

## تجزیه و تحلیل تغییرات مکانی برخی از خصوصیات خاک با استفاده از زمین آمار و سنجش از دور

۱. حسین محمدعسگری  
نویسنده مسئول: استادیار گروه محیط زیست دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر،  
[h.masgari@kmsu.ac.ir](mailto:h.masgari@kmsu.ac.ir)
۲. محمد جعفری  
استاد دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی دانشگاه تهران
۳. سید کاظم علوی پناه  
استاد گروه کارتوگرافی دانشکده جغرافیا دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران
۴. سعید فرهادی  
دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر
۵. مریم رزمی  
دانشجوی کارشناسی ارشد محیط زیست دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

### چکیده

تهیه نقشه های خاک یکی از مطالعات پایه در بخش منابع طبیعی است. هدف از این تحقیق تجزیه و تحلیل مکانی خصوصیات خاک و در نهایت تهیه نقشه پارامترهای خاک در مناطق خشک و بیابانی می باشد. بدین منظور منطقه ای با مساحت ۶۰۰ هکتار در استان قم و حوزه ی آبخیز دریاچه نمک در نظر گرفته شد. روشهای معین مورد استفاده شامل روشهای عکس فاصله، توابع شعاعی، تخمین عام و تخمین موضعی می باشد. روشهای زمین آماری مورد استفاده شامل انواع کریجینگ و انواع کوکریجینگ می باشد. نتایج این بررسی نشان دهنده ی مزایای روشهای زمین آماری نسبت به روشهای معین در تهیه نقشه ی خاک است. از جمله این مزایا تحلیل واریوگرافی را می توان نام برد که بر اساس پارامترهای آن می توان شبکه ی نمونه برداری را بطور بهینه طراحی نمود و همچنین دقت بالاتر این روش ها بر اساس شاخص میانگین قدر مطلق خطا (MAE) برای روش های معین حداکثر ۹/۸۷ و حداقل ۱/۲۶ و برای روش کریجینگ حداکثر ۹/۴۸ و حداقل ۱/۱۹ و در روش کوکریجینگ حداکثر مقدار ۹/۶۴ و حداقل مقدار ۱/۲ می باشد. در این تحقیق پارامتر دارای بیشترین ضریب همبستگی با پارامتر مورد نظر بعنوان متغیر کمکی در نظر گرفته شد. از داده های سنجنده ی ETM+ نیز بعنوان متغیر کمکی در میان یابی پارامترها استفاده گردید. نتایج نشان داد استفاده از داده های ماهواره ای سبب افزایش دقت در تهیه نقشه پارامترهای خاک می گردد. دقیق ترین روش برای هر پارامتر متفاوت می باشد و جهت تهیه نقشه خصوصیات خاک باید روش های مختلف مورد بررسی قرار گیرند. در اکثر پارامترهای سطحی مورد بررسی بهترین روش، روش های زمین آماری و فقط در پارامتر سیلت بهترین روش، روش تخمین موضعی می باشد. در اکثر پارامترهای عمقی بهترین روش، روش های زمین آماری می باشد.

### واژه های کلیدی:

زمین آمار؛ تغییرات مکانی؛ کریجینگ؛ خصوصیات خاک؛ سنجش از دور.

## ۱- مقدمه

یکی از مطالعات پایه در بخش منابع طبیعی تهیه نقشه خاک است. دانستن محدودیت ها و قابلیت های خاک یکی از موارد ضروری در مدیریت منابع طبیعی است (۱). در مدیریت مراتع نیز برای تعیین شایستگی چرای دام از خصوصیات خاک استفاده می شود (۳). همچنین در طرح های آبخیزداری برای پیشنهاد برنامه ها و ارزیابی شدت فرسایش دانستن خصوصیات خاک الزامی است (۲). زمین آمار شاخه ای از علم آمار می باشد که مبتنی بر "تئوری متغیرهای ناحیه ای" است. هر متغیری که در فضای سه بعدی توزیع شده باشد و دارای وابستگی مکانی باشد، متغیر ناحیه ای نامیده شده و می تواند در مطالعات زمین آماری مورد بحث و بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال مقادیر ضریب آبگذاری در یک شبکه ۱×۱ کیلومتری، متغیر ناحیه ای است. مقدار متغیر ناحیه ای  $Z(x)$  در هر نقطه را می توان به دو مؤلفه قطعی و تصادفی تجزیه کرد، بنابراین می توان نوشت:

$$Z(x) = M(x) + L(x) \quad (1)$$

که در آن:

$Z(x)$ : متغیر ناحیه ای در نقطه ای به مختصات  $(x)$ ،

$M(x)$ : مؤلفه قطعی متغیر ناحیه ای،

$L(x)$ : مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه ای می باشد.

در صورتی که متغیر ناحیه ای دارای ساختار مکانی مناسبی باشد، تحلیل های بسیاری را بر روی آن می توان بعمل آورد که از جمله آن ها می توان به برآورد متغیر مورد نظر در نقاط فاقد آمار، طراحی نمونه برداری و توزیع واریانس خطا اشاره نمود. تخمین زمین آماری شامل دو مرحله می باشد: در مرحله اول شناخت و مدلسازی ساختار فضایی متغیر است که به وسیله آنالیز نیم تغییرنا قابل بررسی می باشد. مرحله دوم تخمین متغیر مورد نظر بوده که به مرحله اول وابسته است. لازم به ذکر است شرط استفاده از روش های زمین آماری، ایستا بودن متغیر می باشد که از طریق نیم تغییر نما قابل تشخیص است. ضمناً توزیع داده ها نیز باید به توزیع نرمال نزدیک باشد. در بررسی های آمار کلاسیک، نمونه های به دست آمده از جامعه، عمدتاً به صورت تصادفی در نظر گرفته می شوند و مقدار اندازه گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص، هیچگونه اطلاعاتی درباره مقدار همان کمیت در نمونه دیگر و به فاصله معلوم نخواهد داشت. در صورتی که در زمین آمار می توان بین مقادیر یک کمیت در جامعه نمونه ها و فاصله و جهت قرار گرفتن نمونه ها نسبت به هم ارتباط برقرار کرد. همچنین در آمار کلاسیک، فرض می شود که تغییرپذیری یک متغیر تصادفی است. در صورتی که در زمین آمار، بخشی از آن تصادفی و بخش دیگر آن دارای ساختار و تابع فاصله و جهت می باشد. بنابراین در زمین آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده ها پرداخته می شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی تحلیل داده ها انجام می گیرد (۱۴). استفاده از روش های معمول و سنتی جهت بررسی تغییرات در خاک دارای هزینه بالایی می باشد. داده های سنجش از دور به دلیل دارا بودن ویژگی چند زمانه و چند طیفی بودن و دید وسیع و یکپارچه و به دلیل مزیتی که در تفکیک طیفی و مکانی اطلاعات دارند برای بررسی تغییرات در خاکها و شناسایی آنها دارای مزیت می باشند و از سوی دیگر این روش ها دارای هزینه پایین می باشند (۱۰). از یک سو خصوصیات خاک در زمان و مکان و حتی در جهت های مختلف جغرافیایی تغییر می کند و از سوی دیگر آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن تغییرات مکانی نمی باشد (۱۳، ۱). لذا در این تحقیق از روش های زمین آماری که تغییرات مکانی را در نظر می گیرند استفاده شده است. در رابطه با زمین آمار و کاربرد آن در علوم محیطی مطالعات زیادی در ایران و جهان انجام شده است.

امینی و همکاران (۱) میزان کلر موجود در خاک را با استفاده از روش های زمین آمار برای منطقه ای در جنوب شرق اصفهان مدلسازی کردند. آنها از میزان EC بعنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که استفاده از متغیر کمکی دقت برآوردها را به طور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد. عظیمزاده و همکاران (۲) از

روش کریجینگ به منظور تخمین درصد سنگفرش بیابانی و سرعت آستانه فرسایش بادی در منطقه ابراهیم آباد مهریز استفاده کرد. نتایج آنها نشان داد که استفاده از زمین‌آمار و روش کریجینگ معمولی، شیوه مناسب و دقیقی جهت تهیه نقشه پارامترهای مؤثر در فرسایش بادی از جمله توزیع پوشش رگ و خطوط هم سرعت آستانه می‌باشد.

کرسی<sup>۱</sup> (۷) و کرسیک<sup>۲</sup> (۱۲) روش کریجینگ را به عنوان بهترین، قوی‌ترین، قابل اعتمادترین و گسترده ترین روش برای میان یابی، تهیه منحنی های تراز و تهیه نقشه میزان آبهای زیرزمینی معرفی کردند. زیرا روش مذکور روش ژئواستاتستیکی است که در آن واریانس مکانی، موقعیت و توزیع نمونه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. جاگر<sup>۳</sup> (۱۱) از ابزارهای زمین آمار مثل کریجینگ برای مدلسازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که کریجینگ از دیگر ابزارهای ژئواستاتستیکی برای مدلسازی متغیرهای کیفیت آب زیرزمینی بهتر است. چاین<sup>۴</sup> (۶) خصوصیات خاک را با استفاده از روش‌های ژئواستاتستیکی شامل کریجینگ و کوکریجینگ در منطقه میانی غرب تایوان تجزیه و تحلیل کردند، خصوصیات مورد آزمایش خاک شامل فسفر، کلسیم، منیزیم و آهن قابل استخراج، مجموع نمک‌های قابل تبادل (SEB)، درصد شن، سیلت و رس خاک بود. نتایج آنها نشان داد که توزیع مکانی خصوصیات خاک که با روش کریجینگ تخمین زده شده بود با توزیع واقعی داده‌ها، همبستگی بالایی دارد. علاوه بر آن، با افزایش نمونه‌برداری از توزیع ذرات خاک، تخمین میزان نمک‌های قابل تبادل به روش کوکریجینگ نسبت به کریجینگ از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد. سالدانا<sup>۵</sup> (۲۰) تغییرات مکانی خصوصیات خاک را در مقیاس های مختلف در سه بستر رودخانه هنارس در سه زمان مختلف با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک (برای بیان تفاوت بین بسترها) و از زمین آمار (برای بیان تغییرات داخل هر بستر) اندازه گیری کردند. خصوصیات مورد مطالعه شامل توزیع اندازه ذرات خاک، مقدار کربنات کلسیم و کربن آلی خاک بود. نتایج نشان داد که تغییرپذیری خصوصیات خاک از بسترهای جوان تا قدیمی کاهش داشته است و این نمایانگر افزایش همگنی خاک با گذشت زمان می‌باشد. براتنی<sup>۶</sup> و همکاران (۱۵) نقشه‌های جامع خصوصیات فیزیکی شیمیایی و زیستی خاک را با استفاده از روشهای زمین آمار، GIS و فن سنجش از دور برای مناطق وسیعی از استرالیا تعیین کردند. رابینسون و مترنیچت<sup>۷</sup> (۱۹) در بررسی های خود به این نتیجه رسیدند که هیچ روشی غیر از روش‌های زمین آمار قادر به تولید نقشه های خصوصیات پیوسته خاک نیستند. روش‌های زمین آمار خطای یکسانی را در این تحقیق نشان دادند. روش کریجینگ در تخمین PH در خاک سطحی، روش کوکریجینگ در تعیین EC در خاک سطحی و IDW در تعیین PH خاک عمقی و روش اسپلاین در تعیین مواد آلی بهترین روش‌ها بودند.

