌های خاک در ارتباط با

خاک، به‌عنوان جزئی از طبیعت هم‌دارای تغییرپذیری ذاتی است که در نتیجه‌ی برهم‌کنش فاکتورهای تشکیل‌دهنده آن است و هم‌دارای تغییرپذیری غیر ذاتی است که حاصل مدیریت کشت و کار، استفاده از اراضی و فرسایش می‌باشد (۲۶). تأثیر متقابل فاکتورها و فرایندهای خاکساز، خاک‌هایی با ویژگی‌های متفاوت ایجاد می‌کند که کاربری صحیح از آن‌ها مستلزم شناخت و تعیین موقعیت جغرافیای آن است. علم نقشه‌برداری خاک می‌کوشد تا حد امکان، خاک‌های متفاوت را از یکدیگر جدا نموده و بر روی نقشه نمایش دهد. در این رابطه، هر چه آگاهی، هنر و تجربه نقشه‌بردار در علم پدولوژی و مطالعات صحرائی بیشتر باشد و تأثیر فاکتورهای خاکساز بر روی تشکیل خاک و نیز تعیین ارتباط نوع خاک‌ها و ویژگی‌های آن‌ها با سیمای اراضی بهتر شناخته شود، امکان تخمین

۱، ۲ و ۳ - به ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\* - نویسنده مسئول: (Email: narges\_nh\_n@yahoo.com)

خصوصیات سطحی خاک بجز ماده‌ی آلی در نقشه‌ی خاک تفصیلی کوچکتر از نقشه‌ی خاک اجمالی بود. آن‌ها استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سنجش از دور (RS) و زمین‌آمار را برای بهبود روش‌های نقشه برداری و نمونه برداری پیشنهاد کردند.

اسفندیارپور و همکاران (۱) به منظور مقایسه‌ی اثر مقیاس بر صحت نتایج ژئوپدولوژی، تراکم نمونه برداری در سه سطح مقیاس مختلف، شامل فواصل ۵۰۰ (سه پروفیل)، ۲۵۰ (شش پروفیل) و ۱۲۵ (نوزده پروفیل) متری طراحی کردند؛ به طوری که برخی از پروفیل‌های حفر شده در فواصل نمونه برداری سه‌گانه، مشترک بودند. اعتبار نتایج حاصل از سه فاصله‌ی نمونه برداری انجام شده در منطقه -ی تعمیم مورد بررسی قرار گرفت. علی‌رغم مشابهت نوع واحد نقشه برای هر سه مقیاس، تفاوت‌هایی در رابطه با نوع خاک و تعداد اجزای نقشه مشاهده گردید. هفت فامیل خاک در فواصل نمونه برداری ۱۲۵ متر تشخیص داده شدند که این خاک‌ها هرگز در فواصل ۵۰۰ و ۲۵۰ متری شناسائی نشده بودند.

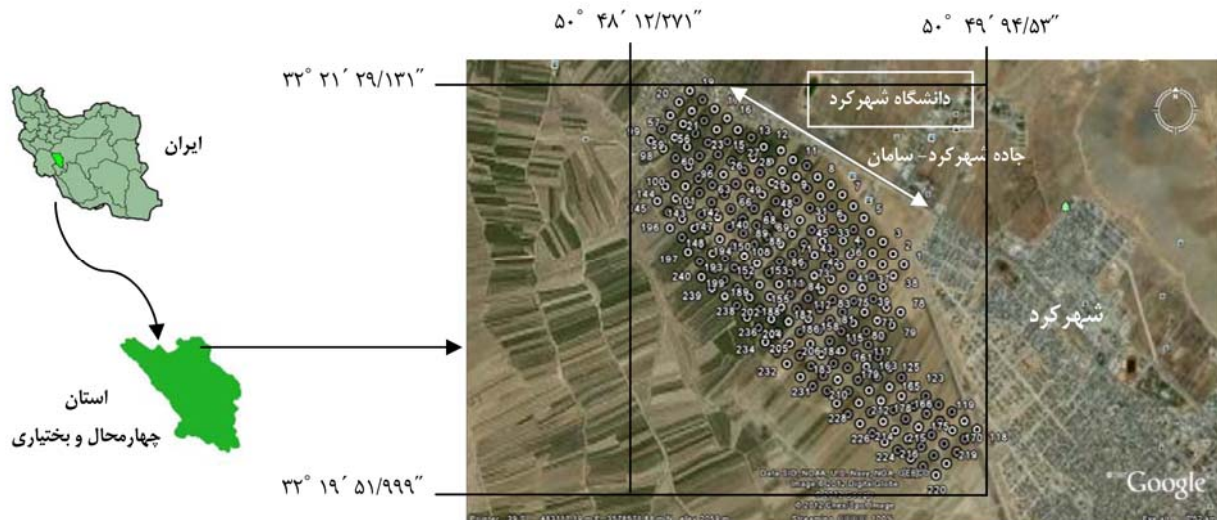
صفتی و همکاران (۵) دو محدوده (یکی به‌عنوان منطقه‌ی نمونه و دیگری، به‌عنوان منطقه‌ی تعمیم) از یک واحد همگون نقشه‌ی خاک تفصیلی را انتخاب و از هر محدوده، ۸۰ نمونه‌ی خاک سطحی، برداشت کردند و نقشه‌های ویژگی‌های آن را ترسیم نمودند. سپس، با توجه به پارامترهای مدل منطقه‌ی نمونه و با کاهش تعداد نمونه‌های منطقه‌ی تعمیم، نقشه‌های کریجینگ منطقه‌ی تعمیم مجدداً تهیه و با نقشه‌های اصلی آن مقایسه شدند. استفاده از شاخص‌های اعتبارسنجی کاپا و صحت عمومی نشان داد که از طریق تعمیم مدل‌های زمین‌آمار و کاهش تعداد نمونه‌ها، می‌توان متغیرها را در محدوده‌های مشابه، با صرف هزینه و زمان کم‌تر تخمین زد.

پژوهش‌های اخیر، بر بهینه‌سازی تراکم و فاصله‌ی نقاط نمونه برداری، با توجه به ویژگی‌های محلی زمین‌نما متمرکز شده‌اند (۱۲، ۱۹ و ۲۳). یافته‌های شنگ و همکاران (۲۳) حاکی از آن است که افزایش تراکم نمونه برداری ضمن کاهش ضریب تغییرات ویژگی ماده‌ی آلی خاک، اطلاعات مفیدتری را به منظور مدل‌سازی تغییرات زمانی ماده‌ی آلی فراهم می‌آورد. سهرآوات و همکاران (۱۹) با به‌کارگیری ۲۰ فاصله‌ی مختلف نمونه برداری، تفاوت معنی‌داری در مقادیر میانگین و ضریب تغییرات ماده‌ی آلی خاک ملاحظه نکردند. ایشان تغییرات ناچیز شیب و یکنواختی عملیات مدیریتی در منطقه را مهم‌ترین دلایل نتیجه‌ی مزبور عنوان نمودند. صالحی و همکاران (۲۲) نشان دادند که از طریق تعمیم مدل‌های زمین‌آمار و کاهش تعداد نمونه‌ها، می‌توان متغیرها را در محدوده‌های مشابه، با صرف هزینه و زمان کم‌تر و دقت قابل قبولی تخمین زد. هدف اصلی تحقیق حاضر تهیه نقشه‌های پیوسته و بررسی دقت تخمین برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در تراکم‌های مختلف نمونه برداری می‌باشد.

اندازه محدوده‌های نقشه در دو گروه کوچک و بزرگ، به این نتیجه رسید که در بین ویژگی‌های اندازه‌گیری شده (شامل ماده‌ی آلی، رنگ، pH، ظرفیت تبادل کاتیونی و میزان رس خاک)، pH و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک سطحی و pH خاک زیرسطحی، تفاوت قابل توجهی بین محدوده‌های کوچک و بزرگ دارند و اگرچه واحد نقشه نسبتاً یکنواخت در نظر گرفته شده بود، دامنه‌ی تغییر تمام ویژگی‌ها بزرگ بود. همچنین بیان کردند که ضریب تغییرپذیری همه ویژگی‌های اندازه‌گیری شده از خاک سطحی بزرگتر از خاک زیرسطحی بود و واریانس این ویژگی‌ها بین محدوده‌های دو گروه متفاوت نبود.

