

## مقایسه روش‌های زمین آمار، توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی فضایی خاک و ترکیب آنها برای برآورد مقاومت برشی لایه روئین خاک

بیژن خلیل مقدم<sup>۱\*</sup> - شجاع قربانی دشتکی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۹

تاریخ پذیرش: ۹۰/۸/۱

### چکیده

مقاومت برشی لایه روئین خاک، از جمله پارامترهای مهم و مورد نیاز برای برآورد یا شبیه‌سازی فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز است. اغلب به دلیل نبود داده‌های مقاومت برشی لایه روئین خاک، شبیه‌سازی خاک در حوزه‌های آبخیز با مشکل مواجه می‌گردد. به دلیل تغییرپذیری بالای مقاومت برشی خاک و در نتیجه نیاز به نمونه‌برداری فراوان، اندازه‌گیری آن پرهزینه، دشوار و زمان‌بر می‌باشد. بنابراین، استفاده از روش‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری آن ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این پژوهش مقایسه روش‌های کریجینگ، توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی کننده فضایی خاک و ترکیب آنها برای برآورد این پارامتر است. بدین منظور، منطقه‌ای به مساحت ۲۳۵۶۲ هکتار (دارای کاربری مرتع و مرتع تخریب شده) در زاگرس مرکزی و مستعد به فرسایش آبی انتخاب گردید. در این منطقه، بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و کاربری و قابلیت اراضی، ۱۴ واحد کاری ایجاد شده است. در کل ۹۰ نمونه در سه تکرار به منظور تعیین تغییرپذیری در هر واحد کاری از عمق ۱۰-۰ سانتی‌متری برداشت گردید. ویژگی‌های زودیاخت و دریافت مورد نیاز برای پی‌ریزی توابع انتقالی و پیش‌بینی فضایی برآوردکننده مقاومت برشی لایه روئین، اندازه‌گیری شد. ویژگی‌های زودیاخت اندازه‌گیری شده شامل توزیع اندازه ذرات، کربن آلی، کربنات کلسیم لایه‌ی روئین خاک به انضمام خواص توپوگرافی و پوشش گیاهی از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) بود. تغییرپذیری مکانی پارامترها با استفاده از تغییرنماها و نسبت اثر قطعه‌ای به کل تغییرنما بررسی و برای تهیه نقشه‌های کریجینگ مورد استفاده قرار گرفت. در روش ترکیبی، ویژگی‌های زودیاخت میان‌یابی شده به روش زمین‌آمار، به‌عنوان ورودی توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی کننده فضایی خاک، برای برآورد مقاومت برشی لایه روئین خاک مورد استفاده قرار گرفتند. از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، متوسط خطای مطلق (MAE)، میانگین هندسی خطا (GMER) و انحراف معیار هندسی خطا (GSDER) برای ارزیابی کارایی روش‌های یادشده استفاده شد. نتایج نشان داد که کارایی عملکرد توابع ترکیبی کریجینگ-توابع انتقالی در مقایسه با توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی کننده فضایی خاک مشابه بود و همه پارامترها دارای وابستگی مکانی متوسط می‌باشند.

**واژه‌های کلیدی:** توابع انتقالی خاک، توابع پیش‌بینی کننده فضایی خاک، زمین‌آمار، مقاومت برشی خاک

### مقدمه

برای در نظرگرفتن تغییرات مکانی این پارامتر، تعداد زیادی نمونه خاک دست‌نخورده مورد نیاز می‌باشد. از یک رو، روش‌های مستقیم اندازه‌گیری این پارامتر پرهزینه و زمان‌بر بوده و از سوی دیگر، نبود داده‌های ورودی مناسب برای شبیه‌سازی فرسایش و رواناب در مقیاس‌های بزرگ به مشکلی اساسی در این مدل‌ها تبدیل شده است. یکی از راه‌های چیرگی بر این مشکل، استفاده از روش‌های غیرمستقیم برای اندازه‌گیری این‌گونه ویژگی‌ها است. از جمله روش‌های غیرمستقیمی که در سال‌های اخیر برای برآورد ویژگی‌های مختلف خاک به کمک داده‌های زودیاخت خاک<sup>۴</sup> مورد استفاده قرار

مقاومت برشی لایه روئین خاک (SSS<sup>۳</sup>) یکی از داده‌های ضروری برای شبیه‌سازی دقیق فرسایش خاک به کمک مدل‌های فرسایشی از قبیل EUROSEM، WEPP و GUEST است (۷).

۱- استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین، خوزستان

(\*) نویسنده مسئول: (Email: moghaddam623@yahoo.ie)

۲- استادیار گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

4- Readily/easily available soil property data

3- Surface Shear Strength

اصلاحاتی در همین روش، جریان سه بعدی غیرماندگار برآورد گردید (۸، ۱۰، ۲۴ و ۲۹). ونگ و همکاران (۲۲) نفوذ را در مقیاس بزرگ، با استفاده از روش ترکیبی زمین آماری - توابع انتقالی مدل سازی نمودند. یه و همکاران (۲۵) از روش ترکیبی زمین آماری - شبکه عصبی مصنوعی، برای برآورد خواص هیدرولیکی استفاده نمودند. نتایج این محققین نشان داد که استفاده از روش ترکیبی باعث بهبود کارایی تخمین گردید. اما بررسی ها نشان می دهد این روش نیز تاکنون برای برآورد مقاومت برشی لایه رویین خاک به کار گرفته نشده است. بنابراین هدف از این پژوهش مقایسه روش های زمین آماری، کریجینگ - توابع انتقالی و پیش بینی فضایی خاک در پایش و تحلیل مکانی پارامترهای زود یافت و مقاومت برشی لایه رویین خاک می باشد.

### مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه بخشی از مراتع منطقه حفاظت شده شیدای شهرکرد (۳۵° ۴۳' ۳۵" تا ۵۰° ۲۷' ۱۲" شرقی و ۳۲° ۴۰' ۸" تا ۳۲° ۳۲' شمالی) با رژیم رطوبتی زیریک و حرارتی مزیک با بارندگی متوسط سالانه ۳۵۰-۶۰۰ میلی متر می باشد. این منطقه بر اساس نقشه توپوگرافی، زمین شناسی، کاربری اراضی و قابلیت اراضی به واحدهای کاری همگن تقسیم شده است (۵). در هر واحد کاری پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی مربوط به لایه رویین خاک و خواص توپوگرافی و شاخص NDVI اندازه گیری شد.

توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری (۴)، درصد سنگریزه خاک به روش حجمی، درصد رطوبت خاک به روش وزنی، کربن آلی خاک به روش والکلی و بلاک (۱۳) و مقدار کربنات کلسیم خاک به روش تیتراسیون (۱۴) اندازه گیری شدند. با استفاده از نقشه مدل های رقمی ارتفاع ۱۰ در ۱۰ متر، مشخصه های پستی و بلندی نظیر شیب، جهت شیب و ارتفاع نقاط مورد نظر اندازه گیری شد (۱). برای ارزیابی پوشش گیاهی از شاخص پوشش گیاهی استفاده شده است. این شاخص بیان کننده سبزینه ای است که در ارتباط با درصد تابش های جذب شده فتوسنتزی بوده و منعکس کننده فعالیت کلروفیل در گیاهان می باشد (۹). افزایش میزان NDVI در پیکسل های تصاویر ماهواره ای همراه با افزایش پوشش سبز است. این شاخص در منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده های IRS-1D با وضوح ۳۰ در ۳۰ متر، زمان نمونه برداری استخراج گردید (۶). مقادیر NDVI بین ۱- تا ۱ می باشد. به دلیل انعکاس زیاد اشعه مادون قرمز طیف الکترومغناطیس از پوشش گیاهی سالم، مقادیر این شاخص بین ۰/۰۵ تا ۱ می باشد. سطوح مرطوب مقادیر منفی به خود می گیرند. به دلیل افزایش نسبت اشعه مادون قرمز و نور مرئی از طیف الکترومغناطیس، خاک بدون پوشش

گرفته است می توان به توابع انتقالی خاک (PTFs) و توابع پیش بینی فضایی خاک (SSPFs) اشاره کرد. PTFها توابع برآورد کننده ای هستند که با استفاده از داده های زود یافت خاک، مانند توزیع اندازه ذرات، جرم مخصوص ظاهری و ماده آلی خاک، ویژگی های دیر یافت خاک مانند ویژگی های هیدرولیکی و مکانیکی خاک را برآورد می کنند (۷). SSPFها توابع پیش بینی کننده ای هستند که افزون بر ویژگی های زود یافت خاک، از ویژگی های زود یافت غیرخاکی مانند توپوگرافی و پوشش گیاهی برای برآورد ویژگی های دیر یافت خاک استفاده می نمایند (۷). بررسی منابع نشان می دهد پژوهش های زیادی در رابطه با برآورد ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک، با استفاده از روش های توابع انتقالی و توابع پیش بینی فضایی خاک انجام شده است. از جمله پژوهش های انجام شده در این خصوص می توان به پاچیسکی و همکاران (۱۵)، اسخاپ و بوتن (۲۰)، میناسنی و همکاران (۱۲) و تامارای و همکاران (۲۱) اشاره کرد. خلیل مقدم و همکاران (۲) مدل هایی براساس PTFs و SSPFs، برای برآورد مقاومت برشی لایه رویین خاک ارائه کردند. این مدل ها، برآورد خوبی از مقاومت برشی لایه رویین فراهم آوردند.

یکی دیگر از روش های غیرمستقیم اندازه گیری ویژگی های مختلف خاک، زمین آمار<sup>۳</sup> است. در این روش فرض بر آن است که کمیت اندازه گیری شده در هر نقطه از منطقه ی مطالعاتی، تابعی از مختصات جغرافیایی آن نقطه است (۱۸). ژانگ و همکاران (۲۸) زمین آمار را ابزاری مفید و پیشرفته در حل مسایل مربوط به علوم خاک معرفی کردند. تاکنون پژوهش های زیادی در زمینه استفاده از زمین آمار جهت برآورد پارامترهای فیزیکی و شیمیایی صورت گرفته است. از جمله این پژوهش ها می توان به سپاسخواه و عطا (۱۹) و پرز و رودریگز (۱۶) اشاره کرد. با وجود کاربرد فراوان روش یاد شده برای برآورد ویژگی های مختلف خاک، به نظر می رسد تاکنون این روش ها برای برآورد مقاومت برشی لایه رویین خاک به کار گرفته نشده است.

از دیگر سو، می توان ویژگی های زود یافت مورد نیاز در توابع انتقالی را نیز به کمک روش های زمین آماری برآورد و به عنوان ورودی توابع مورد استفاده قرار داد. در واقع این روش، ترکیبی از روش زمین آمار و توابع انتقالی یا پیش بینی کننده فضایی خاک است. پژوهش های متعددی در زمینه استفاده از روش ترکیبی برای برآورد خواص فیزیکی خاک انجام شده است. از جمله یه و ژانگ (۲۶) و ژانگ و یه (۲۷)، هدایت هیدرولیکی اشباع و اندازه منافذ را با استفاده از روش ترکیبی مدل سازی معکوس - زمین آمار و پارامترهای زود یافت درجه اشباع و بار فشار آبی، تخمین زدند و بعدها با

- 1- Pedotransfer functions
- 2- Soil spatial prediction functions
- 3-Geostatistics

گیاهی دارای NDVI نزدیک صفر می‌باشد (۹).

برای اندازه‌گیری مقاومت برشی لایه رویین خاک، از پره برشی (مدل BS1377) در شرایط زهکشی نشده (نریک به اشباع) استفاده شد. این وسیله قادر به اندازه‌گیری تنش‌های برشی بین صفر تا ۱۰۰ کیلوپاسکال می‌باشد. در این روش، ابتدا خاک سطحی به حالت نزدیک اشباع رسانده می‌شود. سپس پره برشی در داخل خاک، تا جایی که پره‌ها کاملاً در خاک قرار گیرد، وارد می‌شود. پره برشی در جهت عقربه‌های ساعت دوران داده می‌شود تا نقطه‌ی برش (گسیختگی) خاک حاصل گردد. حداکثر مقدار تنش وارده روی صفحه مدرج در بالای پره برشی ثبت می‌گردد. این فرآیند حدود ۵ تا ۱۰

ثانیه به طول می‌انجامد.

در این پژوهش از توابع انتقالی و پیش‌بینی فضایی خاک، پی‌ریزی شده توسط خلیل‌مقدم و همکاران (۲)، برای برآورد مقاومت برشی لایه‌ی رویین خاک استفاده گردید. این پژوهشگران بر اساس ۱۲۰ داده از مقاومت برشی لایه رویین خاک در منطقه مطالعاتی پژوهش حاضر، توابعی برای برآورد مقاومت برشی لایه رویین خاک ایجاد نموده‌اند. داده‌های زودیافت مورد استفاده در این توابع در جدول ۱ ارائه شده است (۲). جدول ۲ ضرایب حاصل از توابع پی‌ریزی شده را که با استفاده از رگرسیون خطی چندگانه بنا نهاده شده‌اند، نشان می‌دهد.