چنگ<sup>۸</sup> و همکاران (۵) توزیع مکانی عناصر نیتروژن و فسفر را در گیاهان فلات آردوس بررسی کرده و میزان آن را در گیاهان منطقه درون یابی کردند. دواوی<sup>۹</sup> همکاران (۸) نقشه شوری خاک را برای منطقه‌ای در الجزایر با استفاده از روشهای زمین آمار تهیه کردند در این مطالعه از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای نظیر NDVI به عنوان متغیر کمکی در روش کوکریجینگ استفاده شد و نتایج قابل قبولی بدست آمد. دوفرا<sup>۱۰</sup> و همکاران (۹) توزیع مکانی خصوصیات خاک را

<sup>۱</sup> Cressie

<sup>۲</sup> Kresic

<sup>۳</sup> Jager

<sup>۴</sup> Chien

<sup>۵</sup> Saldana

<sup>۶</sup> Bratney

<sup>۷</sup> Robinson & metternicht

<sup>۸</sup> Cheng

<sup>۹</sup> Douaoui

<sup>۱۰</sup> Duffera

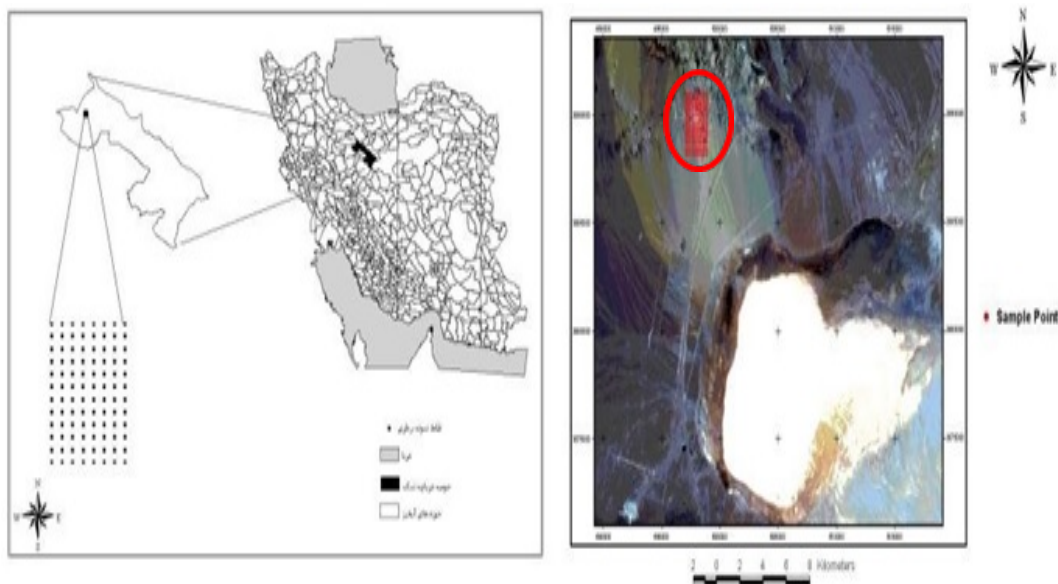
توسط دومدل ترکیبی واریوگرام و تحلیل مولفه‌های اصلی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که می‌توان خصوصیات فیزیکی خاک را به دو دسته تقسیم کرد که از یک سو شامل نقشه‌های واحدهای خاک مثل بافت خاک و از سوی دیگر گروهی که با واحدهای خاک ارتباطی ندارند مثل تخلخل می‌باشد. پاناگوپولوس<sup>۱</sup> و همکاران (۱۷) خصوصیات فیزیکی خاک یک مزرعه را جهت تولید نقشه قابلیت تولید کاهو با استفاده از زمین آمار و GIS درون‌یابی کردند. نیال<sup>۲</sup> و همکاران (۱۶) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک را برای استفاده در امور مدیریتی در زاگرس با کاربرد زمین آمار و روشهای آماری درون‌یابی کردند. پسری<sup>۳</sup> و همکاران (۱۸) از روش زمین آمار جهت تعیین خصوصیات خاک مناطق مناسب جهت احداث چراگاه در حوضه آمازون در کشور برزیل استفاده کرد. استارک<sup>۴</sup> و همکاران (۲۱) میزان موجودات ریز خاک را در منطقه‌ای در نیوزیلند با روشهای زمین آمار درون‌یابی کردند و میزان فعالیت آنها را برآورد کردند.

هدف از این تحقیق تجزیه و تحلیل مکانی خصوصیات خاک و در نهایت تهیه نقشه پارامترهای خاک در مناطق خشک و بیابانی می‌باشد.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱ منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی معادل ۶۰۰ هکتار در استان قم و حوزه آبخیز دریاچه نمک واقع است. این منطقه از جنوب به کوه کور ابلاغ، از شمال و غرب به ارتفاعات گوی داغ و از شرق به اتوبان تهران- قم محدود می‌شود. مختصات مهم جغرافیایی منطقه ۵۵ درجه و ۵۹ دقیقه و ۲۰ ثانیه تا ۵۰ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ۳۵ درجه و ۹ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۸ دقیقه و ۱۰ ثانیه عرض شمالی است. موقعیت منطقه مورد مطالعه و نحوه نمونه برداری در تصویر ماهواره‌ای ETM؛ در کل کشور در شکل (۱) ارائه گردیده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

<sup>۱</sup> Panagopoulos

<sup>۲</sup> Neal

<sup>۳</sup> Pcerri

<sup>۴</sup> Stark

از آنجایی که منطقه مورد مطالعه در زون ایران مرکزی واقع است بطور خلاصه این زون مورد بررسی قرار می‌گیرد. ایران مرکزی از واحدهای اصلی و عمده ای تشکیل شده است که به شکل مثلث در مرکز ایران قرار دارد و جز بزرگترین و پیچیده ترین واحدهای زمین شناسی به شمار می‌رود. در این واحد قدیمی ترین سنگ های دگرگون شده (پروکامبرین) تا آتشفشانهای فعال و نیمه فعال امروزی قرار دارند، حد شمالی آن زون البرز و حد غربی آن به زون دگرگون شده سنندج-سیرجان محدود می‌شود. روندهای ساختمانی عمده مناطق مجاور به صورت پیچیده ای در ایران مرکزی دیده می‌شود و به این ترتیب شکلی در هم و مثلثی را پدید می‌آورد. حداقل ارتفاع حوزه از سطح دریا در این منطقه حدود ۱۱۰۰ متر در ابتدای حوزه و جنب اتوبان و حداکثر ارتفاع ۱۶۱۵ متر است که مربوط به قله کوه کور ابلاغ می‌باشد. منطقه عموماً کم شیب بوده (۵٪ تا ۱۰٪) لیکن در بخش های کوهستانی شیب به حدود ۷۰٪ می‌رسد. میانگین سالانه دمای روزانه هوا ۱۵ الی ۱۷ درجه سانتی گراد و میانگین بارش سالانه ۱۵۰ الی ۲۰۰ میلی متر است. میانگین تبخیر سالیانه از تشت تبخیر در این منطقه ۲۴۰۰ الی ۲۶۰۰ میلیمتر است و از نظر اقلیمی این منطقه در دستگاه دو مارتن گسترش یافته جزو مناطق خشک بیابانی سرد محسوب می‌شود. از بین تیپ های مختلف اراضی، ۳ تیپ اراضی زیر در منطقه اله یار قم، بیشتر به چشم می‌خورد که شامل: تیپ اراضی تپه ای (شامل تپه های کم ارتفاع تا نسبتاً مرتفع با قله مدور و نسبتاً مسطح)، تیپ اراضی فلات (عمدتاً در قسمت جنوب شرقی و مرکز حوزه و شامل فلات های پست و بلند با پستی و بلندی کم) و تیپ اراضی باد بزی شکل سنگ ریزه دار واریزه ای (اطراف مسیل ها و رودخانه ها فصلی و دارای مقداری سنگ ریزه های ریز و درشت) می‌باشد.

## ۲-۲ روش کار

در ابتدا نقشه های و نقشه های توپوگرافی DGN سازمان نقشه برداری و همچنین تصاویر ماهواره ای ETM مربوط به اردیبهشت سال ۱۳۸۱ (زمان نمونه برداری از نظر فصلی) سازمان فضایی کشور مربوط به منطقه تهیه گردید و با بررسی آنها و بازدید صحرایی از منطقه الله یار قم محدوده ای برای نمونه برداری در نظر گرفته شد که از لحاظ ارتفاع، پوشش گیاهی و نوع خاک دارای تنوع باشد و دارای مسیر های دسترسی جهت نمونه برداری باشد. بعد از بررسی اطلاعات پایه و بازدید صحرایی منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شد و بر اساس مطالعات خاکشناسی تفصیلی دقیق، نمونه برداری با فواصل ۲۵۰ متر انجام گرفت. در این مرحله تعداد ۹۶ پروفیل خاک حفر گردید و از دو عمق ۰ تا ۲۰ سانتیمتر (عمق تحت تاثیر ماده آلی) و عمق ۲۰ تا ۷۰ سانتیمتر (عمق تحت تاثیر ریشه) نمونه برداری انجام گرفت. در مرحله عملیات آزمایشگاهی برای هر نمونه پارامترهای بافت خاک شامل رس، سیلت و شن با روش هیدرومتری، کلسیم و منیزیم (سختی) با روش تیتراسیون در آزمایشگاه اندازه گیری گردید.