سولی و همکاران (۲۴) تحقیقی را به منظور تعیین دامنه‌ی تأثیر متغیرهای خاک بر عملکرد و برآورد حداقل مقیاس مکانی که برای کاربرد نرخ متغیر عناصر غذایی باید در نظر گرفت، انجام دادند. دامنه‌ی همبستگی بین ۱/۹ تا ۱/۴ متر بودند. در یکی از مناطق سمی‌واریوگرام فسفر سقف‌های تودرتو با چندین دامنه‌ی تأثیر نشان داد. نتایج نشان دادند که عناصر خاک احتمالاً "در فاصله‌ی کمتر از یک متر تغییر می‌کنند. ایشان با بررسی تغییرپذیری خاک و عملکرد در فواصل کمتر از یک متر، برای فاکتورهای ازت، ماده آلی، pH، فسفر، پتاسیم، تولید علوفه و میزان ازت علوفه، دامنه‌ی تأثیر ۲ تا ۵ متر را بدست آوردند.

از بین فاکتورهای مؤثر بر تغییرپذیری خاک، مقیاس یک موضوع مهم و مورد توجه می‌باشد. به طور کلی، مقیاس بازگوکننده‌ی ابعاد مکانی است که در آن موجودیت‌ها، الگوها و فرآیندها می‌توانند عمل کنند یا مشاهده و مشخص شوند. مقیاس، دربرگیرنده‌ی یک مفهوم پیچیده می‌باشد و در اکثر مطالعات محیطی، مد نظر محققین قرار می‌گیرد (۱). والنتاین (۲۵) دو نقشه از یک منطقه‌ی یکسان، اما با مقیاس‌های متفاوت را مقایسه نمود و متوجه شد که تا ۲۰ درصد از محدوده‌ها یا مرزبندی‌های نقشه‌ی کوچک مقیاس می‌توانند خاک‌های مختلف را در درون خود پنهان سازند و حدود ۱۵ درصد از محدوده‌های نقشه‌ی بزرگ مقیاس ممکن است که در مقایسه با محدوده‌های مشابه خود در نقشه‌ی کوچک مقیاس، بر روی نقشه نمایان گردند. صالحی و همکاران (۲۱) برای مقایسه‌ی تغییرپذیری خاک در دو نقشه تفصیلی با مقیاس ۱/۲۰۰۰۰ و اجمالی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ در استان چهارمحال و بختیاری، پس از تشریح و نمونه‌گیری از ۸۵ پروفیل خاک و اندازه‌گیری ویژگی‌های افق‌های سطحی شامل درصد سنگریزه، شن، سیلت، کربنات کلسیم معادل، ماده‌ی آلی و ضخامت افق، به این نتیجه رسیدند که اگرچه واحدهای نقشه‌ی تفصیلی همگن‌تر هستند اما خلوص واحدهای نقشه در سطوح فامیل و سری‌های خاک کمتر از حد مورد انتظار از راهنمای شناسایی خاک است و در این روش، خلوص واحدها در سطح سری‌های خاک به ترتیب ۱۸/۷۵ تا ۳۳/۳ درصد و صفر تا ۱/۳ درصد در نقشه‌ی خاک اجمالی و تفصیلی بود. همچنین واریانس‌های درون واحدی تمام



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای منطقه‌ی مورد مطالعه

خاک، درصد حجمی سنگریزه، درصد کربنات کلسیم معادل، درصد ماده‌ی آلی، pH و قابلیت هدایت الکتریکی مطابق روش‌های استاندارد انجام و مطالعات آماری و زمین‌آماري در سه سطح تراکم نمونه‌برداری به ترتیب با تعداد ۲۴۰ نمونه (فاصله نمونه‌ها ۱۲۵ متر)، ۱۲۰ نمونه و در نهایت ۶۰ نمونه انجام شد. نقاط مورد نظر در تراکم‌های دوم و سوم نمونه‌برداری به صورت تصادفی از نمونه‌های اولیه انتخاب شد و در عین حال سعی گردید موقعیت و فاصله نمونه‌ها به گونه‌ای باشد که توزیع یکنواختی از کل منطقه را پوشش دهند.

توصیف آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Statistica, 6.0 صورت گرفت. تجزیه و تحلیل ساختار مکانی داده‌ها از طریق محاسبه تغییرنما و با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری Variowin, 2.2 انجام شد. بعد از تعیین و برازش بهترین مدل، نقشه‌های پیوسته هر یک از ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شده توسط نرم‌افزار 8 Surfer تهیه شد. در کنترل اعتبار پارامترهای کریجینگ، با استفاده از روش جک-نایف می‌توان مناسب‌ترین شعاع جستجو و تعداد نقاط همسایه جهت به حداقل رساندن خطای تخمین کریجینگ را به دست آورد. نقشه‌های هر یک از ویژگی‌های خاک در هر مرحله از تخمین (فواصل نمونه‌برداری ۵۰۰، ۲۵۰ و ۱۲۵ متری) با استفاده از پارامترهای محاسبات تغییرنما، کنترل اعتبار تغییرنما و تخمین‌گر کریجینگ معمولی، پهنه‌بندی ویژگی‌ها انجام شد. اعتبارسنجی کمی نتایج در هر مرحله از تخمین با استفاده از داده‌های مستقل ۵۰-تایی و با محاسبه‌ی شاخص‌های اعتبارسنجی از جمله جذر میانگین مربع خطا (RMSE) و جذر میانگین مربع خطای نسبی (RMSE) (%) (۱۳) و میانگین خطای تخمین (ME) با روابط زیر انجام و با یکدیگر مقایسه شدند:

## مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه با وسعتی حدود ۳۷۵ هکتار در استان چهارمحال و بختیاری و در دشت شهرکرد در جهت جنوبی و جنوب غربی جاده‌ی شهرکرد-سامان و روبروی دانشگاه شهرکرد بین عرض‌های جغرافیایی ۳۳° ۱۹' ۵۱/۹۹۹" شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۰° ۴۸' ۱۲/۲۷۱" و ۵۰° ۴۹' ۹۴/۵۳" شرقی واقع شده است (شکل ۱).

این منطقه دارای رژیم حرارتی مزیک و رژیم رطوبتی زیریک می‌باشد و ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا بالغ بر ۲۰۴۸/۹ متر است. بر اساس آمار ۵۰ ساله (۱۳۳۴ تا ۱۳۸۴) مربوط به ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شهرکرد، میانگین بارندگی سالیانه منطقه، ۳۲۱/۵ میلی‌متر و میانگین دمای سالیانه هوا، ۱۱/۸ درجه‌ی سلسیوس می‌باشد. واحدهای فیزیوگرافی اصلی منطقه شامل فلات‌ها و دشت‌های آبرفتی دامنه‌ای می‌باشند و کاربری عمده‌ی اراضی موجود در منطقه شامل کشت آبی گندم، جو، یونجه و اسپرس و قطعات آیش است و در معدود نقاطی نیز زمین به صورت مرتع می‌باشد.

پس از انتخاب محدوده منطقه‌ی مورد مطالعه، ۲۴۰ نمونه‌ی سطحی خاک (افق A) به فاصله‌ی ۱۲۵ متری از همدیگر (در قالب نمونه‌برداری شبکه‌ای) برداشت شد. علاوه بر آن، ۵۰ نمونه‌ی خاک به صورت تصادفی جهت اعتبارسنجی نهائی نتایج حاصل از منطقه‌ی مورد مطالعه برداشت گردید. سپس نمونه‌های خاک هواخشک گردید و بعد از کوبیده شدن از الک دو میلی متری عبور داده شدند. آزمایشات فیزیکی و شیمیایی شامل جرم مخصوص ظاهری، بافت

از بین ویژگی‌های خاک، pH با ضریب تغییرات ۳ درصد در هر سه تراکم نمونه‌برداری دارای کمترین ضریب تغییرات و درصد حجمی سنگریزه با مقدار ۱۱۲ درصد در تراکم اول و دوم و با مقدار ۱۰۲ درصد در تراکم سوم دارای بیشترین ضریب تغییرات است (جدول ۱). با کاهش تعداد نمونه‌ها افزایش و یا کاهش منظمی در ضریب تغییرات (CV)، برای سه تراکم نمونه‌برداری مشاهده نشد.