جدول ۱- ویژگی‌های زود یافت مورد استفاده برای ایجاد توابع انتقالی و توابع پیش‌بینی فضایی خاک (۲)

متغیرهای برآوردکننده	مدل	متغیر برآوردشده
ویژگی‌های لایه رویین خاک از قبیل توزیع اندازه ذرات، مقدار کربن آلی و مقدار کربنات کلسیم خاک	۱	
توزیع اندازه ذرات خاک به همراه مشخصه‌های پستی و بلندی و پوشش گیاهی شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع و NDVI	۲	مقاومت برشی
۱+۲	۳	

جدول ۲- مدل‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی مقاومت برشی لایه رویین خاک (۲)

متغیرها	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳
عرض از مبدا	۰/۱۷	-۰/۶۲۱	-۵/۱۴
درصد شن	۰/۲۹		
درصد رس		۰/۱۳	-۰/۱۷
درصد کربن آلی	-۰/۳۶		
درصد کربنات کلسیم	۰/۱۹		-۰/۳۲
درصد شیب		-۰/۹۳	۱/۰۴
NDVI		۶۱/۹۵	۵۲/۸۱
MAE	۰/۱۵	۰/۱۴	-۰/۱۲
r	۰/۱۸	۰/۴۷	۰/۵۲

به‌منظور بررسی تغییرات مکانی ویژگی‌های زودیافت و دیریافت یاد شده، از نرم‌افزار GS<sup>+</sup> (نسخه ۵) استفاده شد. برخی تحلیل‌های زمین‌آماری از جمله استفاده از روش کریجینگ معمولی، بر مبنای نرمال بودن توزیع داده‌ها استوار بوده و تحلیل‌های زمین‌آماری که در آنها از داده‌های با توزیع نرمال استفاده شود، کارایی بیشتری دارند (۲۳). بنابراین در این پژوهش چگونگی توزیع پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک و کربن آلی، با استفاده از آزمون نرمال بودن به روش کولموگروف - اسمیرنوف مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های با توزیع نرمال برای تجزیه و تحلیل‌های بعدی به کار گرفته شد. نیم‌تغییرنمای تجربی برای پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک و کربن آلی محاسبه شد و ساختار مکانی آنها در کل پهنه مطالعاتی بررسی شد. در فرآیند تجزیه ساختاری، مدل‌های استاندارد به تغییرنمای تجربی به‌دست آمده برآزش داده شد و

به‌ترین مدل برای هر پارامتر انتخاب گردید. با استفاده از پارامترهای مدل‌های به‌دست آمده و نرم‌افزار زمین‌آماری GS<sup>+</sup>، نقشه میان‌یابی شده ویژگی‌های گفته شده به روش کریجینگ معمولی تهیه گردید. به‌منظور ترکیب روش‌های زمین‌آماری و PTFs و SSPFs، ویژگی‌های زودیافت برآورد شده به روش زمین‌آمار به‌عنوان ورودی PTFs و SSPFs به کار گرفته شدند. سپس با استفاده از آنها، مقاومت برشی لایه رویین خاک در هر نقطه برآورد گردید. با استفاده از مقادیر به‌دست آمده از سه روش فوق (توابع، کریجینگ و روش ترکیبی) کارایی این روش‌ها در برآورد مقاومت برشی لایه رویین خاک مورد ارزیابی قرار گرفت. به همین منظور از آماره‌های میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین هندسی خطا (GMER)، انحراف معیار هندسی خطا (GSDER) و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده، استفاده شد.

### بررسی ساختار مکانی پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم

به منظور بررسی ساختار مکانی پارامترهای مورد نظر، تحلیل‌های زمین‌آماري با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده انجام گردید. نتایج نشان داد توزیع پارامترهای کربن آلی نرمال و توزیع پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک و کربنات کلسیم، نرمال نبوده است. شکل ۱ تبدیلات داده‌های پارامترهای ذکر شده، به منظور نرمال کردن آنها را نشان می‌دهد.

تغییرپذیری مکانی خواص خاک تحت تأثیر فاکتورهای پدوژنیک (مانند مواد مادری) و فعالیت‌های انسانی (مانند تخریب اراضی، تغییر کاربری و کشاورزی) می‌باشد. به طور کلی در زمین‌آمار از نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (Nug/Sill) برای طبقه‌بندی پیوستگی مکانی خواص خاک استفاده می‌شود. نسبت ۰/۲۵ و ۰/۷۵ دو حد بحرانی در پیوستگی مکانی محسوب می‌شوند. نسبت‌های با مقادیر کمتر از ۰/۲۵ دارای ساختار مکانی قوی، مقادیر بین ۰/۲۵ و ۰/۷۵ دارای ساختار مکانی متوسط و مقادیر بالاتر از ۰/۷۵ دارای ساختار مکانی ضعیف می‌باشند (۳).

### بررسی زمین‌آماري مقاومت برشی لایه رویین خاک

واريوگرام سطحی مقاومت برشی خاک در منطقه مورد مطالعه نشان داد که بهترین همبستگی مکانی در خلاف جهت شیب غالب NW-SE می‌باشد و شیب غالب به وسیله خطی با زاویه ۵۰ درجه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت از شمال نشان داده شده است و برعکس، همبستگی کمتری در جهات W-E و NE-SW مشاهده می‌شود. اگرچه این وابستگی تغییرات مکانی به جهت، در شعاع فاصله‌ای زیاد وجود داشته و بدین دلیل تأثیری بر مقادیر برآورد شده این پارامتر در شعاع جستجوی مورد نظر نداشته است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |(y_i - \hat{y}_i)| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (1)$$

$$GMER = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln \frac{\hat{y}_i}{y_i}\right) \quad (2)$$

$$GSDER = \exp\left[\left(\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\ln \frac{\hat{y}_i}{y_i} - \ln GMER\right)^2\right)^{0.5}\right] \quad (3)$$