## ۲-۳ تجزیه و تحلیل داده‌ها

روش های مختلفی برای برآورد متغیرهایی که تغییرات زمانی و مکانی دارند، وجود دارد. تفاوت عمده این روش ها مربوط به نحوه محاسبه وزنی است که به نقاط مشاهده شده اطراف نقطه مجهول داده می‌شود. در این تحقیق سعی گردید که تا حد امکان روش های مختلف میانبایی با یکدیگر مقایسه گردد. روش های میانبایی به دو گروه کلی روش های زمین آماری و معین تقسیم بندی می‌شوند (۱۴). در قسمت روش های میان بایی از انواع روش های کریجینگ<sup>۱</sup> و کوکریجینگ<sup>۲</sup> که شامل انواع معمولی<sup>۳</sup>، ساده<sup>۴</sup>، جامع<sup>۱</sup> و گسسته<sup>۲</sup> است استفاده گردید. استفاده از این روش ها مزایایی نظیر تحلیل واریوگرافی دارد

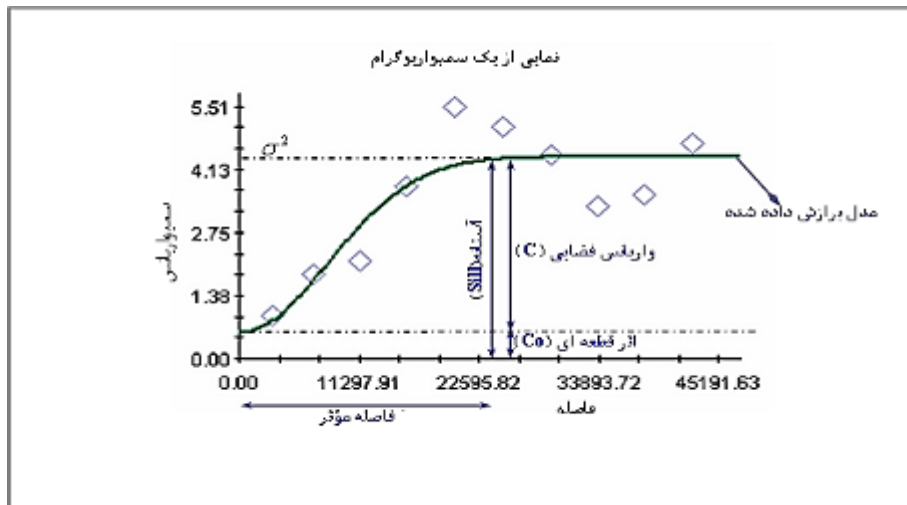
<sup>۱</sup> Kriging

<sup>۲</sup> Cokriging

<sup>۳</sup> ordinary

<sup>۴</sup> Simple

که می‌توان با آن پارامترهایی نظیر اثر قطعه‌ای، اثر ساختاردار، شعاع تأثیر و همچنین پارامتر همبستگی مکانی را بدست آورد. فاصله‌ای که در آن واریوگرام به حد ثابتی می‌رسد و به حالت خط افقی نزدیک می‌شود، دامنه یا شعاع تأثیر (R) نامیده می‌شود (شکل ۲). این دامنه محدوده‌ای را مشخص می‌کند که می‌توان از داده‌های موجود در آن، برای تخمین مقدار متغیر مجهول استفاده کرد (۱۴). به مقدار ثابتی که واریوگرام در دامنه تأثیر به آن می‌رسد، آستانه گفته می‌شود. مقدار آستانه برابر واریانس کل تمام نمونه‌هایی است که در محاسبه تغییرنا پکار رفته‌اند. مقدار واریوگرام در مبدأ مختصات یعنی به ازای  $h=0$  را اثر قطعه‌ای (C) می‌نامند (شکل ۲). در حالت ایده‌آل مقدار C باید صفر باشد، اما در بیشتر مواقع بزرگتر از صفر است. در این حالت جزء تصادفی و یا غیر ساختاردار متغیر ظاهر می‌شود. با استفاده از پارامترهای واریوگرام می‌توان شبکه نمونه برداری را بصورت بهینه طراحی نمود (۱۴).



شکل ۲: واریوگرام و پارامترهای آن

لازم به ذکر است که استفاده از روش‌های کوکریجینگ (تخمین زن کوکریجینگ همان کوریجینگ توسعه یافته می‌باشد که در آن متغیره‌های ثانویه نیز لحاظ شده‌اند) نیاز به یک متغیر کمکی دارد که در این مطالعه از شاخص‌ها به عنوان متغیر کمکی برای تخمین و میانپایی استفاده گردید. این شاخص‌ها عبارتند از  $NDSI, SI1, SI2, SI3$  که جهت بررسی پارامترهای املاح و شوری مورد استفاده قرار گرفت. که متغیر کمکی برای هر پارامتر با استفاده از ماتریس همبستگی بدست آمد. در این روش نمودار واریوگرام برای متغیر اصلی، متغیر کمکی و تقابل پارامترهای اصلی و کمکی بدست آمد. جهت استفاده از روش‌های زمین آمار داده‌ها باید نرمال باشند. بدین منظور از آزمون کولموگراف اسمیرنوف در نرم افزار SPSS 20 که این آزمون جهت بررسی نرمال بودن داده‌های کمی می‌باشد استفاده شد. برای داده‌های که نرمال نبودند از روش‌های تبدیل از قبیل لگاریتم و ریشه دوم استفاده گردید. به منظور میان‌یابی و تهیه نقشه‌ها علاوه بر روش‌های زمین آماری از روش‌های معین استفاده گردید که این روش‌ها شامل: عکس فاصله<sup>۴</sup>، توابع شعاعی<sup>۵</sup>، تخمین عام<sup>۶</sup> و تخمین موضعی<sup>۱</sup> هستند.

<sup>۱</sup> universal

<sup>۲</sup> Disjunctive

<sup>۳</sup> Trend

<sup>۴</sup> Inverse distance weights

<sup>۵</sup> Radial basis function

<sup>۶</sup> Global Polynomial Interpolation

تابع شعاعی تابعی به صورت  $\Phi_j(x) = \Phi(\|x-x_j\|)$  می‌باشد که وابسته به فاصله بین  $X \in R^d$  و نقطه ثابت  $X_j \in R^d$  است. در این تابع  $\Phi$  تابعی پیوسته و وابسته به هر زیرمجموعه  $\Omega \in R^d$  می‌باشد.  $r$  نشان دهنده فاصله اقلیدوسی بین هر جفت نقطه در مجموعه  $\Omega$  می‌باشد. توابع شعاعی به طور معمول عبارتند از:

$$\Phi(r) = r \quad \text{خطی} \quad (۲)$$

$$\text{Cubic } \Phi(r) = r^3$$

$$\Phi(r) = r^2 \log r \quad \text{Thin-plate spline}$$

$$\Phi(r) = e^{-ar^2} \quad \text{گوسی}$$

$$\text{Multiquadric } \Phi(r) = (r^2 + c^2)^{0.5}$$

$$\text{Inverse quadric } \Phi(r) = (r^2 - c^2)^{-0.5}$$

در روش عکس فاصله، مقدارفاکتور وزنی ( $\lambda_i$ ) با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (۳)$$

$D_i$  = فاصله بین نقطه برآورد شده و مقدار مشاهده شده در نقطه  $i$ ;  $\alpha$ : توان معادله؛  $n$ : تعداد نقاط مشاهده شده می‌باشد. در روش تخمین عام یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد و یک سطح تفهیمی ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند ضلعی با توان یک، توان ۲ و یا توان ۴ باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوح با تغییرات ملایم و تدریجی است. روش تخمین موضعی یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد و با فواصل همسایگی در پنجره مشترک حساس است این روش انعطاف پذیری بالاتری نسبت به روش تخمین عام دارد. این چهار روش هیچ فرضی برای داده‌ها نیاز ندارند. پس از تصحیح هندسی تصویر  $DN$ ،  $ETM+$  تصویر مربوط به هر یک از نقاط اندازه گیری در باندهای مختلف استخراج گردید. جهت استفاده از داده‌های مناسب ماهواره‌ای مربوط به باندهای مختلف، ماتریس ضرایب همبستگی بین  $DN$  تصویر در باندهای مختلف و هریک از متغیرها محاسبه گردید و برای میانمایی از روش کوکریجینگ در نرم افزار Arc GIS 9.3 برای هر یک از پارامترها، از باندهای ضریب همبستگی بیشتری بود استفاده گردید. برای انتخاب روش مناسب از تکنیک ارزیابی متقابل<sup>۲</sup> استفاده شده است. در این روش، در هر مرحله یک نقطه مشاهده‌ای حذف شده و با استفاده از بقیه نقاط مشاهده‌ای، آن نقطه برآورد می‌شود. این کار برای کلیه نقاط مشاهده‌ای تکرار می‌شود، به طوری که در آخر به تعداد نقاط مشاهده‌ای، برآورد وجود خواهد داشت. معیارهای مختلفی نیز برای ارزیابی کارایی روش‌های میان‌یابی وجود دارد که می‌توان به میانگین خطای اریب یا انحراف<sup>۳</sup>، میانگین خطای مطلق<sup>۴</sup>، ریشه دوم میانگین مربع خطا<sup>۵</sup> و ضریب تعیین مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی<sup>۶</sup> اشاره کرد (۲۳).

<sup>۱</sup> local Polynomial Interpolation

<sup>۲</sup> Cross Validation

<sup>۳</sup> MBE

<sup>۴</sup> MAE

<sup>۵</sup> RMSE

<sup>۶</sup> R



## ۳- نتایج

جهت استفاده از داده های ماهواره ای ماتریس ضرایب همبستگی بین پارامتر های سطحی و DN باندها (جدول ۳) بر قرار گردید و از باند دارای بیشترین ضریب همبستگی استفاده گردید. علاوه بر DN شاخص های NDSI، SI1 SI2 بر تصویر اعمال گردید و ارزش رقومی آنها نیز بعنوان متغیر کمکی در تخمین پارامترها در روش کوکریجنگ بکار گرفته شد. جداول (۱ و ۲) نشان دهنده ضرایب همبستگی بین پارامتر ها می باشد. لازم به ذکر است که در روش کوکریجنگ متغیر کمکی بر اساس بیشترین ضریب همبستگی میان پارامتر مورد نظر و سایر پارامتر ها در نظر گرفته شد.