با توجه به واریوگرام‌های سطحی تهیه شده (به دلیل حجم زیاد آورده نشده‌اند) در مورد هیچ یک از ویژگی‌های خاک در هیچ یک از تراکم‌های نمونه‌برداری ناهمسانگردی مشاهده نشد. اسفندیارپور و همکاران (۱)، رفیع‌الحسینی و محمدی (۳) و لوپز‌گرانادوز و همکاران (۱۵) نیز همسانگردی ویژگی‌های خاک و محصول را گزارش نموده‌اند. با توجه به همسانگرد بودن تمام ویژگی‌های مورد بررسی، واریوگرام‌های همه‌جهته<sup>۲</sup> آن‌ها تهیه و مدل مناسب به آن‌ها برازش داده شد چرا که محاسبه و برازش مدل اولین قدم جهت تخمین به وسیله کریجینگ می‌باشد (به دلیل حجم زیاد، فقط واریوگرام‌های درصد شن و درصد کربنات کلسیم معادل در شکل ۳ و ۴ به‌عنوان نمونه آورده شده‌اند).

شایان ذکر است که تمامی ویژگی‌های مورد بررسی دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سقف‌دار می‌باشند، همچنین در مورد اکثر ویژگی‌ها آستانه، تخمین خوبی از واریانس ویژگی‌ها ارائه می‌دهند. قابل توجه است که ویژگی‌های مورد مطالعه از مدل کروی و نمائی تبعیت نموده‌اند (جدول ۲). این دو مدل، معمول‌ترین مدل‌ها جهت بررسی و مطالعه تغییرپذیری ویژگی‌های خاک و محصول و تخمین کریجینگ در مطالعات علوم خاک هستند (۲، ۹، ۱۶ و ۲۶). بدیهی است که دامنه‌ی تأثیر بزرگ‌تر، دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر دارد (۶). اختلاف بین دامنه تأثیر ویژگی‌های مختلف خاک در مطالعات مختلف گزارش شده است (۲، ۷، ۹ و ۲۶). دوبرمن (۱۱) تغییرپذیری اغلب ویژگی‌های خاک را بین ۸۰ تا ۱۴۰ گزارش نموده است، همچنین اسفندیارپور و همکاران (۱) دامنه تأثیر ۳۹۰ تا ۸۶۶ و صالحی و همکاران (۲۲) دامنه تأثیر ۶۱/۱ تا ۲۴۳/۳ را برای ویژگی‌های خاک مورد مطالعه در تحقیقاتشان گزارش کرده‌اند. در تحقیق حاضر، دامنه تأثیر از ۴۰۰ تا ۲۴۰۰ برای ویژگی‌های مختلف به‌دست آمده است (جدول ۲).

کلاس‌های وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک بیانگر نسبت بین واریانس اثر قطعه‌ای و واریانس کل (حد آستانه) هستند و بدین وسیله می‌توان مقایسه‌ای در ارتباط با بزرگی اثر قطعه‌ای بین ویژگی‌های مختلف خاک انجام داد (۹). اگر مقدار این نسبت کمتر از ۲۵ درصد نمایانگر وابستگی مکانی قوی، مقادیر ۲۵ تا ۷۵ درصد به‌عنوان وابستگی مکانی متوسط و مقادیر بیشتر از ۷۵ درصد معرف وابستگی مکانی ضعیف خواهد بود (۷، ۹، ۱۵ و ۲۶).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (1)$$

$$\% RMSE = \frac{RMSE}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

$$ME = \frac{(x - \bar{x})}{n} \quad (3)$$

در رابطه ۱ و ۳، مقدار برآورد شده در نقطه  $x_i$  مقدار مشاهده در نقطه  $x_i$  (همان ۵۰ نمونه مستقل) و  $n$  تعداد نقاط (۵۰ نمونه) می‌باشد و در رابطه ۲،  $\bar{x}$  میانگین مقادیر واقعی مشاهدات (همان ۵۰ نمونه مستقل) بوده است که جذر میانگین مربع خطای نسبی به‌صورت درصد بیان شده است. بدون بعد بودن آماره‌ی RMSE، امکان مقایسه‌ی صحت انواع متغیرها و با دامنه‌ی تغییرپذیری متفاوت را فراهم می‌نماید (۱۷).

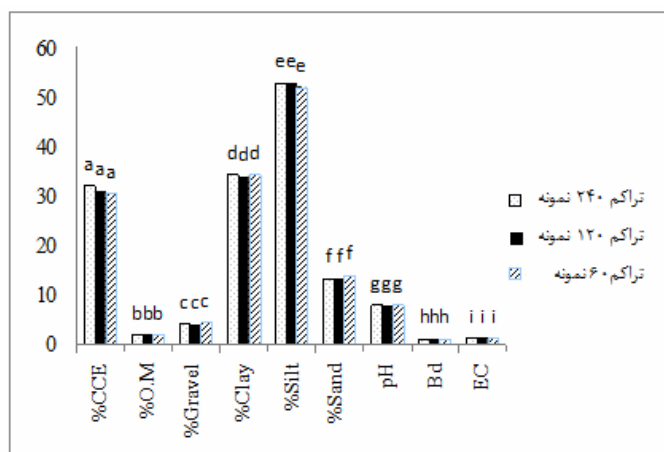
میزان همخوانی نقشه‌ها در سه تراکم مورد مطالعه ابتدا به صورت چشمی<sup>۱</sup> با یکدیگر مقایسه گردید. سپس، برای مقایسه‌ی کمی میزان همخوانی نقشه‌ها، محاسبه‌ی ماتریس خطا و استخراج شاخص‌های کاپا (K) و صحت عمومی (OA) و طبق روابط زیر انجام شد که N در روابط آن‌ها تعداد کل مشاهدات می‌باشد (۱۸):

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ii}}{N} = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ii}}{N} \quad (4)$$

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^n x_{ii} - \sum_{i=1}^n (x_{i0} \times x_{0i})}{N^2 - \sum_{i=1}^n (x_{i0} - x_{0i})} \quad (5)$$

## نتایج و بحث

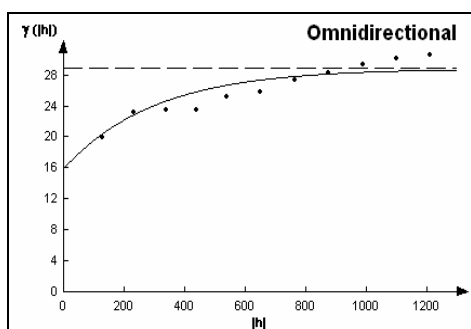
مقایسه میانگین هر ویژگی خاک در سه تراکم نمونه‌برداری نشان داد در هیچ یک از تراکم‌های نمونه‌برداری تفاوت معنی‌داری بین ویژگی مورد مطالعه وجود ندارد (شکل ۲). این بدین معنی است که اگر هدف از نمونه‌برداری برآوردی از مقدار میانگین این ویژگی‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه باشد، نیازی به نمونه‌برداری با تراکم زیاد نبوده و با یک سوم هزینه (۶۰ نمونه به جای ۲۴۰ نمونه) نیز می‌توان نتیجه‌ای قابل قبول در سطح ۹۵ درصد به‌دست آورد. علاوه بر کاهش قابل توجه در هزینه‌ی مطالعات، در مدت زمان کمتری می‌توان مطالعات را انجام داد. به نظر می‌رسد معنی‌دار نشدن میانگین ویژگی‌ها در سه سطح نمونه‌برداری به دلیل کوچک بودن مساحت منطقه‌ی نمونه‌برداری و یکنواختی عوامل خاکساز است؛ به‌طوری‌که مواد مادری، زمان، اقلیم، موجودات زنده و توپوگرافی در محدوده‌ی نمونه‌برداری نسبتاً یکسان بوده و دیگر اینکه کاربری غالب در منطقه، کشاورزی آبی است که دارای مدیریت زراعی خیلی متفاوت در حدی که منجر به تغییرات مکانی شدید در ویژگی‌های اندازه‌گیری شده در این پژوهش شود، نیستند.



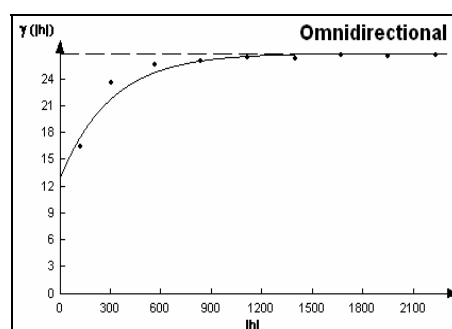
شکل ۲- مقایسه میانگین ویژگی‌های خاک در سه تراکم نمونه برداری (حروف مشابه برای هر ویژگی، بیانگر عدم اختلاف معنی دار هستند).