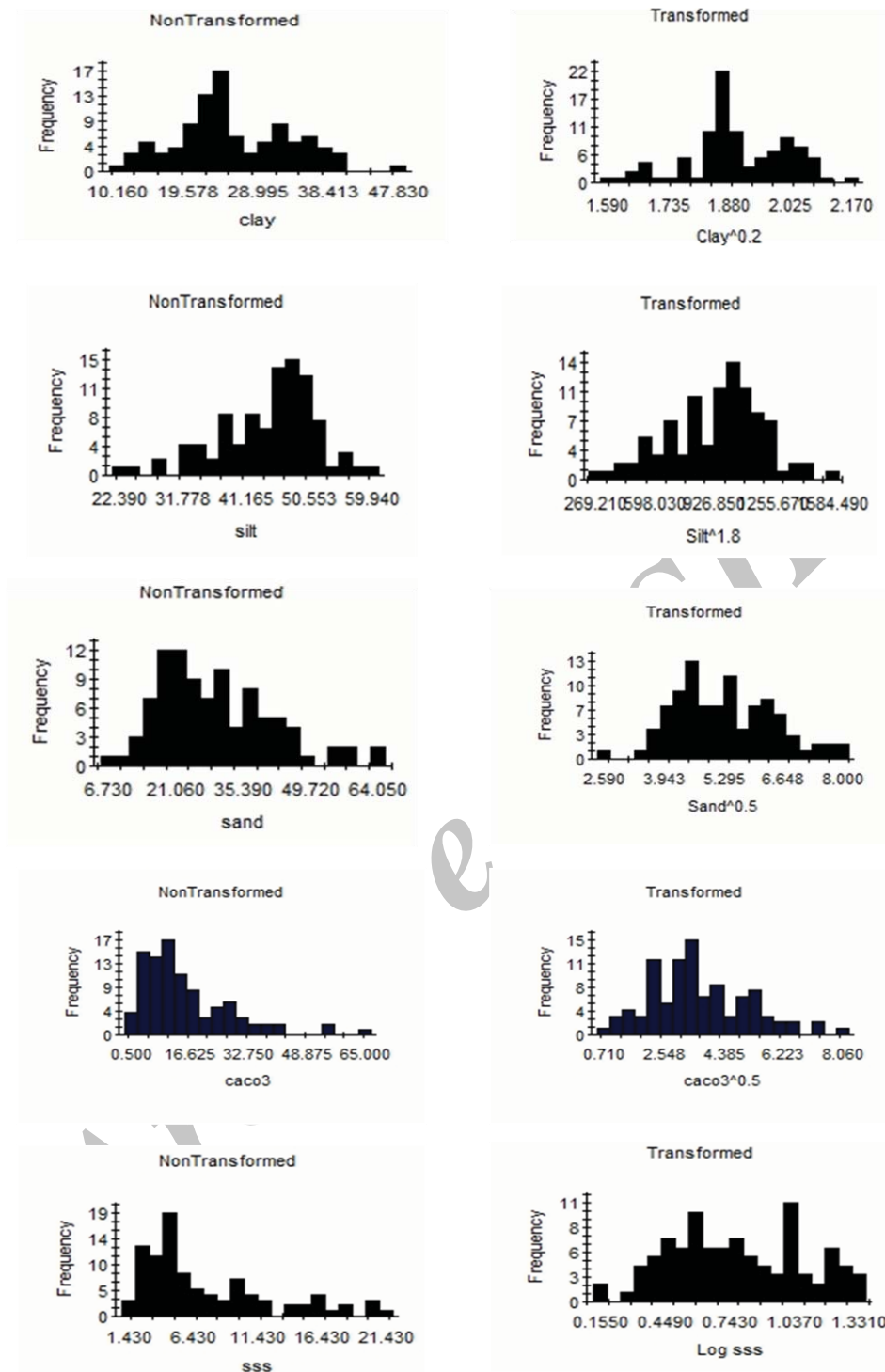
که در این روابط  $y_i$  مقادیر اندازه‌گیری شده،  $\hat{y}_i$  مقادیر پیش‌بینی شده و  $n$  تعداد کل مشاهدات می‌باشد.

### نتایج و بحث

داده‌های اندازه‌گیری شده برای پی‌ریزی توابع SSPFs و PTFs و بررسی تغییرات مکانی پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم، در جدول ۳ ارائه شده است. بر اساس توزیع اندازه ذرات، بافت غالب لایه رویین خاک در منطقه مطالعاتی لوم رسی، لوم سیلتی و لومی بود. مقدار کربن آلی لایه رویین خاک بین ۰/۰۸ تا ۲/۰۲ درصد متغیر است. NDVI به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای به ترتیب دارای حداقل، حداکثر، میانگین و میانه صفر، ۰/۳۶، ۰/۲۶ و ۰/۲۷ بود. کربنات کلسیم لایه رویین خاک بین ۰/۵ تا ۶۲ متغیر بوده است که محدوده زیاد کربنات کلسیم خاک، به دلیل وجود مواد مادری مارن غنی شده از گچ و آهک و وجود افق کلسیک در منطقه می‌باشد. شیب منطقه بین صفر تا ۷۳ درصد با میانگین ۱۹/۵۶ درصد می‌باشد که نشان دهنده پستی و بلندی زیاد منطقه می‌باشد.

جدول ۳- داده‌های مورد استفاده در زمین‌آمار، توابع انتقالی و پیش‌بینی فضایی خاک

متغیر	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
مقاومت برشی خاک (کیلوپاسکال)	۶/۹۵	۵/۵۲	۱/۲۲	۲۵/۶۳
درصد شن لایه رویین خاک	۲۹/۷۲	۱۱/۵۶	۶/۷۳	۶۴/۰۵
درصد سیلت لایه رویین خاک	۴۴/۸۶	۸/۳۹	۱۶/۴	۶۰/۸
درصد کربن آلی لایه رویین خاک	۰/۸۷	۰/۳۸	۰/۰۸	۲/۰۲
درصد کربنات کلسیم لایه رویین خاک	۱۶/۳۷	۱۱/۹۲	۰/۵	۶۲
ارتفاع (متر)	۲۴۱۱	۱۳۴/۲۳	۲۰۹۰	۲۹۴۰
درصد شیب	۱۹/۵۶	۱۹/۲۵	۰	۷۳
جهت شیب (درجه)	۱۶۱	۱۰۶/۹۹	۰	۳۵۴/۵۶
NDVI	۰/۲۶	۰/۰۴	۰	۰/۳۶



شکل ۱- توزیع پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم در حالت نرمال (سمت راست) و غیرنرمال (سمت چپ)

است که این پارامتر از ساختار مکانی متوسطی برخوردار است و در شعاع تأثیر ۲۰۰۰ متر، ساختار مکانی خود را از دست می‌دهد. مجموع مربعات خطا و ضریب رگرسیونی این مدل به ترتیب ۰/۰۰۰۰۲۶ و

تغییرنمای همسان‌گرد مقاومت برشی خاک (شکل ۲) از مدلی نمایی با ساختار مکانی ۴۴ درصد  $(C0/(C0+C)=0.66)$  پیروی نموده و اثر قطعه‌ای آن معادل ۰/۰۵۶۱۱ بود که نشان‌دهنده‌ی آن



۰/۹۹ می‌باشد. به نظر می‌رسد به دلیل تغییرپذیری بالا و فاصله بین نقاط اندازه‌گیری شده، این پارامتر ساختار مکانی قوی در منطقه از خود نشان نداده است. اگرچه مطالعه زمین‌آماری مقاومت برشی لایه روئین خاک تاکنون گزارش نشده است، ولی محققین نشان داده‌اند که این پارامتر دارای تغییرپذیری بالایی است. مرز و بریان (۱۱) مقاومت برشی را در خاک‌هایی با یک گروه بافتی و روش نمونه برداری یکسان، اندازه‌گیری کردند. مقادیر مقاومت برشی بین ۱/۸ و ۱۳/۵ کیلوپاسکال متغیر بود. همین‌طور راوز و گاورز (۱۷) نشان دادند که مقاومت برشی خاکی با بافت سیلت لوم بین ۲ تا ۹ کیلوپاسکال متغیر می‌باشد.