جدول ۱: بیشترین ضرایب همبستگی پارامتر های سطحی

ردیف	پارامتر	بیشترین همبستگی (پارامتر)	ضریب همبستگی
۱	رس	شن	-۰/۸۷۲
۲	سیلت	شن	-۰/۸۱۹
۳	شن	رس	-۰/۸۷۲
۴	منیزیم	سختی (کلسیم + منیزیم)	۰/۷۰۹
۵	کلسیم	سختی (کلسیم + منیزیم)	۰/۹۰۶

جدول ۲: بیشترین ضرایب همبستگی پارامتر های عمقی

ردیف	پارامتر	بیشترین همبستگی (پارامتر)	ضریب همبستگی
۱	رس	شن	-۰/۸۹۴
۲	سیلت	شن	-۰/۷۲۴
۳	شن	رس	-۰/۸۹۴
۴	منیزیم	سختی (کلسیم + منیزیم)	۰/۷
۵	کلسیم	سختی (کلسیم + منیزیم)	۰/۹۴۴

جدول ۳: بیشترین ضرایب همبستگی بین پارامترهای سطحی و DN باندهای تصویر

ردیف	پارامتر	بیشترین همبستگی (باند + ETM)	ضریب همبستگی
۱	رس	۷	۰/۱۶۳
۲	سیلت	۷	۰/۱۱۶
۳	شن	۷	-۰/۱۶۷
۴	منیزیم	۲	-۰/۰۹۹
۵	کلسیم	۵	-۰/۱۴۷

در شکل های ۳ تا ۷ نتایج تحلیلهای واریوگرافی شامل نمودار واریوگرام برای بهترین روش و دقت حاصل از کاربرد هر یک از روش های معین (جدول ۴) و زمین آماری (جدول ۵ و ۶) برای هر پارامتر نشان داده شده است. واریوگرام به منظور تشریح پیوستگی مکانی یک متغیر بکار می رود. پیوستگی مکانی بدین معناست که نمونه های مجاور تا فاصله معینی به هم



وابستگی دارند و هدف اصلی از محاسبه واریوگرام این است که بتوان تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی یا زمانی شناخت (۳). تمامی نقشه‌ها (شکل ۸-۱۲) نشان دهنده نقشه حاصل از کاربرد بهترین روش بر اساس معیار MAE و R می‌باشد.

جدول ۴: نتایج روش‌های معین برای پارامترهای خاک

R	MAE	روش		R	MAE	روش	
۰/۰۴۳	۶/۳	عکس فاصله	رس سطحی	-۰/۱۷	۶/۴۴	عکس فاصله	رس عمقی
۰/۱۵	۶/۳۳	تابع شعاعی		-۰/۱۸	۶/۹۳	تابع شعاعی	
-۰/۰۷	۶/۴۹	تخمینگر عام		۰/۰۷۶	۶/۴	تخمینگر عام	
-۰/۰۳	۶/۵	تخمینگر موضعی		۰/۰۵۴	۶/۴۳	تخمینگر موضعی	
۰/۳۶	۴/۷۶	عکس فاصله	سیلت سطحی	-۰/۱۱	۴/۰۶	عکس فاصله	سیلت عمقی
۰/۳۸	۴/۹۷	تابع شعاعی		-۰/۰۵۳	۴/۲۵	تابع شعاعی	
۰/۳۶	۴/۸۴	تخمینگر عام		-۰/۰۸	۴/۰۵	تخمینگر عام	
۰/۴۷۵	۴/۶۶	تخمینگر موضعی		-۰/۰۰۹	۴/۰۶	تخمینگر موضعی	
۰/۲۹	۹/۴۵	عکس فاصله	شن سطحی	-۰/۲۸	۸/۹۱	عکس فاصله	شن عمقی
۰/۳۷	۹/۵۴	تابع شعاعی		-۰/۲۵	۹/۶۴	تابع شعاعی	
۰/۲۴	۹/۸۷	تخمینگر عام		۰/۰۱	۸/۶۸	تخمینگر عام	
۰/۳۲	۹/۶۱	تخمینگر موضعی		-۰/۰۰۸	۸/۷۲	تخمینگر موضعی	
۰/۰۵۸	۱/۶۴	عکس فاصله	کلسیم سطحی	-۰/۰۸۶	۱/۶۶	عکس فاصله	کلسیم عمقی
۰/۰۸۱	۱/۷۴	تابع شعاعی		-۰/۰۵۲	۱/۸۴	تابع شعاعی	
۰/۰۱۵	۱/۶۷	تخمینگر عام		-۰/۰۳۹	۱/۷۶	تخمینگر عام	
۰/۲۶	۱/۶۵	تخمینگر موضعی		۰/۰۲۲	۱/۷۴	تخمینگر موضعی	
-۰/۱۸	۱/۳۱	عکس فاصله	منیزیم سطحی	-۰/۱۴	۱/۲۷	عکس فاصله	منیزیم عمقی
-۰/۰۸۵	۱/۳۸	تابع شعاعی		-۰/۲۴	۱/۳۴	تابع شعاعی	
-۰/۱۲	۱/۲۹	تخمینگر عام		-۰/۱۴	۱/۲۷	تخمینگر عام	
-۰/۱۳	۱/۳	تخمینگر موضعی		-۰/۰۹	۱/۲۶	تخمینگر موضعی	

جدول ۵: نتایج روش‌های کریجینگ برای پارامترهای خاک

R	MAE	روش		R	MAE	روش	
۰/۳۸	۵/۸۹	کریجینگ گسسته	رس سطحی	-۰/۲۱	۶/۳۷	کریجینگ گسسته	رس عمقی
-۰/۰۲	۶/۲۷	کریجینگ جامع		-۰/۲	۶/۵۹	کریجینگ جامع	
۰/۰۰۴	۶/۲۴	کریجینگ ساده		۰-۰/۲۱	۶/۳۷	کریجینگ ساده	
-۰/۰۲	۶/۲۷	کریجینگ معمولی		-۰/۲	۶/۵۹	کریجینگ معمولی	
۰/۳۷	۴/۷۹	کریجینگ گسسته	سیلت سطحی	-۰/۲	۳/۹	کریجینگ گسسته	سیلت عمقی
۰/۴	۴/۷۳	کریجینگ جامع		-۰/۰۶۳	۴/۰۱	کریجینگ جامع	
۰/۳۹	۴/۷۴	کریجینگ ساده		-۰/۰۷۵	۳/۸۹	کریجینگ ساده	

۰/۴	۴/۷۳	کریجینگ معمولی		-۰/۰۶	۴/۰۱	کریجینگ معمولی	
۰/۲۹	۹/۴۸	کریجینگ گسسته		۰/۰۰۰۰۴	۸/۳۳	کریجینگ گسسته	
۰/۳	۹/۴	کریجینگ جامع	شن سطحی	-۰/۳۳	۹/۰۸	کریجینگ جامع	شن عمقی
۰/۲۹	۹/۴۲	کریجینگ ساده		۰/۰۰۰۰۴	۸/۳۳	کریجینگ ساده	
۰/۳	۹/۳۹	کریجینگ معمولی		-۰/۳۳	۹/۰۷	کریجینگ معمولی	
۰/۰۸۵	۲/۰۱	کریجینگ گسسته		۰/۰۰۸	۱/۵۳	کریجینگ گسسته	
۰/۰۴	۱/۵۸	کریجینگ جامع	کلسیم سطحی	۰/۰۱۸	۱/۵۲	کریجینگ جامع	کلسیم عمقی
۰/۰۵	۱/۵۷	کریجینگ ساده		۰/۰۱۹	۱/۵۲	کریجینگ ساده	
۰/۰۵۲	۱/۵۸	کریجینگ معمولی		۰/۰۱۸	۱/۵۲	کریجینگ معمولی	
۰	۱/۲۷	کریجینگ گسسته		۰	۱/۱۹	کریجینگ گسسته	
-۰/۰۸	۱/۲۶	کریجینگ جامع	منیزیم سطحی	-۰/۲۹	۱/۲۹	کریجینگ جامع	منیزیم عمقی
۰	۱/۲۷	کریجینگ ساده		-۰/۳۲	۱/۲۸	کریجینگ ساده	
-۰/۰۸	۱/۲۶	کریجینگ معمولی		-۰/۲۹	۱/۲۹	کریجینگ معمولی	

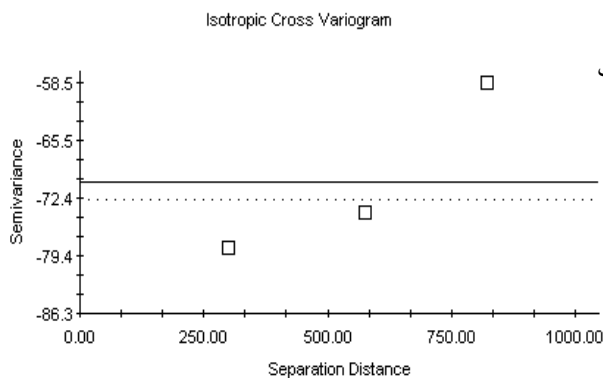
جدول ۶: نتایج روش‌های کوکریجینگ برای پارامترهای خاک

R	MAE	روش		R	MAE	روش	
۰/۳۵	۴/۸	کوکریجینگ گسسته	متغییر کمکی برای DN	۰/۱۶	۳/۸	کوکریجینگ گسسته	سیلت عمقی
۰/۳۹	۴/۷۸	کوکریجینگ جامع		۰/۰۶	۳/۹۱	کوکریجینگ جامع	
۰/۳۵	۴/۸۳	کوکریجینگ ساده	سطحی	۰/۱۶	۳/۸۲	کوکریجینگ ساده	
۰/۳۹	۴/۷۸	کوکریجینگ معمولی		۰/۰۶	۳/۹۱	کوکریجینگ معمولی	
۰/۱۸	۶/۰۱۶	کوکریجینگ گسسته	رس سطحی	۰/۰۸۹	۶/۰۲	کوکریجینگ گسسته	رس عمقی
۰/۱۸	۶/۱۷	کوکریجینگ جامع		-۰/۰۹۵	۶/۴	کوکریجینگ جامع	
۰/۲۵	۶/۰۷	کوکریجینگ ساده		۰/۰۹	۶/۰۲	کوکریجینگ ساده	
۰/۰۲	۶/۳۳	کوکریجینگ معمولی		-۰/۰۹	۶/۴	کوکریجینگ معمولی	
۰/۳۱	۹/۴۲	کوکریجینگ گسسته	متغییر کمکی برای DN	-۰/۰۷	۸/۴۱	کوکریجینگ گسسته	شن عمقی
۰/۲۹	۹/۵۳	کوکریجینگ جامع		-۰/۱۷	۸/۷۸	کوکریجینگ جامع	
۰/۳۰	۹/۶۴	کوکریجینگ ساده	شن سطحی	۰/۰۰۲	۸/۳۶	کوکریجینگ ساده	
۰/۲۹	۹/۵۲	کوکریجینگ معمولی		-۰/۱۷	۸/۷۸	کوکریجینگ معمولی	
۰/۲۴	۱/۵۳	کوکریجینگ گسسته	متغییر کمکی سختی برای کلسیم سطحی	۰/۰۱	۱/۵۶	کوکریجینگ گسسته	متغییر کمکی برای کلسیم سطحی
۰/۱۵	۱/۵۶	کوکریجینگ جامع		۰/۱۱	۱/۵۷	کوکریجینگ جامع	
۰/۲	۱/۵۴	کوکریجینگ ساده		۰/۰۱	۱/۵۷	کوکریجینگ ساده	
۰/۱۵	۱/۵۵	کوکریجینگ معمولی		۰/۱۱	۱/۵۷	کوکریجینگ معمولی	
۰/۰۳۲	۱/۵۶	کوکریجینگ گسسته	متغییر کمکی SI1 برای کلسیم	۰/۰۷۲	۱/۵۵	کوکریجینگ گسسته	متغییر کمکی NDSI برای کلسیم
۰/۱۱	۱/۵۶	کوکریجینگ جامع		۰/۱۱	۱/۵۷	کوکریجینگ جامع	
۰/۰۳۲	۱/۵۶	کوکریجینگ ساده		۰/۰۷۲	۱/۵۵	کوکریجینگ ساده	