جدول ۱- ضریب تغییرات ویژگی‌های خاک در تراکم‌های نمونه برداری مختلف

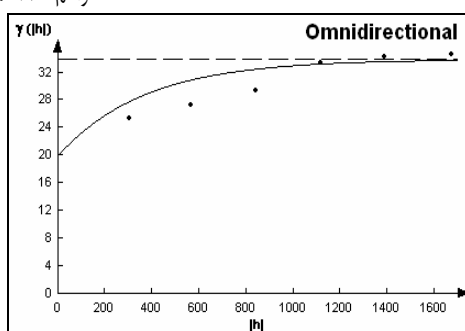
%Clay	%Silt	%Sand	%Gravel	%O.M	%CCE	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	Bd (gr.Cm <sup>-3</sup> )	تراکم نمونه برداری	ضریب تغییرات (%)
۲۳	۱۱	۴۱	۱۱۲	۳۹	۲۷	۲۹	۳	۸	نمونه ۲۴۰	۲۳
۲۳	۱۰	۳۹	۱۱۲	۴۲	۲۴	۳۵	۳	۸	نمونه ۱۲۰	۲۳
۲۵	۱۱	۴۳	۱۰۲	۴۷	۲۴	۳۱	۳	۸	نمونه ۶۰	۲۵



تراکم ۲۴۰ نمونه

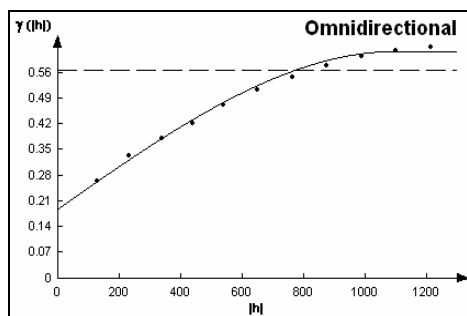


تراکم ۱۲۰ نمونه

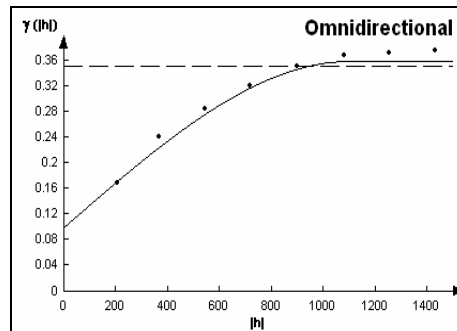


تراکم ۶۰ نمونه

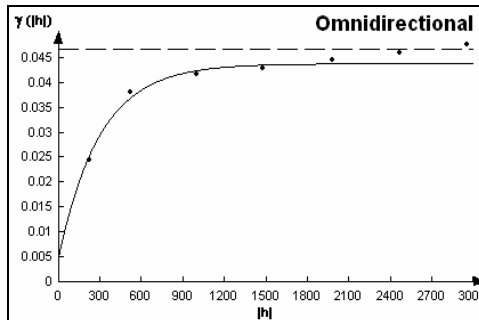
شکل ۳- واریوگرام‌های تجربی (دوایر سیاه‌رنگ) به همراه مدل نظری (خط ممتد) برازش داده شده بر آن‌ها برای درصد شن



تراکم ۲۴۰ نمونه



تراکم ۱۲۰ نمونه



تراکم ۶۰ نمونه

شکل ۴- واریوگرام‌های تجربی (دوایر سیاه‌رنگ) به همراه مدل نظری (خط ممند) برازش داده شده بر آن‌ها برای درصد کربنات کلسیم معادل

جدول ۲- پارامترهای تغییرنمای همه جهته ویژگی‌های خاک برای سه تراکم نمونه برداری

%Clay	%Silt	%Sand	Ln %Gravel	%O.M	Ln %CCE	Ln EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	Bd (gr.Cm <sup>-3</sup> )	تراکم نمونه برداری	
۳۹	۱۷	۱۶	۰/۱۲	۰/۲	۰/۱۹	۰/۰۲۱	۰/۰۲۴	۰/۰۰۵۴	نمونه ۲۴۰	اثر قطعاتی
۲۸	۶	۱۲	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۰۵	نمونه ۱۲۰	
۳۰	۱۷	۱۸	۰/۰۸	۰/۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۳	۰/۰۱۹	۰/۰۰۴۶	نمونه ۶۰	
۸۰۰	۹۰۰	۹۰۰	۱۲۰۰	۸۰۰	۱۱۰۰	۴۰۰	۱۰۰۰	۱۲۰۰	نمونه ۲۴۰	دامنه تأثیر
۴۰۰	۸۰۰	۵۰۰	۱۱۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۵۰	۱۴۰۰	۱۰۰۰	نمونه ۱۲۰	
۲۴۰۰	۲۴۰۰	۱۳۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۹۰۰	۷۰۰	۹۰۰	۱۴۰۰	نمونه ۶۰	
۶۰	۳۲	۲۹	۰/۳۷	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۰۴۵	۰/۰۴۴	۰/۰۰۸۴	نمونه ۲۴۰	حد آستانه
۵۷	۲۷	۲۶	۰/۳۶	۰/۱۳	۰/۰۴۰۵	۰/۰۵۷	۰/۰۴۸	۰/۰۰۷۲	نمونه ۱۲۰	
۸۹	۳۳	۳۴	۰/۳۴	۰/۶۴	۰/۰۴۴	۰/۰۵۸۳	۰/۰۴۹	۰/۰۰۷	نمونه ۶۰	
نمائی	نمائی	نمائی	کروی	نمائی	کروی	کروی	کروی	کروی	نمونه ۲۴۰	محل همبستگی
کروی	نمائی	کروی	کروی	کروی	کروی	کروی	کروی	نمائی	نمونه ۱۲۰	
کروی	نمائی	نمائی	کروی	نمائی	نمائی	نمائی	کروی	نمائی	نمونه ۶۰	
متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	نمونه ۲۴۰	مکان همبستگی
متوسط	قوی	متوسط	متوسط	قوی	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط	نمونه ۱۲۰	
متوسط	متوسط	متوسط	قوی	قوی	قوی	قوی	متوسط	متوسط	نمونه ۶۰	

کمبود و همکاران (۹) بیان داشتند که وابستگی مکانی قوی، ممکن است توسط تغییرات ذاتی ویژگی‌های خاک مانند بافت خاک و کانی‌شناسی رس کنترل شود، در حالی که وابستگی مکانی ضعیف‌تر، معمولاً تحت تأثیر تغییرات غیرذاتی مانند عملیات مدیریتی، کاربرد کود و شخم است. به‌طور کلی می‌توان گفت که تفاوت در تغییرپذیری

همچنین در صورتی که نسبت همبستگی در مورد یک ویژگی برابر ۱۰۰ درصد گردد یا اینکه شیب منحنی تغییرنا نزدیک به صفر باشد، ویژگی مربوطه فاقد وابستگی مکانی می‌باشد (۱۵)، و اگر نسبت همبستگی برای یک ویژگی برابر صفر باشد، بیانگر حضور یک ساختار مکانی بسیار قوی در همبستگی مکانی می‌باشد (۲۶).

نمونه‌برداری نشان می‌دهد که تمامی ویژگی‌ها در سه سطح تراکم نمونه‌برداری دارای الگوی تقریباً مشابهی هستند. افشار و همکاران (۲) نیز پس از تهیه‌ی نقشه‌های کریجینگ اقدام به مقایسه چشمی الگوی پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک نمودند و بیان داشتند الگوی پراکنش مکانی ماده‌آلی نسبتاً مشابه الگوی پراکنش مکانی ازت می‌باشد، همچنین محمدزمانی و همکاران (۷) نیز دریافتند که الگوی پراکنش مکانی ازت مشابه ماده‌آلی و الگوی پراکنش مکانی فسفر مشابه ضریب برداشت می‌باشد. صالحی و همکاران (۲۲) نیز با مقایسه چشمی نقشه‌های کریجینگ ویژگی‌های خاک در واحدهای مشابه نقشه خاک بیان داشتند که الگوی پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک در واحدهای مشابه نقشه خاک تفاوت کمی با هم دارند و نیاز به صرف زمان برای یافتن الگوی پراکنش مکانی ویژگی‌های خاک در هر یک از واحدهای نقشه خاک به‌صورت جداگانه وجود ندارد. اسفندیارپور و همکاران (۱) نیز با مقایسه‌ی چشمی نقشه‌های کریجینگ ویژگی‌های خاک اظهار داشتند که الگوی تغییرات مکانی ضخامت افق A و ماده‌آلی خاک و نیز ذرات درشت خاک و کربنات-کلسیم معادل مشابه است.