### بررسی زمین‌آماری کربن آلی و کربنات کلسیم

به‌طور مشابه تغییرنمای تجربی کربن آلی و کربنات کلسیم نیز محاسبه گردید. بر این اساس، تغییرنمای این پارامتر در چهار راستای اصلی صفر، ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه تعیین گردید. ناهمسان‌گردی در ساختار مکانی این پارامترها وجود دارد. ناهمسان‌گردی کربنات کلسیم در جهت شیب غالب و کربن آلی در خلاف جهت شیب غالب می‌باشد. با توجه به اینکه تخریب اراضی در جهت شیب غالب بوده است، به نظر می‌رسد تخریب اراضی باعث شده است که ناهمسان-گردی پارامتر کربن آلی، ۱۸۰ درجه چرخش نماید. پس از محاسبه تغییرنمای تجربی این دو پارامتر، به نقاط آنها مدلی برازش داده شد تا تغییرنمای تئوری حاصل گردد. مدل بهینه برای این دو پارامتر، مدل نمایی بوده است. پارامترهای مدل نمایی انتخاب شده برای کربن آلی و کربنات کلسیم در جدول ۴ ارائه شده است.

مجموع مربعات خطا و ضریب رگرسیونی این مدل به ترتیب برابر ۰/۰۰۱۲۱، ۰/۰۴۱، ۰/۰۹۲ و ۰/۸۹ بوده است. شعاع تأثیر تغییرنما مدل انتخاب شده برای این دو پارامتر به ترتیب ۳۰۰ و ۴۶۰ متر برآورد شده است. نسبت اثر قطعه‌ای به سقف (Nug/Sill) نشان می‌دهد که تغییرات ساختار مکانی این دو پارامتر در مقایسه با دیگر پارامترها ساختار قوی‌تری دارند. از کل تغییرات مربوط به پارامتر کربن آلی و کربنات کلسیم به ترتیب ۶۸ و ۹۵ درصد آن دارای ساختار مکانی بوده و باقی‌مانده‌های آن شامل تغییرات تصادفی بوده است. ضریب رگرسیونی به‌دست آمده برای این دو پارامتر نشان می‌دهد مدل ارائه شده برای این دو پارامتر به ترتیب، ۹۲ و ۸۹ درصد از تغییرات تغییرنمای تجربی این پارامتر را توجیه نموده است.

تغییرنمای سطحی درصد رس، شن و سیلت نشان می‌دهد که ناهمسان‌گردی در پیوستگی مکانی این پارامترها مشاهده می‌گردد و توزیع اندازه ذرات خاک در جهت شیب و عمود بر جهت شیب ساختار مکانی متفاوتی داشته است. برای بررسی ساختار مکانی، از تغییرنمای همه‌جانبه که بیانگر متوسط تغییرات مکانی توزیع اندازه ذرات خاک در تمام راستاها است، استفاده گردید. شکل ۲ تغییرنمای همه‌جانبه توزیع اندازه ذرات خاک را نشان می‌دهد. همبستگی مکانی درصد رس، سیلت و شن به ترتیب پس از رسیدن به شعاع‌های ۳۲۰۰، ۳۵۰۰ و ۲۶۰۰ متر، حالت تصادفی پیدا می‌نماید.

### بررسی زمین‌آماری توزیع اندازه ذرات خاک

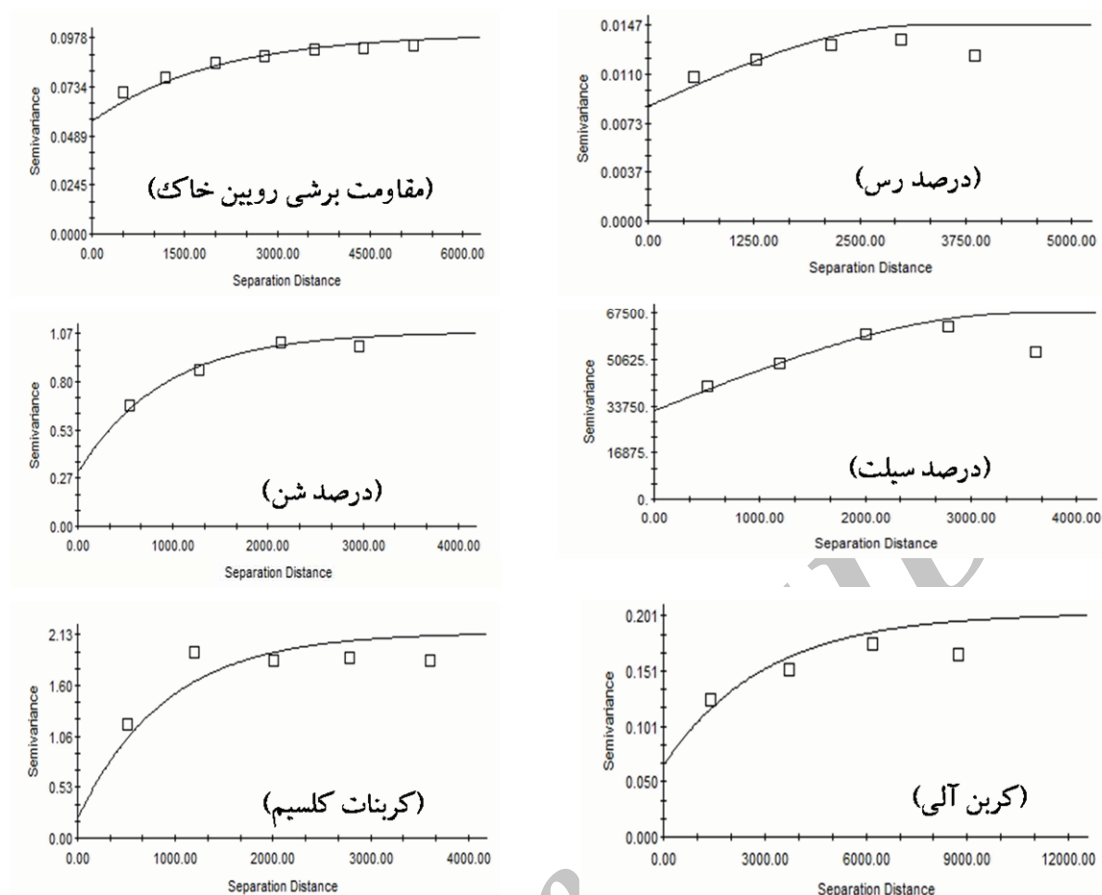
پس از محاسبه تغییرنمای تجربی، تغییرنمای تئوری توزیع اندازه ذرات خاک با برازش مدل‌های مختلف به داده‌ها تعیین گردید. جدول ۴ نشان می‌دهد که بهترین مدل برای برازش این پارامترها، کروی می‌باشد. همچنین مجموع مربعات خطا و ضریب رگرسیونی این مدل برای این سه پارامتر به ترتیب ۰/۰۰۰۰۰۰۰۲۱، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۷۶، ۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۵ و ۰/۷۷، ۰/۷ و ۰/۹۰۹ بوده است.