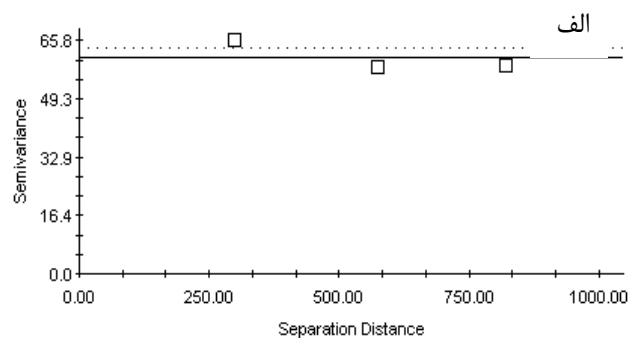
سطحی	کوکر یجینگ معمولی	۱/۵۷	۰/۱۱	سطحی	کوکر یجینگ معمولی	۱/۵۶	۰/۱۱
کوکر یجینگ گسسته	۱/۵۱	۰/۱۶	متغییر کمکی	کوکر یجینگ گسسته	۱/۵۶	۰/۲۷	۰/۲۷
کوکر یجینگ جامع	۱/۵۱	۰/۰۵	SI2 برای	کوکر یجینگ جامع	۱/۵۶	۰/۱۱	۰/۱۱
کوکر یجینگ ساده	۱/۵	۰/۱۶	کلسیم	کوکر یجینگ ساده	۱/۵۶	۰/۲۷	۰/۲۷
کوکر یجینگ معمولی	۱/۵۱	۰/۰۵	سطحی	کوکر یجینگ معمولی	۱/۵۶	۰/۱۱	۰/۱۱
کوکر یجینگ گسسته	۱/۲۶	۰/۱۳	متغییر کمکی	کوکر یجینگ گسسته	۱/۲۸	۰/۰۶	-۰/۰۶
کوکر یجینگ جامع	۱/۲۶	-۰/۰۶	DN برای	کوکر یجینگ جامع	۱/۲۶	۰/۰۸	-۰/۰۸
کوکر یجینگ ساده	۱/۲۷	۰/۰۹۷	منیزیم	کوکر یجینگ ساده	۱/۲۸	۰/۰۶	-۰/۰۶
کوکر یجینگ معمولی	۱/۲۶	-۰/۰۶	سطحی	کوکر یجینگ معمولی	۱/۲۶	۰/۰۸	-۰/۰۸
کوکر یجینگ گسسته	۱/۲۷	۰/۰۶	متغییر کمکی	کوکر یجینگ گسسته	۱/۲۷	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲
کوکر یجینگ جامع	۱/۲۶	-۰/۰۸	SI1 برای	کوکر یجینگ جامع	۱/۳۷	۰/۰۸۳	-۰/۰۸۳
کوکر یجینگ ساده	۱/۲۷	-۰/۰۵	منیزیم	کوکر یجینگ ساده	۱/۲۷	۰/۰۶۲	۰/۰۶۲
کوکر یجینگ معمولی	۱/۲۶	-۰/۰۸	سطحی	کوکر یجینگ معمولی	۱/۲۶	۰/۰۷۲	-۰/۰۷۲
کوکر یجینگ گسسته	۱/۲	-۰/۱۲	متغییر	کوکر یجینگ گسسته	۱/۲۷	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۸
کوکر یجینگ جامع	۱/۲۹	-۰/۲۹	کمکی SI2	کوکر یجینگ جامع	۱/۲۸	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۸
کوکر یجینگ ساده	۱/۲	-۰/۱۲	برای منیزیم	کوکر یجینگ ساده	۱/۲۸	۰/۰۰۸	-۰/۰۰۸
کوکر یجینگ معمولی	۱/۲۹	-۰/۱۲	سطحی	کوکر یجینگ معمولی	۱/۲۶	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۷

بعد از اندازه گیری پارامترها با استفاده از روش های زمین آماری و معین نقشه هر یک از پارامترهای اندازه گیری شده تعیین گردید (اشکال ۸-۱۲). ابتدا روش های معین بکار گرفته شدند و دقت حاصل از هر کدام بر اساس معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) بدست آمد. نتایج استفاده از روش های معین در تخمین هر پارامتر در جدول ۴ ارائه گردیده است. سپس روش های زمین آماری بکار گرفته شدند. ابتدا داده ها از لحاظ نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج آن در جدول (۵ و ۶) ارائه گردیده است. سپس واریوگرام یک متغیره و دو متغیره (کوکر یجینگ) محاسبه گردید. نمودار و اجزا واریوگرام بهترین روش برای هر پارامتر در اشکال ۳-۷ ارائه گردیده است. نهایتاً هر یک از پارامترها با استفاده از انواع روش های زمین آماری مورد تخمین قرار گرفتند و دقت آنها مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵ و ۶).

Isotropic Variogram



Linear model (Co = -70.3881; Co + C = -70.3881; Ao = 822.73; r2 = 0.883; RSS = 221.)

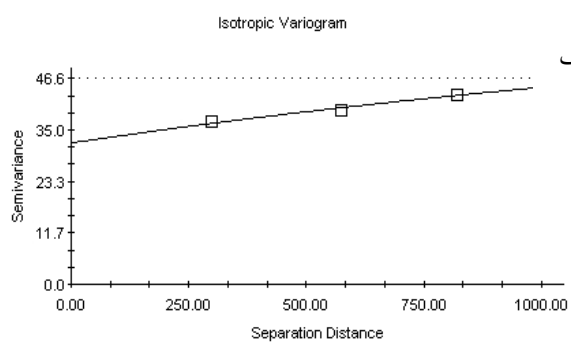
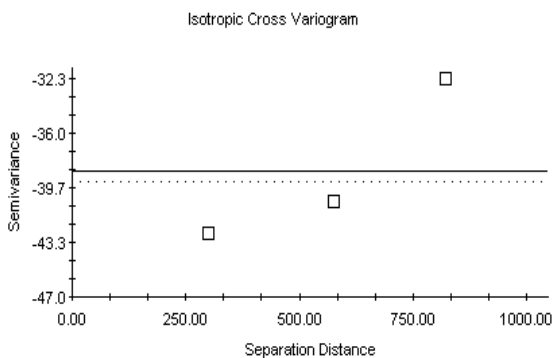


Linear model (Co = 60.9212; Co + C = 60.9212; Ao = 821.29; r2 = 0.767; RSS = 35.2)

شکل ۳: الف) واریوگرام رس سطحی ب) واریوگرام متقابل رس عمقی

جدول ۷: پارامترهای واریوگرام رس

پارامتر	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	شعاع تاثیر	همبستگی مکانی
رس سطحی	خطی	۶۰/۹	۶۰/۹	۸۲۱/۳	۰
رس عمقی	خطی	-۷۰/۳۹	-۷۰/۳۹	۸۲۲/۷	۰



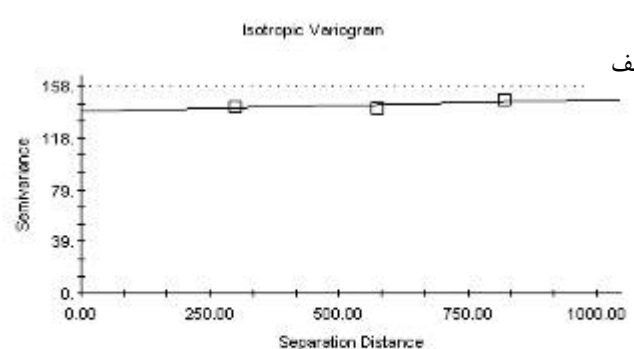
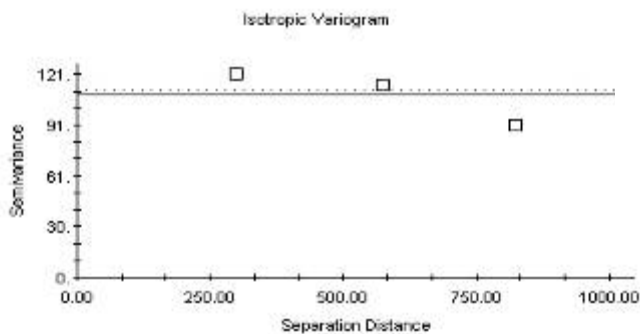
Linear model ( $C_0 = -38.5588$ ;  $C_0 + C = -38.5588$ ;  $A_0 = 822.73$ ;  $r^2 = 0.875$ ;  
RSS = 60.5)

Exponential model ( $C_0 = 32.0000$ ;  $C_0 + C = 64.0800$ ;  $A_0 = 2002.00$ ;  $r^2 = 0.982$ ;  
RSS = 0.358)

شکل ۴: الف) واریوگرام سیلت سطحی ب) واریوگرام متقابل سیلت عمقی

جدول ۸: پارامترهای واریوگرام سیلت

پارامتر	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	شعاع تاثیر	همبستگی مکانی
سیلت سطحی	نمایی	۳۲	۶۴/۰۸	۶۰۰۶	۰/۵۰۱
سیلت عمقی	خطی	-۳۸/۵۶	-۳۸/۵۶	۸۲۲/۷	۰



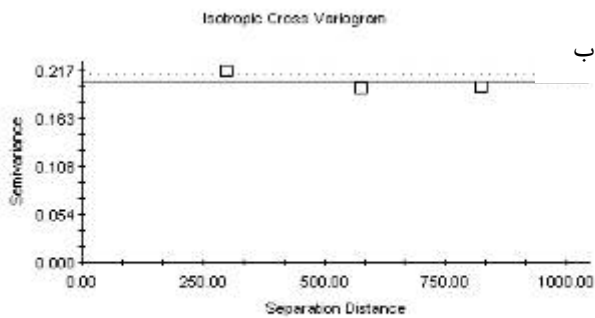
Linear model ( $C_0 = 108.9469$ ;  $C_0 + C = 108.9469$ ;  $A_0 = 822.73$ ;  $r^2 = 0.880$ ;  
RSS = 512.)