برای اطمینان بیشتر از نتیجه حاصل از مقایسه چشمی و برای اظهار نظر دقیق‌تر، میزان همخوانی نقشه‌ها توسط شاخص‌های کمی مانند صحت عمومی و شاخص کاپا محاسبه گردیده است (جدول ۴). همان‌طور که مشاهده می‌شود در اغلب ویژگی‌ها بالاترین میزان همخوانی بین نقشه‌های پراکنش در دو تراکم نمونه‌برداری اول و دوم (به‌ترتیب با ۲۴۰ نمونه و ۱۲۰ نمونه) و پایین‌ترین میزان همخوانی بین نقشه‌های پراکنش در دو تراکم نمونه‌برداری اول و سوم (به‌ترتیب با ۲۴۰ نمونه و ۶۰ نمونه) می‌باشد. البته این مقادیر همخوانی نیز نزدیک به هم هستند و مقادیر نسبتاً بالای صحت عمومی و شاخص کاپا در تمامی حالات، حاکی از میزان همخوانی بالای این نقشه‌ها می‌باشد.

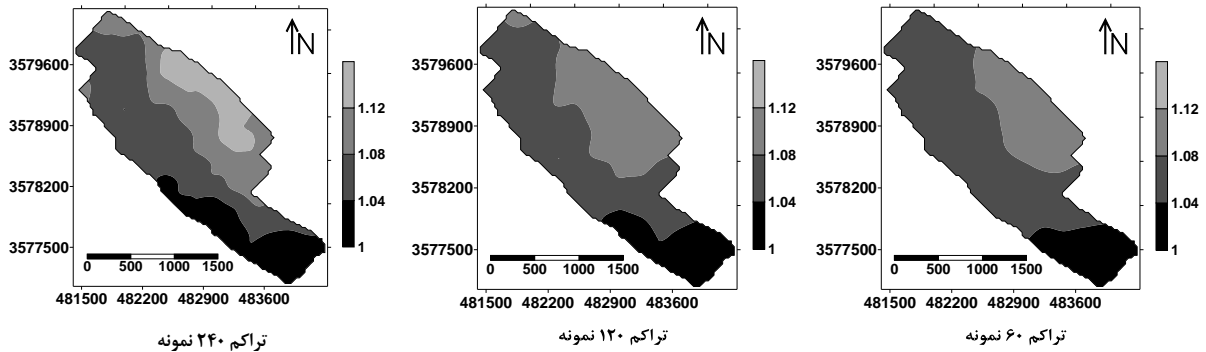
ویژگی‌های خاک به تأثیر فرآیندهای خاکسازي و مدیریت اراضی در هر منطقه برمی‌گردد. در تحقیق حاضر برای تمام ویژگی‌ها در سه تراکم نمونه‌برداری وابستگی مکانی قوی و متوسط به‌دست آمد که حاکی از تغییرات ذاتی و غیرذاتی کم در خاک می‌باشد (جدول ۲). در اعتبارسنجی پارامترهای کریجینگ با استفاده از ۵۰ نقطه نمونه‌برداری که بصورت تصادفی و مجزا از نمونه‌های اصلی برداشت شده‌اند، مقادیر میانگین خطای تخمین نزدیک به صفر بود که بیانگر نااریب بودن تخمین‌هاست. مقادیر ریشه میانگین مجذور خطا نیز پائین بود که بیانگر دقت قابل قبول تخمین می‌باشد. کمترین RMSE% برای pH و بیش‌ترین RMSE% برای درصدحجمی سنگریزه به‌دست آمد (جدول ۳). در این رابطه افشار و همکاران (۲) نیز نتایج مشابهی را گزارش کرده‌اند. صالحی و همکاران (۲۲) و هنگل و همکاران (۱۴) کمترین RMSE% را برای pH و بیش‌ترین RMSE% را برای ذرات درشت خاک گزارش کرده‌اند. در مطالعه‌ی آن‌ها برای تمام ویژگی‌ها مقدار RMSE% کمتر از ۵۰ درصد بوده است که نشان‌دهنده دقت بالای تخمین می‌باشد که این نتایج با تحقیق حاضر تطابق دارد.

با کاهش تعداد نمونه‌ها افزایش و یا کاهش منظمی میانگین خطای تخمین و جذر میانگین مربع خطای محاسبه شده برای سه تراکم نمونه‌برداری مشاهده نمی‌شود (جدول ۳)، و این بدین معنی است که تعداد نمونه در نمونه‌برداری تأثیری در دقت تخمین نداشته است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که انجام مطالعات نیمه‌تفصیلی به‌جای مطالعات تفصیلی و خیلی تفصیلی برای بررسی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، کافی بنظر می‌رسد.

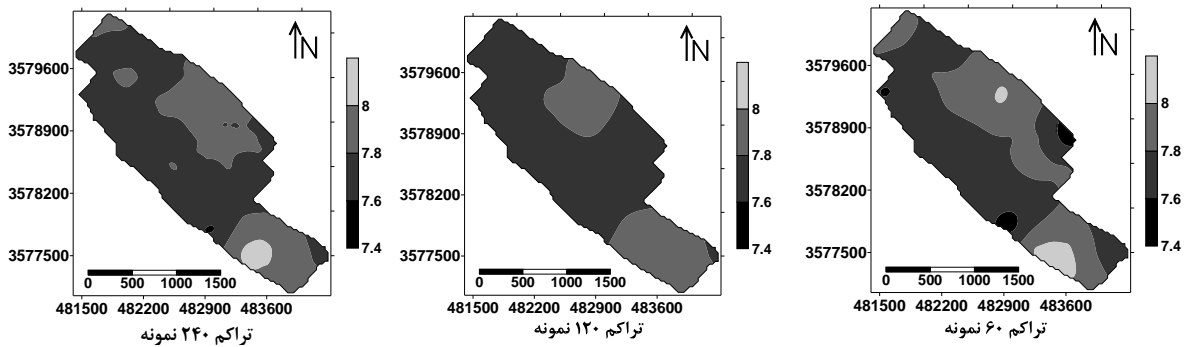
نقشه‌های کریجینگ (شکل‌های ۵ تا ۱۳) تهیه شده برای تمام ویژگی‌ها نشان می‌دهد که توزیع تمام ویژگی‌ها پیوسته و وابسته به موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری می‌باشد. مقایسه‌ی چشمی نقشه‌های کریجینگ ویژگی‌های مختلف خاک در تراکم‌های مختلف

جدول ۳- معیارهای اعتبارسنجی برای ویژگی‌های خاک در سه تراکم نمونه‌برداری

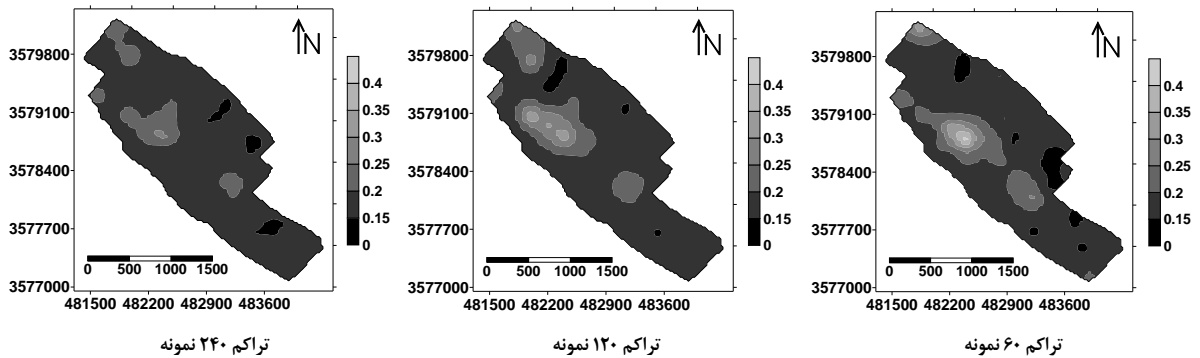
%Clay	%Silt	%Sand	%Gravel	%O.M	%CCE	EC (dS.m <sup>-1</sup> )	pH	Bd (gr.Cm <sup>-3</sup> )	تراکم نمونه‌برداری	
۷/۱۴	۴/۶۴	۴/۶۵	۴/۲۴	۰/۵۹	۸/۹۲	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۰۷	۲۴۰ نمونه	RMSE
۷/۴۲	۴/۹۲	۴/۹۴	۴/۴۴	۰/۷۲	۹/۵۶	۰/۰۴	۰/۱۹	۰/۰۷	۱۲۰ نمونه	
۷/۵۵	۴/۸۵	۵/۰۵	۱/۰۲	۰/۷۰	۱۰/۲۷	۰/۰۴	۰/۲۰	۰/۰۷	۶۰ نمونه	
۱۹/۸۴	۸/۹۷	۳۷/۷۹	۸۸/۸۲	۳۱/۶۷	۲۷/۹۳	۱۸/۶۹	۲/۳۱	۶/۴۱	۲۴۰ نمونه	%RMSE
۲۰/۶۴	۹/۵۱	۴۰/۱۷	۹۳/۰۰	۳۸/۹۹	۲۹/۹۱	۲۰/۸۳	۲/۴۱	۶/۶۴	۱۲۰ نمونه	
۲۱/۰۰	۹/۳۶	۴۱/۰۶	۲۱/۵۸	۳۷/۸۹	۳۲/۱۶	۲۲/۲۲	۲/۵۷	۶/۷۶	۶۰ نمونه	
۱/۴۴۱	-۰/۷۵۱	-۰/۶۹۱	۱/۳۵۲	۰/۰۴۵	۱/۱۴۱	-۰/۰۰۸	۰/۰۲۹	-۰/۰۰۴	۲۴۰ نمونه	ME
۱/۷۶۱	-۰/۷۲۶	-۰/۹۴۴	۱/۳۰۲	-۰/۰۴۰	۱/۵۷۶	-۰/۰۰۱	۰/۰۴۸	-۰/۰۰۲	۱۲۰ نمونه	
۱/۲۵۱	۰/۰۱۶	-۱/۱۹۳	۱/۰۶۰	-۰/۱۱۲	۲/۱۲۷	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۰۰۲	۶۰ نمونه	