جدول ۴ نشان می‌دهد از کل تغییرات مربوط به درصد رس، ۴۵ درصد آن دارای ساختار مکانی بوده و ۵۵ درصد از این تغییرات تصادفی بوده است و با توجه به نسبت اثر قطعه‌ای به سقف

جدول ۴- پارامترهای تغییرنمای تئوری مورد استفاده برای میان‌یابی ویژگی‌ها

ویژگی	مدل	شعاع تأثیر (m)	اثر قطعه‌ای ( $C_0$ )	سقف ( $C_0+C$ )	$\frac{C_0}{C_0+C}$	$R^2$	RSS	کلاس ساختاری
مقاومت برشی	نمایی	۲۰۰۰	۰/۰۵۶۱۱	۰/۱	۰/۵۶	۰/۹۹	۰/۰۰۰۰۴۳۲	M
رس	کروی	۳۲۰۰	۰/۰۰۸۰۶	۰/۰۱۴۶۸	۰/۵۵	۰/۷۷	۰/۰۰۰۰۰۰۷۶	M
شن	کروی	۲۶۰۰	۰/۴۵	۱/۱۰۳	۰/۴۲	۰/۹۰۹	۰/۰۰۵	M
سیلت	کروی	۳۵۰۰	۳۲۰۰۰	۶۷۵۰۰	۰/۴۸	۰/۷۰	۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۲۱۳	M
کربن آلی	نمایی	۳۰۰۰	۰/۰۶۵	۰/۲۰۴۰۰	۰/۳۲	۰/۹۲	۰/۰۰۱۲۱	M
کربنات کلسیم	نمایی	۴۶۰	۰/۰۰۱	۱/۹۱	۰/۰۵	۰/۸۹	۰/۰۴۱	S

S: پیوستگی ساختار مکانی؛ قوی، M: متوسط، W: ضعیف



شکل ۲- تغییرنمای همسان‌گرد پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربنات کلسیم و کربن آلی

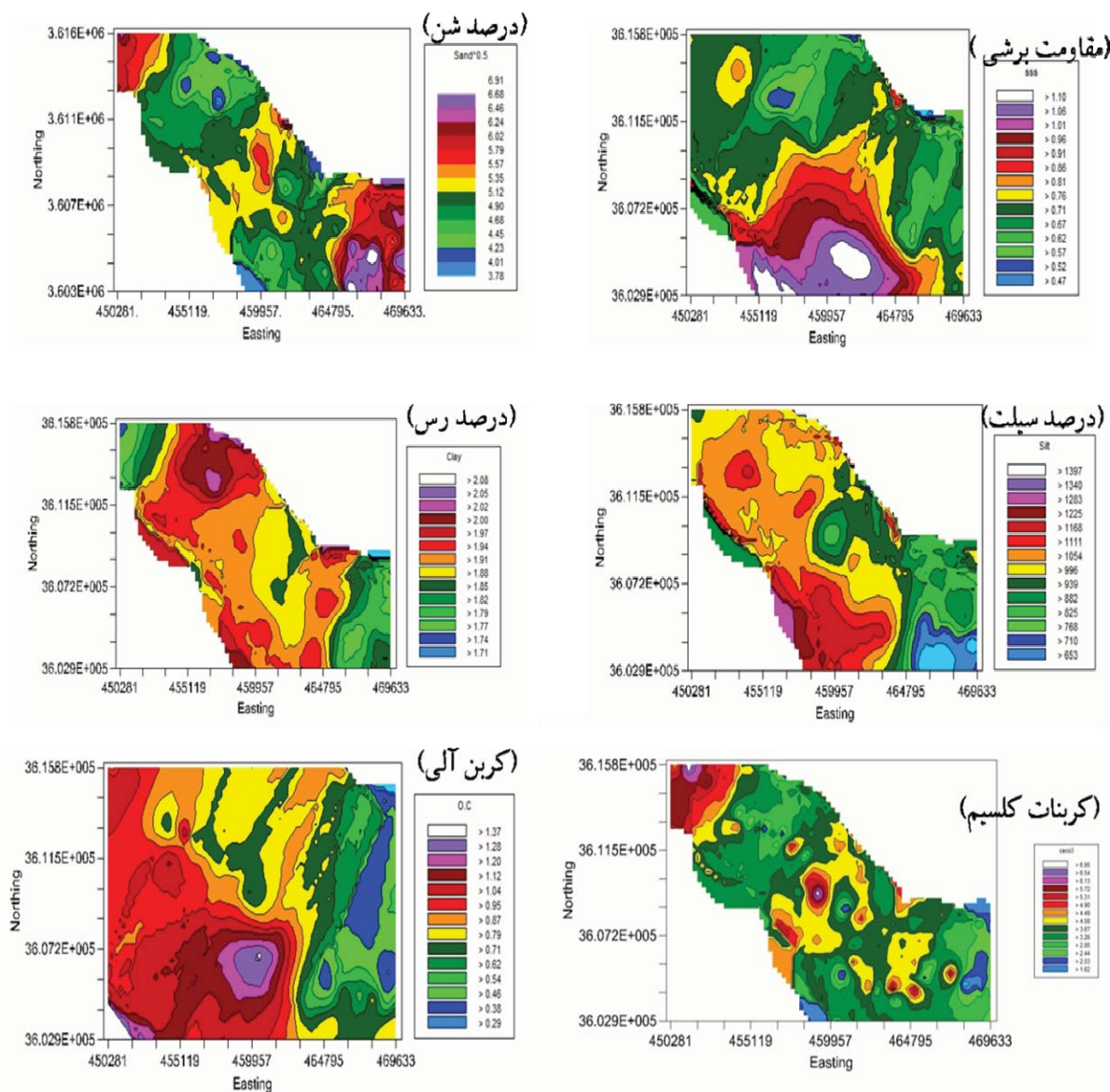
بر تغییرنماهای تجربی مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی، کربنات کلسیم و جرم مخصوص ظاهری، به‌منظور برآورد این پارامترها به روش کریجینگ معمولی استفاده شد. بنابراین با استفاده از پارامترهای موجود در جدول ۳ و نرم‌افزار زمین‌آماري  $GS^+$ ، نقشه میان‌یابی شده پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم تهیه گردید.