Linear model ( $C_0 = 138.5188$ ;  $C_0 + C = 145.6612$ ;  $A_0 = 821.29$ ;  $r^2 = 0.576$ ;  
RSS = 58.0)

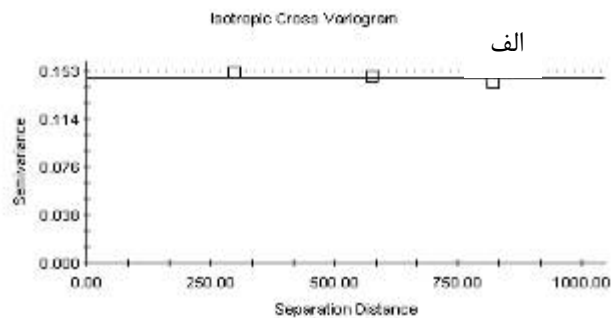
شکل ۵: الف) واریوگرام شن سطحی ب) واریوگرام شن عمقی

جدول ۹: پارامترهای واریوگرام شن

پارامتر	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	شعاع تاثیر	همبستگی مکانی
شن سطحی	نمایی	۱۳۸/۵	۱۴۵/۶۶	۸۲۱/۳	۰/۰۴۹
شن عمقی	خطی	۱۰۸/۹	۱۰۸/۹	۸۲۲/۷	۰



Linear model (Co = 0.2043, Co + C = 0.2043, Ao = 822.73, r2 = 0.710, RSS = 2.328E-04)

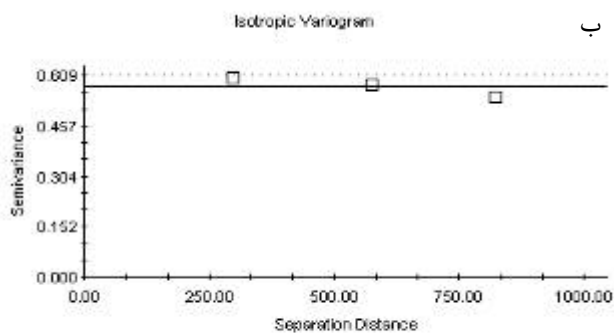


Linear model (Co = 0.1477, Co + C = 0.1477, Ao = 821.28, r2 = 0.845, RSS = 4.130E-05)

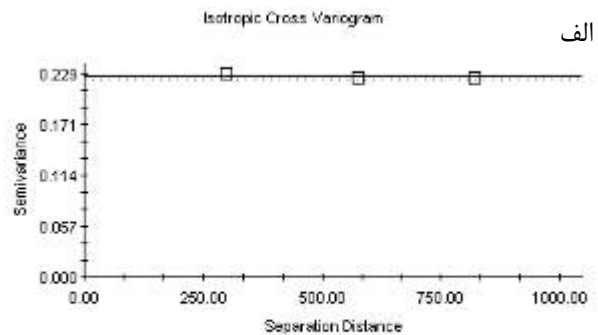
شکل ۶: الف) واریوگرام متقابل کلسیم سطحی (ب) واریوگرام کلسیم عمقی

جدول ۱۰: پارامترهای واریوگرام کلسیم

پارامتر	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	شعاع تاثیر	همبستگی مکانی
کلسیم سطحی	خطی	۰/۱۴۸	۰/۱۴۸	۸۲۲/۷	۰
کلسیم عمقی	خطی	۰/۲۰۴	۰/۲۰۴	۸۲۲/۷	۰



Linear model (Co = 0.5765, Co + C = 0.5765, Ao = 822.73, r2 = 0.966, RSS = 1.849E-03)



Linear model (Co = 0.2253, Co + C = 0.2253, Ao = 821.28, r2 = 0.781, RSS = 1.618E-05)

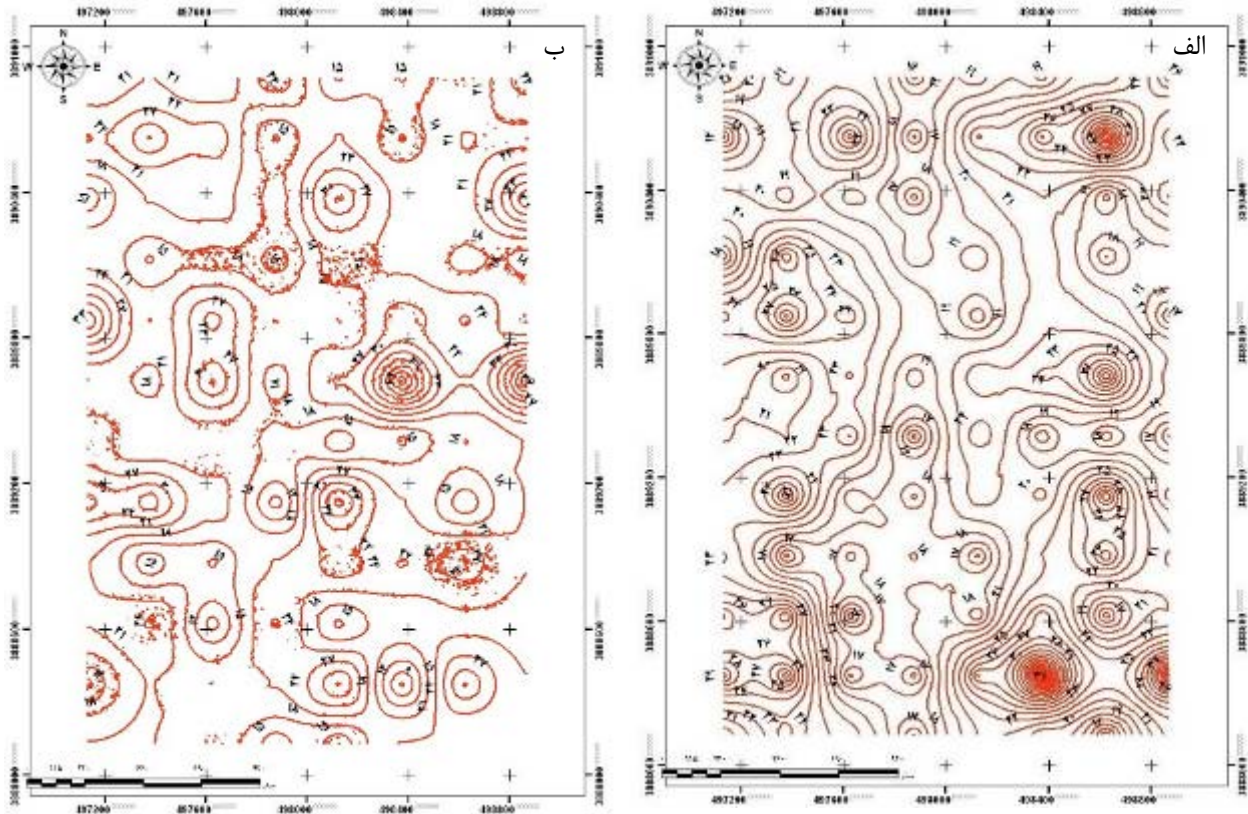
شکل ۷: الف) واریوگرام متقابل منیزیم سطحی (ب) واریوگرام منیزیم عمقی

جدول ۱۱: پارامترهای واریوگرام منیزیم

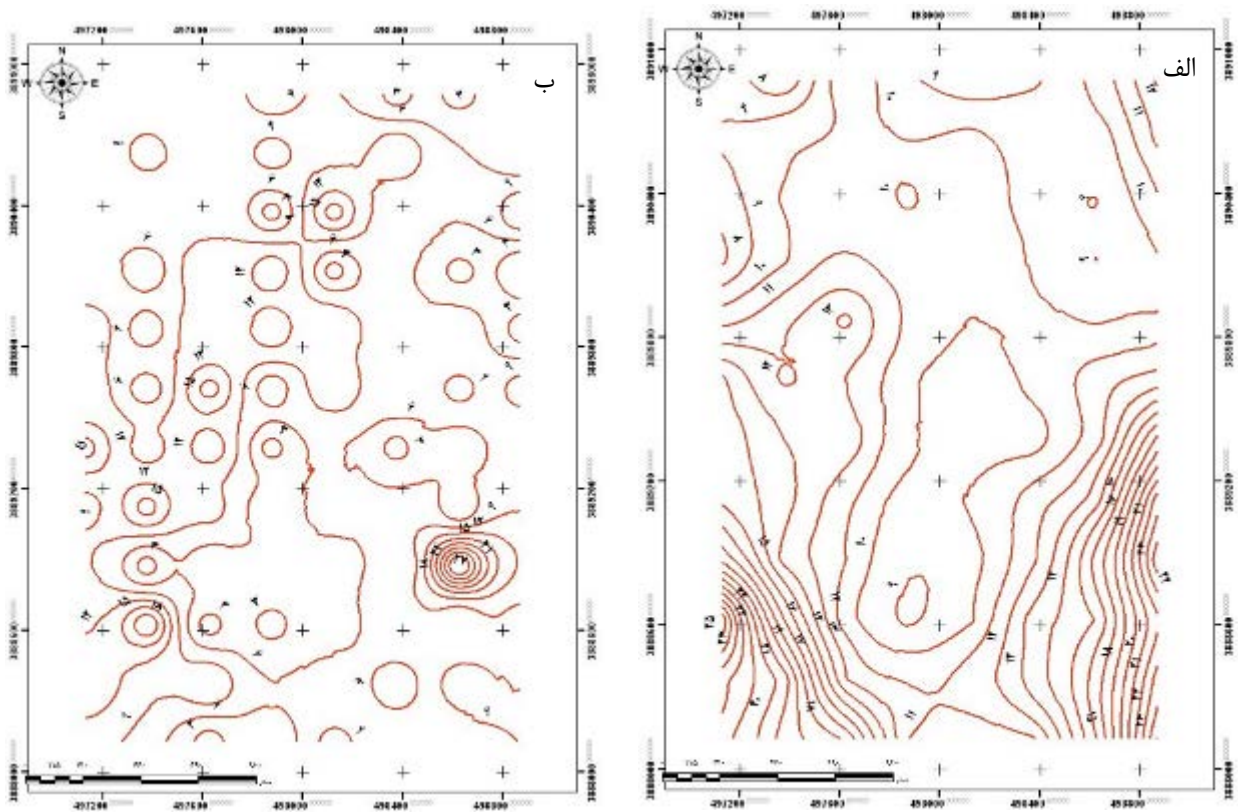
پارامتر	مدل	اثر قطعه ای	آستانه	شعاع تاثیر	همبستگی مکانی
منیزیم سطحی	خطی	۰/۲۲	۰/۲۲	۸۲۲/۷	۰
منیزیم عمقی	خطی	۰/۵۷۶	۰/۵۷۶	۸۲۲/۷	۰

بهترین نقشه پراکندگی پارامترها اندازه گیری شده با استفاده از روش های زمین آماری و روشهای معین ترسیم گردید که در اشکال ۸-۱۲ قابل مشاهده می باشند.