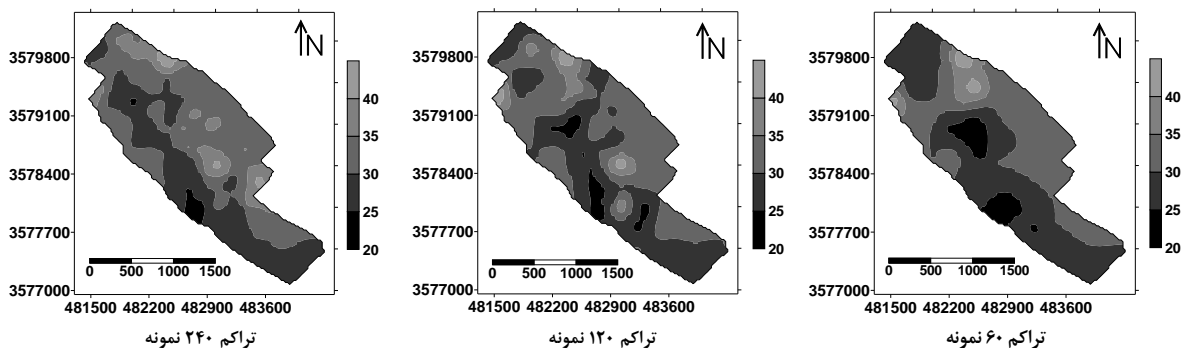
شکل ۵ - نقشه‌های کریجینگ جرم‌مخصوص ظاهری در سه تراکم نمونه‌برداری



شکل ۶ - نقشه‌های کریجینگ پهاش در سه تراکم نمونه‌برداری

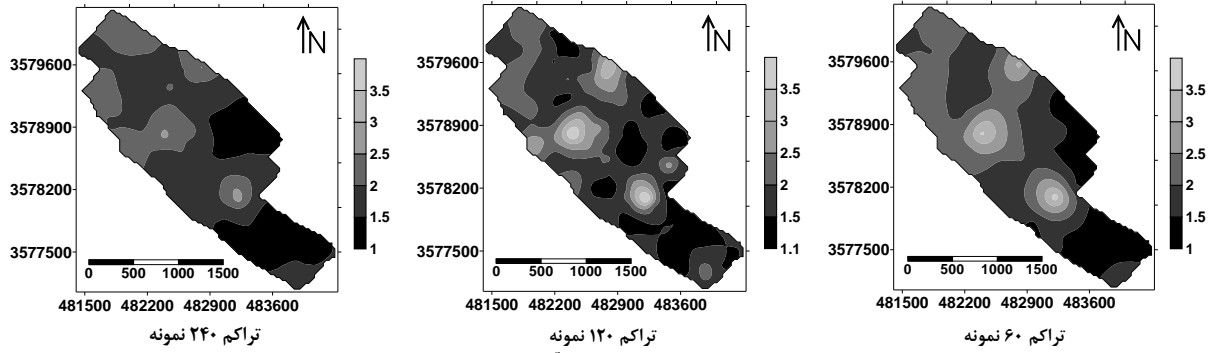


شکل ۷ - نقشه‌های کریجینگ قابلیت هدایت الکتریکی در سه تراکم نمونه‌برداری

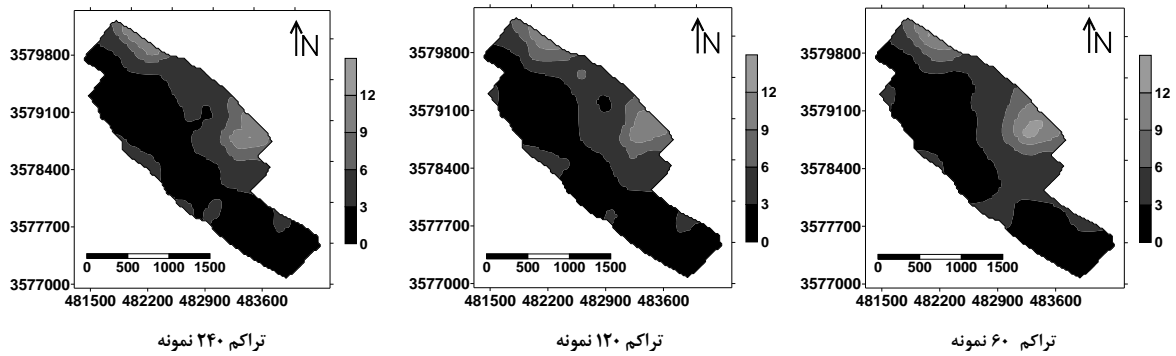


شکل ۸ - نقشه‌های کریجینگ درصد کربنات کلسیم معادل در سه تراکم نمونه‌برداری

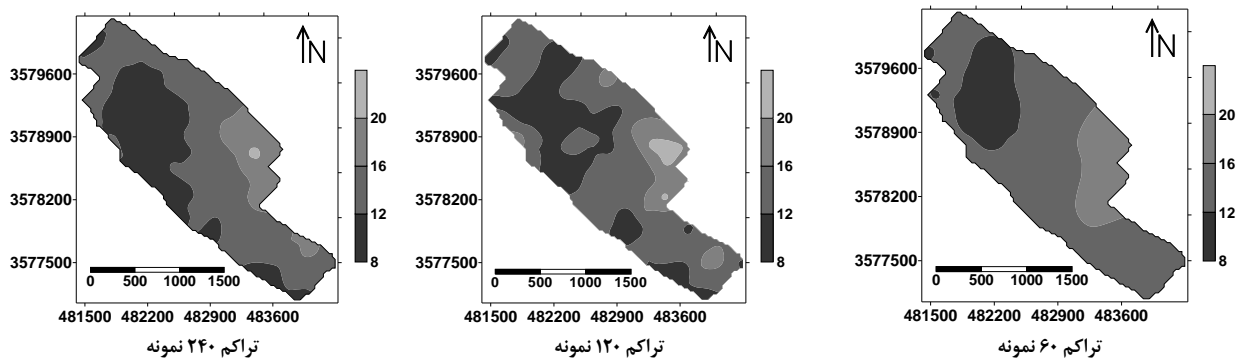




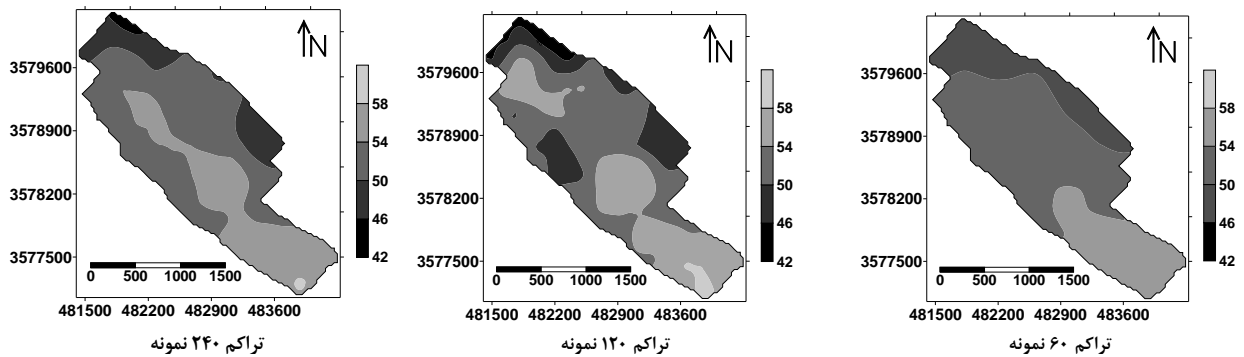
شکل ۹ - نقشه‌های کریجینگ درصد ماده آلی در سه تراکم نمونه‌برداری