به‌منظور تهیه نقشه هر کدام از پارامترها، شعاع جستجو برابر با شعاع تأثیر حداکثر شعاعی که تغییرات کمیت مورد نظر همسان‌گرد بوده است، در نظر گرفته شد. برای تعیین تعداد نقطه بهینه برای شرکت در میان‌یابی پارامتر مربوطه، از روش سعی و خطا استفاده شد. در این روش، ابتدا تعداد نقاط همسایگی مورد نظر انتخاب گردید. سپس با استفاده از روش اعتباریابی متقاطع، به ازای تعداد نقاط همسایگی مختلف، عملکرد روش زمین‌آماري انتخاب شده مورد ارزیابی قرار گرفت. تعداد نقاطی از همسایگی که دارای کمترین خطا در برآورد پارامتر مربوطه بود، به‌عنوان نقاط همسایگی بهینه برگزیده شد.

مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش‌های مشابه نشان می‌دهد که ساختار مکانی مشاهده شده برای کربن آلی در منطقه مطالعاتی، با مناطق دیگر هم‌خوانی دارد. کامباردلا و همکاران (۳) با بررسی ساختار مکانی کربن آلی در مزارع شخم خورده و شخم نخورده، به این نتیجه رسیدند که کربن آلی دارای ساختار مکانی قوی بوده و تخریب اراضی باعث کاهش پیوستگی مکانی این پارامتر گردیده است.

### برآورد پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم به روش کریجینگ معمولی

به‌طور کلی، برآورد زمین‌آماري فرآیندی است که طی آن مقدار یک کمیت در نقاطی با مختصات معلوم با استفاده از مقدار همان کمیت در نقاطی دیگر با مختصات معلوم به‌دست می‌آید. برای استفاده از روش‌های زمین‌آماري در برآورد کمیت مورد نظر، ساختار مکانی کمیت مورد نیاز است. در این پژوهش از مدل‌های برآزش داده شده



شکل ۳- نقشه میان‌یابی پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک و کربن آلی با استفاده از کریجینگ معمولی

به دلیل شیب و ارتفاع زیاد و تنوع جهت شیب منطقه می‌باشد. نقشه میان‌یابی کربن آلی (شکل ۳) نشان می‌دهد که میزان کربن آلی در جهت شیب غالب، از جنوب غربی به طرف شمال شرقی افزایش می‌یابد. این امر نشان‌دهنده آن است که با کاهش شیب و ارتفاع منطقه، کربن آلی کاهش می‌یابد. کاهش کربن آلی به دلیل کاهش پوشش گیاهی مرتعی و تبدیل مراتع به زمین‌های کشاورزی دیم صورت می‌گیرد.

نتایج ارزیابی عملکرد روش کریجینگ معمولی برای تخمین نقشه مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم، در جدول ۵ آمده است. برای انجام این ارزیابی از آماره‌های میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین هندسی خطا (GMER)، انحراف

پس از تعیین تعداد بهینه نقاط همسایگی، نقشه میان‌یابی شده پارامترهای مورد نظر تهیه شد. نقشه‌های میان‌یابی شده برای پارامترهای مقاومت برشی، توزیع اندازه ذرات خاک، کربن آلی و کربنات کلسیم در شکل ۳ نشان داده شده است.

نقشه میان‌یابی مقاومت برشی خاک (شکل ۳) نشان می‌دهد که خطوط تراز به هم نزدیک است و تغییرپذیری بالا است. این ناهمگنی به دلیل تنوع توپوگرافی، پوشش گیاهی، خاک و تخریب اراضی منطقه می‌باشد.

شکل ۳ نشان می‌دهد که درصد ذرات درشت‌تر، از تنوع بیشتری نسبت به ذرات ریزتر برخوردار است و از اندازه شن به طرف رس، پراکندگی کمتر می‌شود و خطوط تراز از همدیگر فاصله می‌گیرند که



است که استفاده از متغیرهای کمکی باعث بهبود کارایی روش شده است. همچنین مقدار شاخص‌های GMER، GSDER از مدل ۱ به مدل ۳، به یک نزدیک شده است. این جدول نشان می‌دهد مدل ۳ در روش ترکیبی زمین آماری- توابع انتقالی دارای دقت بیشتری بوده است. مقایسه‌ی مقادیر میانگین واقعی و تخمینی مقاومت برشی لایه روئین نیز تأیید کننده این واقعیت است. مقایسه روش ترکیبی زمین- آماری- توابع انتقالی با توابع انتقالی نشان می‌دهد که روش ترکیبی باعث بهبود کارایی مدل‌ها گردیده است. بنابراین می‌توان از نقشه کریجینگ برای به‌دست آوردن داده‌های زودیافت مورد استفاده در توابع انتقالی استفاده نمود. افزون بر بالا بودن دقت برآورد به هنگام استفاده از روش ترکیبی، با این روش می‌توان مقادیر ویژگی‌های زودیافت خاک در نقاط اندازه‌گیری نشده را که به‌عنوان ورودی توابع انتقالی مورد نیاز می‌باشند، تأمین نمود.

### نتیجه‌گیری

مدل‌های فرسایش خاک، برای شبیه‌سازی فرسایش و رواناب نیازمند پارامترهای ورودی زیادی از جمله مقاومت برشی لایه روئین خاک می‌باشند. مقاومت برشی را می‌توان با استفاده از پارامترهای زودیافتی مانند توزیع اندازه ذرات، مقدار کربن آلی، مقدار کربنات کلسیم خاک و مشخصه‌های پستی و بلندی و پوشش گیاهی (توابع انتقالی) تخمین زد. به‌دلیل تغییرات مکانی این پارامترها، نیاز به جمع‌آوری تعداد زیادی نمونه خاک دست‌نخورده می‌باشد و اندازه‌گیری آنها به روش مستقیم در مقیاس‌های بزرگ، به مشکلی اساسی تبدیل شده است.

معیار هندسی خطا (GSDER) و ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده استفاده شد.