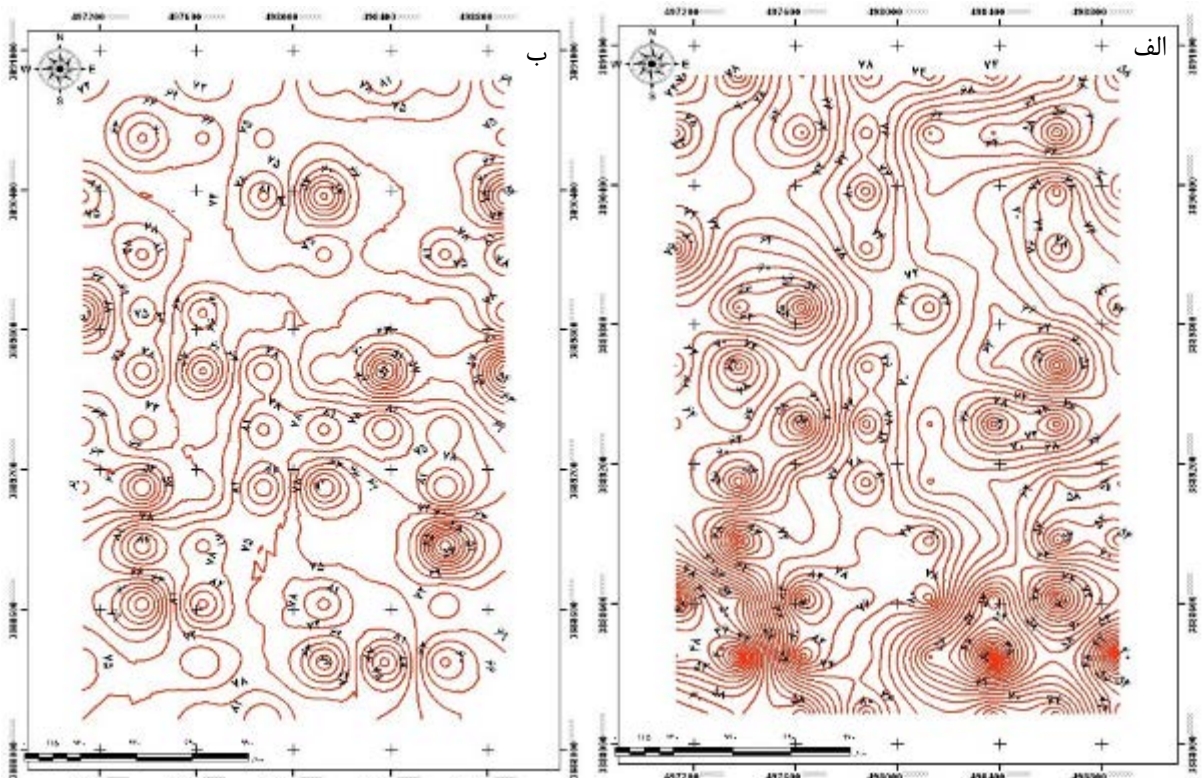


شکل ۸: الف) نقشه رس سطحی بر اساس روش کریجینگ گسسته ب) نقشه رس عمقی بر اساس روش کوکریجینگ گسسته

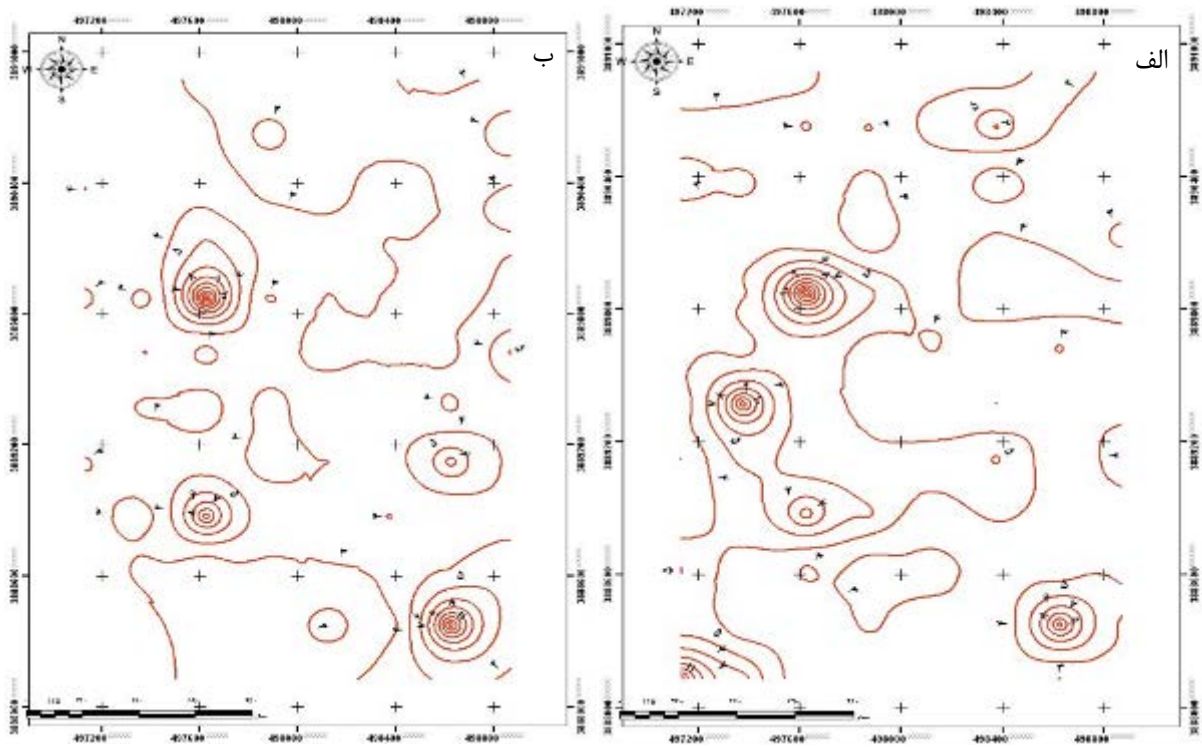


شکل ۹: الف) نقشه سیلت سطحی بر اساس روش تخمین موضعی ب) نقشه سیلت عمقی بر اساس روش کوکریجینگ گسسته



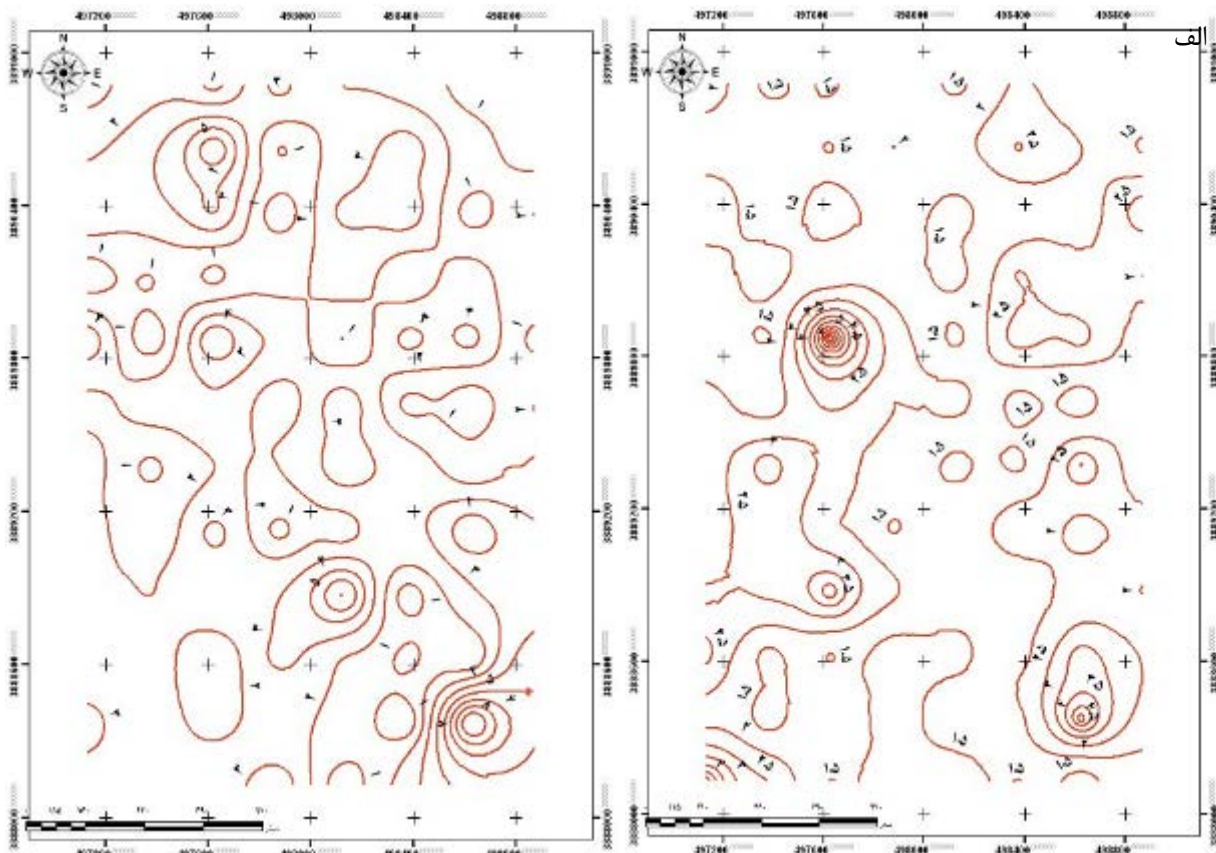


شکل ۱۰: الف) نقشه شن سطحی بر اساس روش کربجینگ معمولی ب) نقشه شن عمقی بر اساس روش کربجینگ گسسته



شکل ۱۱: الف) نقشه کلسیم سطحی بر اساس روش کوکریجینگ گسسته ب) نقشه کلسیم عمقی بر اساس کوکریجینگ ساده





شکل ۱۲: الف) نقشه منبسط سطحی بر اساس روش کوکریجینگ گسسته ب) نقشه منبسط عمقی بر اساس روش کوکریجینگ گسسته