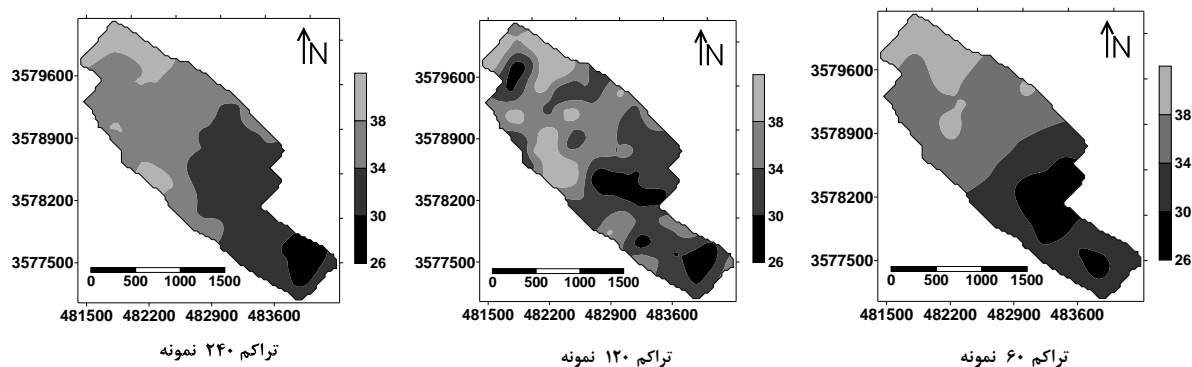
شکل ۱۰ - نقشه‌های کریجینگ درصد حجمی سنگریزه در سه تراکم نمونه‌برداری



شکل ۱۱ - نقشه‌های کریجینگ درصد شن در سه تراکم نمونه‌برداری



شکل ۱۲ - نقشه‌های کریجینگ درصد سیلت در سه تراکم نمونه‌برداری



شکل ۱۳ - نقشه های کریجینگ درصد رس در سه تراکم نمونه برداری

جدول ۴ - مقادیر صحت عمومی و شاخص کاپا به دست آمده از روی هم اندازی نقشه های پراکنش ویژگی های خاک در تراکم های مختلف

نمونه برداری						ویژگی خاک
بین تراکم های نمونه برداری ۱۲۰ و ۶۰ نمونه		بین تراکم های نمونه برداری ۲۴۰ و ۶۰ نمونه		بین تراکم های نمونه برداری ۱۲۰ و ۲۴۰ نمونه		
شاخص کاپا	صحت عمومی	شاخص کاپا	صحت عمومی	شاخص کاپا	صحت عمومی	
۷۸/۰۹	۸۷/۳۷	۴۷/۲۲	۶۶/۲۷	۵۹/۳۸	۷۳/۲۲	Bd (gcm <sup>-3</sup> )
۴۶/۶۹	۷۳/۶۶	۵۶/۸۲	۷۷/۵۷	۶۱/۰۶	۸۲/۰۸	pH
۴۳/۱۷	۷۷/۴۵	۵۲/۸۸	۷۴/۸۱	۴۱/۳۹	۸۱/۲۵	EC (dSm <sup>-1</sup> )
۵۲/۲۳	۷۱/۱۷	۴۳/۹۳	۵۹/۲۳	۴۴/۵۴	۶۶/۴۷	%CCE
۴۳/۳۴	۶۰/۱۱	۴۰/۱۷	۵۹/۱۵	۴۳/۴۵	۶۲/۹۳	%O.M
۶۷/۳۱	۸۰/۶۸	۶۵/۸۷	۸۰/۱۳	۷۸/۰۶	۸۷/۵۴	%Gravel
۴۵/۸۷	۶۹/۷۴	۴۸/۲	۷۱/۳۳	۵۴/۵۷	۷۳/۵۷	%Sand
۴۰/۸۳	۶۲/۷۸	۵۶/۳۵	۷۳/۸۱	۶۲/۹۳	۷۶/۷۳	%Silt
۳۶/۱۳	۵۵/۱۹	۴۵/۹۱	۶۳/۴۴	۴۱/۴۷	۶۱/۰۴	%Clay

LOI دقیق نیست ولی استفاده از این روش برای تعیین روند تغییرات ماده آلی مناسب و کم هزینه تر است. با وجودی که در تمام ویژگی های مورد مطالعه ی تحقیق حاضر، مقادیر همخوانی ها بالاست اما در بین ویژگی های مورد بررسی درصد حجمی سنگریزه و pH و EC و جرم مخصوص ظاهری بیشترین و درصد ماده آلی و درصد کربنات کلسیم معادل، کمترین میزان همخوانی را نشان می دهند، و این نتیجه با نتایج حاصل از ضریب تغییرات (جدول ۱)، مطابقت دارد چرا که در مورد ویژگی های با پائین ترین ضریب تغییرات مانند pH و EC و جرم مخصوص ظاهری میزان همخوانی نقشه ها در سه تراکم نمونه برداری بالاترین مقدار به دست آمد که ناشی از تغییرپذیری کم تر این ویژگی هاست و برعکس در مورد ویژگی های با بالاترین ضریب تغییرات مثل ماده آلی و درصد کربنات کلسیم در سه تراکم نمونه برداری میزان همخوانی نقشه ها پائین ترین مقدار به دست آمد که ناشی از تغییرپذیری بیش تر این ویژگی هاست. صالحی و همکاران (۲۲) نیز اظهار داشتند در مناطقی

صالحی و همکاران (۲۲) در ویژگی های خاک مورد آزمایش در تحقیقشان، ارقام بالاتر از ۴۳ برای شاخص کاپا و ارقام بالاتر از ۶۰ برای صحت عمومی به دست آوردند و همخوانی بالا را برای این ویژگی ها گزارش کردند. صفایی و همکاران (۵) بیان داشتند که نقشه ی کریجینگ pH و کربنات کلسیم با ۵۰ نمونه (به ترتیب با صحت عمومی ۸۱/۵۹ و ۸۳/۸۵ و با شاخص کاپا ۶۰/۸۲ و ۸۱/۲۵)، دارای دقت تقریباً بالا و همخوانی نسبتاً خوب با نقشه ی تعمیم داده شده ی اصلی (بر اساس ۸۰ نمونه) است، ولی همخوانی در نقشه های کریجینگ برای ۴۰ نمونه، کم تر بود. آن ها میزان همخوانی برای درصد حجمی سنگریزه و درصد رس در هر دو نقشه ۵۰ و ۴۰ نمونه را بسیار پائین به دست آوردند که عدم دقت این نقشه ها را بیان می کند. صالحی و همکاران (۲۰) در مقایسه ی نقشه های ماده آلی تخمین زده شده با دو روش LOI و WB در دشت های مختلف استان چهارمحال و بختیاری، مقادیر پائینی برای صحت عمومی (۳۶ و کمتر از آن) به دست آوردند و بیان داشتند اگرچه تخمین ماده آلی با استفاده از روش

بیانگر مشابه بودن میزان تغییرات هر یک از ویژگی‌های خاک در سه تراکم نمونه‌برداری هستند. لذا می‌توان نتیجه گرفت که انجام مطالعات نیمه‌تفصیلی به‌جای مطالعات تفصیلی و خیلی تفصیلی برای بررسی ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه، کافی بنظر می‌رسد و با این کار در وقت و هزینه می‌توان صرفه‌جویی نمود. انجام مطالعه‌ای مشابه در سطح وسیع‌تر می‌تواند دیدگاه بهتری برای توصیه‌های مدیریتی و نقشه‌برداری خاک ایجاد نماید.

که تغییر ویژگی‌های خاک، زیاد است، کاهش تعداد نمونه باعث کاهش دقت مطالعات می‌شود، اما در مورد ویژگی‌هایی که تغییرات ناچیزی در منطقه دارند می‌توان از کاهش تعداد نمونه به‌همراه تعمیم-پذیری مدل‌های زمین‌آماری، در راستای کاهش هزینه و زمان مطالعات سود جست.

## نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده، هم آمار کلاسیک و هم آمار مکانی

## منابع

- ۱- اسفندیارپور بروجنی ع.، و محمدی ج.، و صالحی م.ح.، و تومانیان ن. ۱۳۸۸. تعمیم‌پذیری روش ژئوپدولوژی در نقشه‌برداری خاک. پایان‌نامه دکترای خاک‌شناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد.
- ۲- افشار ح.، و صالحی م.ح.، و محمدی ج.، و محنت‌کش ع.م. ۱۳۸۷. تغییرپذیری عملکرد گندم و خصوصیات خاک در تعدادی از واحدهای نقشه تناسب کمی اراضی منطقه فرخ‌شهر استان چهارمحال و بختیاری. پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد. ۷۵ صفحه.
- ۳- رفیع‌الحسینی م.، و محمدی ج. ۱۳۸۰. تجزیه و تحلیل پراکنش مکانی حاصلخیزی خاک و عملکرد محصول برای مدیریت زراعی دقیق. مجموعه‌ی مقالات هفتمین کنگره علوم خاک ایران، ۴ تا ۷ شهریورماه. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهرکرد. صفحات ۱۷۸ تا ۱۸۰.
- ۴- صالحی م.ح.، و خادمی ح. ۱۳۸۷. مبانی نقشه‌برداری خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- ۵- صفائی ز.، و صالحی م.ح.، و اسفندیارپور بروجنی ع. ۱۳۹۰. تأثیر کاهش تعداد نمونه در اعتبار نتایج زمین‌آماری روش ژئوپدولوژی. دوازدهمین کنگره علوم خاک ایران. دانشگاه تبریز، تبریز.
- ۶- عبدالهی س.، و دلاور م.ا.، و صفری ی. ۱۳۹۱. ارزیابی اثرات فاصله نمونه‌برداری بر تغییرات مکانی ماده‌آلی خاک در منطقه انگوران زنجان. مجله مدیریت و کیفیت خاک. دانشگاه شهرکرد. صفحات ۴۵ تا ۵۳.
- ۷- محمدزمانی س.، و ایوبی ش.ا.، و خرمالی ف. ۱۳۸۶. بررسی تغییرات مکانی خصوصیات خاک و عملکرد گندم در بخشی از اراضی زراعی سرخکلاته، استان گلستان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۱، شماره ۴۰ (الف)، ص ۹۱-۷۹.
- ۸- محمدی ج. ۱۳۸۵. پدومتری، جلد اول، آمار کلاسیک. انتشارات پلک.
- 9- Cambardella C.A., Moormam 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 of America Journal*, 58:1501-1511.
- 10- Delbari M., Afrasib P., and Loiskandl W. 2009. Using sequential Gaussian simulation to assess the field-scale spatial uncertainty of soil water content. *Catena*, 79:163-169.
- 11- Doberman A. 1994. Factors causing field variation of direct-seeded flooded rice. *Geoderma*, 62:125-150.
- 12- Don A., Schumacher J., Scherer L., Scholten T., and Schulze E.D. 2007. Spatial and vertical variation of soil carbon at two grassland sites-implications for measuring soil carbon stocks. *Geoderma*, 141:272-282.
- 13- Farifteh J., Van Der Meer F., Atzberger C., and Carranza E.J.M. 2007. Quantitative analysis of salt-affected soil reflectance spectra: a comparison of two adaptive methods (PLSR and ANN). *Remote Sensing of Environment*, 110:59-78.
- 14- Hengl T., Huvelink G.B.M., and Stein A. 2004. A generic framework for spatial prediction of soil 55 variables based on regression-kriging. *Geoderma*, 120:75-93.
- 15- Lopez-Granados F., Jurado-Exposito M., Atenciano S., Garcia-Ferrer A., De la Orden M.S., and Garcia-Torres L. 2002. Spatial variability of agricultural soil parameters in southern Spain. *Plant and Soil*, 246:97-105.
- 16- Miller M.P., Singer M.J., and Nielson D.R. 1988. Spatial variability of wheat yield and soil properties on complex hills. *Soil Science Society of America Journal*, 52:1133-1141.

- 17- Park S.J., and Vlek P.L.G. 2002. Environmental correlation of three-dimensional soil spatial variability: a comparison of three adaptive techniques. *Geoderma*, 109:117-140.
- 18- Rossiter D.G. 2002. Methodology for soil resource inventories. Lecture notes, 2nd Revised Version Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
- 19- Sahrawat K.L., Rego T.J., Wani S.P., and Pardhasaradhi G. 2008. Stretching soil sampling to watershed: evaluation of soil-test parameters in a semi-arid tropical watershed. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39:2950–2960.
- 20- Salehi M.H., Hashemi Beni O., Beigi Harcheghani H., Esfandiarpour Boroujeni I., and Motaghian H.R. 2011. Refining Soil Organic Matter Determination by Loss-on-Ignition. *Pedosphere*, 21:473-482.
- 21- Salehi M.H., Karimian Eghbal M., and Khademi H. 2003. Comparison of soil variability in a detailed and a reconnaissance soil map in central Iran. *Geoderma*, 111:45-56.
- 22- Salehi M.H., Safaei Z., Esfandiarpour I., and Mohammadi J. 2013. Generalization of Continuous Models to Estimate Soil Characteristics into Similar Delineations of a Detailed Soil Map. *Soil Research*, 51 (4):350-361.
- 23- Sheng Y.U.D., Qi Z.Z., Hao Y., Zheng S.X., Zhi T.M., Xia S.W., and Jie W.H. 2011. Effect of soil sampling density on detected spatial variability of soil organic carbon in a red soil region of China. *Pedosphere*, 21(2):207–213.
- 24- Solie J.B., Raun W.R., and Stone M.L. 1999. Submeter spatial variability of selected soil and bermudagrass production variables. Published in *Soil Science Society of America Journal*, 63:1724-1733.
- 25- Valentine K.W.G. 1981. How soil map units and delineations change with survey intensity and map scale. *Canadian Journal of Soil Science*, 61:535-551.
- 26- Vieira S.R., and Paz Gonzalez A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia*, Campinas, 62:127-138.
- 27- Wang C. 1982. Variability of soil properties in relation to size of map unit delineation. *Canadian Journal of Soil Science*, 62:657-662.

## The Effect of Sampling Density on the Accuracy of Estimation for Some of Soil Properties in Shahrekord Plain

N. Hosseinzadeh<sup>1\*</sup> - M.H. Salehi<sup>2</sup> - J. Mohammadi<sup>3</sup>

Received: 18-09-2013

Accepted: 10-02-2014

### Abstract

Now a day, performing soil surveys by minimum time and budget as well as enough accuracy is one of the soil scientists' interests. The present study was investigated to study the effect of sampling density on statistical and geostatistical accuracy of estimation for some of soil properties in Shahrekord plain. For this purpose, 240 soil samples (horizon A) with 125 m interval were collected. Then, the physical and chemical analysis included bulk density, soil texture, volume percent gravel, percentage of calcium carbonate equivalent, organic matter, pH and electrical conductivity were determined. The second (120 samples) and third (60 samples) sampling densities were randomly selected the first samplings (240 samples) by considering uniform distribution throughout the region. Results showed that there are no significant differences among the studied soil properties for three sampling intervals. Also, by reducing the number of samples, no regular increase or decrease was observed for coefficient of variation, mean estimation error and root mean square error. The cross validation showed that mean estimation error was close to zero and the root mean square error was low which indicate the acceptable accuracy of estimations. Visual and quantitative interpretation of kriging maps showed high accordance for three sampling densities. Therefore, semi-detailed soil surveys can be replaced for detailed ones which allow saving time and budget.

**Keywords:** Sampling density, Accuracy, Accordance

---

1,2,3- MSc Graduated and Associate Professors of Soil Science Department, College of Agriculture, Shahrekord University, Respectively

(\* - Corresponding Author Email: narges\_nh\_n@yahoo.com)