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

به دلیل محدودیت های اقتصادی و دیگر مشکلات عملی بسیاری از خصوصیات محیطی و از جمله ویژگی های مختلف خاک در نقاط محدودی مشاهده و نمونه برداری می شوند. برای اطلاع پیدا کردن از وضعیت پدیده یا مقادیر کمی متغیر مورد مطالعه در مناطقی که نمونه برداری صورت نگرفته است بایستی اقدام به تخمین با استفاده از داده های در دسترس و مدل آماری نمود. مدل سازی داده ها و فرایندهای مکانی توسط زمین آمار بر اساس نظریه احتمال است. مدل سازی آماری یک فرایند احتمالی است که منجر به تابع و یا توابع آماری می شود و بیانگر اطلاعات مهمی در رابطه با الگوی رفتاری و چگونگی توزیع مکانی مقادیر کمی آن فرایند است. در زمین آمار این توابع را واریوگرام گویند. بررسی اشکال و نمودارهای مربوط به واریوگرام هر یک از پارامترها نشان دهنده تفاوت در مدل های واریوگرام تغییرات در آستانه اثر قطعه ای و دامنه تاثیر است. اثر تغییر مدل واریوگرام تغییر در وزن های تخصیص داده شده به نمونه های مجاور و دور است و بر دقت تخمین ها اثر زیادی خواهد گذاشت زیرا دقت اندازه گیری در روش های مختلف زمین آماری و معین متفاوت می باشد. براساس داده های موجود در جداول واریوگرام ها افزایش آستانه نسبت به اثر قطعه ای باعث افزایش همبستگی مکانی بین داده ها می گردد و نشان دهنده تاثیر یک نمونه بر نمونه مجاور است در نتیجه تخمین های دقیق تری ارائه می دهد. در صورت افزایش اثر قطعه ای که در اکثر واریوگرام های مربوط به پارامترهای رس، سیلت و شن مشاهده نمودیم واریانس یا خطای تخمین بالا خواهد رفت. چنانچه مدل واریوگرام به صورت اثر قطعه ای خالص باشد (خطی) بیانگر عدم همبستگی مکانی بین نمونه ها است و لذا هیچ گونه شباهت و یکسانی بین نمونه ها حتی در فواصل اندک وجود نخواهد داشت. تغییر

دامنه تاثیر، اثرات محسوس بر مقدار تخمین ندارد هر چند که واریانس در شرایط بکارگیری واریوگرام با دامنه بزرگتر کاهش می‌یابد. در اکثر پارامترهای سطحی مورد بررسی بهترین روش، روش‌های زمین آماری است و فقط در پارامتر سیلت بهترین روش، روش تخمین موضعی می‌باشد. در اکثر پارامترهای عمقی بهترین روش، روش‌های زمین آماری می‌باشد. تحقیقات زیادی نتایج به دست آمده را تایید میکنند که می‌توان موارد زیر اشاره کرد. کاستاریگناتو (۴) بر روی تحلیل مکانی خصوصیات خاک (شامل توزیع اندازه ذرات، ظرفیت تبادل کاتیونی، pH، مواد آلی، نیتروژن کل، فسفر و پتاسیم قابل دسترس و سدیم قابل تبادل) با استفاده از روش کریجینگ برای تهیه نقشه‌های هم مقدار در منطقه ای به مساحت ۴ هکتار از اراضی مرکز تحقیقات دانشگاه پیسا در ایتالیا مطالعه کردند. که تغییرپذیری مکانی بالای اجزای اصلی خاک را نشان داد و بنابراین امکان تقسیم منطقه به نواحی همگن فراهم شد. محمدی (۱۴) بیان می‌کنند که تجزیه و تحلیل توسط زمین آمار شامل دو مرحله اصلی است: تجزیه و تحلیل الگوی مکانی داده‌ها که منجر به واریوگرام ها می‌شود و درون‌یابی با استفاده از نیم تغییر نما. در تحقیقات سنجش از دور، توجه ویژه ای به مرحله اول (تجزیه و تحلیل الگوی مکانی) شده است. این تحقیقات نشان می‌دهد کارایی سمی واریوگرام مربوط به باندهای ETM بستگی به دامنه طیفی دارد. سمی واریوگرام های باندهای مرئی ETM تحت تاثیر مؤلفه های بازتابی متعدد خاک قرار دارد. دقت مربوط هر پارامتر در جداول ۴-۶ ارائه شده است که باتوجه به مقدار R میتوان بهترین روش را برای هر پارامتر خاک ارائه نمود و هر چه قدر که مقدار R بیشتر باشد آن روش جهت مطالعه پارامتر مورد بررسی مناسب تر خواهد بود. به طور کلی افراد زیادی جهت تخمین یک متغیر ناحیه ای از روش های زمین آمار استفاده نموده اند و نتایج حاصل از تحقیقات آنها حاکی از دقت بالای این روش ها جهت تخمین یک ویژگی است. در مواردی از اطلاعات ماهواره ای بعنوان متغیر کمکی جهت تخمین برخی از ویژگی ها استفاده گردیده است که نتایج نشان دهنده افزایش دقت با کاربرد این اطلاعات می‌باشد.

#### ۵- مراجع

1. Amini, M., Khademi, h., Fathiyanpour, n. 2002. Comparison of kriging and co-kriging estimation chlorine concentration in the soil solution, *Journal of Agricultural Science*, Volume 33, Issue 4, pp. 747- 741.
2. Azimzadeh, H., Ekhtesasi, M., Mohammadi, J., Refahi, h. 2005. Application of Kriging geostatistical method for estimating the percentage of squamous desert wind erosion rate threshold, the first national conference on wind erosion, Yazd.
3. Barnes, R.J., S.J. Baxte, R M.Lark, 2006. Spatial Covariation of Azotobacter abundance and soil properties, *soil biology & biochemistry* 42:475-482.
4. Castrignano, A., M. Mazzonancini and L. Giugliarini. 1998. Spatial characterization of soil properties. *Advances in Geoecology*. 31:105-111.
5. Cheng, X., S. An, J. Chen, B. Li, 2006. Spatial relationships among species above-ground biomass, N, P in degraded grassland in ordos Plateau, *Journal of arid environment* 68: 652-667
6. Chien, Y.J., D.Y. Guo and K.H. Houng. 1997. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil sci*. 162:291- 298.
7. Cressie, N., 1990. *Statistics for Spatial Data*. Revised Edition. Wiley, New York, USA. 900P.
8. Douaoui, A.E.K., H. Nicolas, C. Walter, 2006. Detecting Salinity hazard within a semi-arid context by means of combining soil and remote – sensing data, *Geoderama* 134:217-230.
9. Duffera, M., j.G. White, R. weisz, 2006. Spatial variability of southwestern U.S. Coastal plain soil physical properties, *Geoderama* 137: 327-339.

<sup>۱</sup> Castrignano

10. Gaus I., Kinniburgh, D.G., Talbot, J.C., Webster, R., 2003. Geostatistical analysis of arsenic concentration in groundwater in Bangladesh using disjunctive kriging, *Environmental geology*, 44:939-948.
11. Jager ,N., 1990. Hydrogeology and Groundwater simulation. *Lewis Publishers*, p 324-333.
12. Kresic, N., 1997. Hydrogeology and Groundwater Modeling. Lewis Publishers, p 764-775.
13. Mahdavi,M. Hosseini Chegini, A and Rahimi Bndrabady, S. 2004. The most suitable methods of geostatistical estimation of the spatial distribution of annual rainfall in arid and semi-arid South East Iran, *Natural Resources Journal* 57 (12), pp. 225-211.
14. Mohammadi, J., 2006. Spatial Statistics (geostatistic). Pelk Publisher, First printing. p 453.
15. MC Bratney, A.B. ,M .L. Mendonca, B. Minasny, 2003. On digital soil mapping, *Geoderama* 117:3-52.
16. Neal, M., H. Khademi, M .A .Hajabbasi, 2004. Response of Soil quality indicators and their spatial Variability to land degradation in central Iran, *Applied soil ECology* 27:221-232 .
17. Panagopoulos, T., J. Jesus, M.D.C. Antunes, J. Beltrao, 2006. Analysis of spatial interpolation for optimizing management of a salinized field cultivated with lettuce, *European journal of Agronomy* 24:1-10.
18. Pcerri, C.E., M .Bernoux, V. Chaplot, 2004. Assessment of soil property spatial variation in an Amazon Pasture, *Geodrama* 123:51-68.
19. Robinson, T.P., G. metternicht, 2006. Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties, *computer and electronic in agriculture* 50: 97-108.
20. Saldana, A., A. Stein and J.A Zinck. 1998. Spatial variability of soil properties at different scales within three terraces of the Henares River (Spain). *Catena*. 33(3-4):139-153.
21. Stark, C.E., L.M. Condrón, A. Stewart, H .J. Di, M. Callaghan, 2004. Small scale spatial variability of selected soil biological properties, *soil biology & Biochemistry* 36:601-608.
22. Zupan, M., J.W. Einax, J. Kraft, F. Lobnik and V. Hudnik. 2000. Chemo metric characterization of soil and plant pollution. Part 1: multivariate data analysis and geostatistical determination of relationship and spatial structure of inorganic contaminants in soil. *Environmental Science and Pollution Research International*. 7(2): 89-96.

## HORMOZGAN UNIVERSITY

### Quarterly Journal of ENVIRONMENTAL EROSION RESEARCH 2014 summer Vol. 4: No. 2, (14) 53-71

## Analysis of spatial variability of soil properties using geostatistics and remote sensing

- |   |                      |  |
|---|----------------------|--|
| 1 | Mohammad Asgari, H.* | Corresponding Author, Assistant professor, Dept. of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, <a href="mailto:hmasgari@ut.ac.ir">hmasgari@ut.ac.ir</a> |
| 2 | Jafari, M.           | Professor of Natural Resources and Agriculture, Tehran University.   |
| 3 | Alavipanah, S. K.    | Professor of Cartography, College of Geography, Tehran University.   |
| 4 | Farhadi, S.          | MSc of Marine Environmental , Dept. of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology  |
| 5 | Razmi, M.            | MSc of Marine Environmental , Dept. of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology  |

### Abstract

Soil mapping is one of the basic studies in the natural resource sector. The purpose of this study was to analyze spatial of soil properties on the map of arid areas and deserts. For this purpose, a region with an area of 600 hectares in Qom that considered Salt Lake watershed. Specified methods used include inverse distance methods, radial functions, and prediction local general estimate. Kriging and geostatistical methods used include a variety of types Cokriging. The results show the advantages of using geostatistical methods to determine the mapping of soil for methods of defined the maximum is 9.87 and minimum 1.26 and for methods of kriging the maximum is 9.48 and minimum 1.19 and for methods of Cokriging the maximum is 9.64 and minimum is 1.2. In this parameter has the highest correlation with the desired parameter was considered as a covariate? Landsat ETM + data have also been used as a covariate in the interpolation parameters. The results show that the use of satellite data for mapping soil parameters is increased accuracy. Most accurate method was different for each parameter and evaluated have different for mapping soil properties. In most of surface parameters the best method was geostatistical methods and in silt parameters the best methods was local estimation method. The best way in most deep parameters was geostatistical methods.

**Keywords:** Geostatistics; Spatial Variation; Kriging; Soil Properties; Remote Sensing.