میانگین هندسی نسبت خطا (GMER)، نشان دهنده میانگین پارامتر برآورد شده می‌باشد. اگر GMER پارامتر تخمینی بیشتر از ۱ باشد، نشان دهنده این است که این پارامتر بیشتر از میزان واقعی برآورد شده است و اگر کمتر از ۱ باشد، نشان دهنده این است که این پارامتر کمتر از میزان واقعی برآورد شده است. انحراف معیار هندسی نسبت خطا (GSDER)، نشان دهنده انحراف از میانگین است. در صورتی که GSDER برابر با ۱ شود، برآورد کاملاً دقیق است. با توجه به این تعاریف، نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که با افزایش خطا (MAE و RMSE)، اختلاف GMER و GSDER با یک و اختلاف میانگین واقعی و تخمینی زیاد می‌شود. با استفاده از میان‌یابی کریجینگ، میزان مقاومت برشی و درصد شن کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است؛ در صورتی که بقیه پارامترها بیشتر از مقدار واقعی برآورد شده‌اند. مقایسه‌ی مقادیر میانگین واقعی و تخمینی نشان می‌دهد روش مورد استفاده با دقتی زیاد قادر به برآورد میانگین این پارامترها در منطقه بوده است.

### مقایسه روش ترکیبی زمین آماری- توابع انتقالی با توابع انتقالی- پیش‌بینی فضایی خاک در برآورد مقاومت برشی خاک

نتایج ارزیابی عملکرد روش ترکیبی زمین آماری- توابع انتقالی برای تخمین مقاومت برشی خاک، در جدول ۶ ارائه شده است. مقدار MAE و RMSE نشان می‌دهد خطای برآورد مقاومت برشی لایه سطحی، از مدل ۱ به مدل ۳ کاهش یافته است. این نکته بیانگر آن

جدول ۵- شاخص‌های ارزیابی عملکرد کریجینگ معمولی در برآورد ویژگی‌ها

ویژگی	MAE	RMSE	GMER	GSDER	میانگین واقعی	میانگین تخمینی
مقاومت برشی (کیلو پاسکال)	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۶۱	۰/۹۹۹۱	۱/۰۰۸۱	۰/۷۷۷۳	۰/۷۷۷
شن (درصد)	۰/۰۰۳۳	۰/۰۳۲۷	۰/۹۹۹۴	۱/۰۰۵	۵/۳۱۵۴	۵/۳۱۶
سیلت (درصد)	۰/۴۳۸۴	۴/۲۷۳۷	۱/۰۰۰۶	۱/۰۰۶۶	۹۴۴/۶۲۱۵	۹۴۳/۴۱۰۸
کربن آلی (درصد)	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۴۴	۱/۰۰۲۸	۱/۰۲۷۶	۰/۸۱۰۲	۰/۸۰۵۲
کربنات کلسیم (درصد)	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۴۴	۱/۰۰۵۹	۱/۰۰۵۹	۳/۶۵	۳/۶۳

جدول ۶- شاخص‌های ارزیابی عملکرد روش ترکیبی زمین آماری- توابع انتقالی در برآورد مقاومت برشی لایه روئین خاک (SSS)

ویژگی	MAE	RMSE	GMER	GSDER	میانگین واقعی	میانگین تخمینی
مدل ۱	۰/۰۱۰۷۹	۰/۱۰۵۱	۰/۹۹۹	۱/۰۰۷	۱۰/۱۳۴	۱۱/۵
مدل ۲ SSS	۰/۰۰۲۸۱	۰/۰۲۷	۱/۰۰۲۷	۱/۰۰۲۶	۷/۸۴۶	۷/۱۸۷
مدل ۳	۰/۰۰۵۹۸	۰/۰۵۸	۱/۰۱۲۹	۱/۰۱۲۵	۸/۳۶	۴/۰۴۲

## سیاسگزاری

بخشی از هزینه‌های این تحقیق از پژوهانه دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان تأمین شده است که بدین وسیله قدردانی می‌گردد.

بنابراین با استفاده از نقشه کریجینگ می‌توان این پارامترها را برآورد کرده و در تخمین مقاومت برشی لایه رویین خاک استفاده نمود. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش ترکیبی زمین‌آماری-توابع انتقالی باعث بهبود تخمین مقاومت برشی لایه رویین خاک گردیده است.

## منابع

- ۱- سازمان نقشه برداری کشور. ۲۰۰۶. نقشه زمین شناسی کشور. شهرکرد، ایران.
- ۲- خلیل مقدم ب.، افیونی م.، جلالیان ا.، عباسپور ک. و دهقانی ا.ا. ۱۳۹۰. تخمین مقاومت برشی خاک با استفاده از توابع انتقالی و توابع پیش بینی فضایی خاک. مجله آب و خاک، ۲۵(۱): ۱۹۵-۱۸۷.
- 3- Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B., Turco R.F., and Konopka A.E. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal*, 58: 1501-1511.
- 4- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. In: *Methods of Soil Analysis: Part 1* (ed. A. Klute), pp. 383-411. *Agronomy Handbook No 9*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 5- Gunn R.H., and Aldrick J.M. 1988. *Australian Soil and Land Survey Handbook: Guidelines for Conducting Surveys*. Inkata Press, Melbourne.
- 6- Indian Space Applications Centre (ISRO). Ahmedabad-380 015, 2007. Data Products Software Division, Signal and Image Processing Group, SAC/ISRO, Ahmadabad- 380 015, Government of India.
- 7- Lagacherie P., and Mcbratney A.B. 2006. Chapter 1 spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives fordigital soil mapping, *Developments in Soil Science*, 31: 3-22.
- 8- Li B., and Yeh T.C.J. 1999. Cokriging estimation of the conductivity field under variably saturated flow conditions. *Water Resource Research*, 35: 3663- 3674.
- 9- Lillesand T.M., and Keifer W. 1994. *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, New York.
- 10- Liu S.Y., and Yeh T.C.J. 2004. An integrative approach for monitoring water movement in the vadose zone. *Vadose Zone Journal*, 3: 681- 692.
- 11- Merz W., and Bryan R. 1993. Critical conditions for rill initiation on sandy loam brunisols: laboratory and field experiments in southern Ontario, Canada. *Geoderma*, 57: 357-385.
- 12- Minasny B., McBratney A.B., and Bristow K.L. 1999. Comparison of different approaches to the development of pedotransfer functions for water retention curves. *Geoderma*, 93: 225-253.
- 13- Nelson D.W., and Sommers L.P. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: *Methods of Soil Analysis: Part 2* (ed.A.L. Page), pp.539-579. *Agronomy Handbook No 9*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 14- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: *Methods of Soil Analysis: Part I* (ed.A.L.Page), pp. 181-197. *Agronomy Handbook No 9*, American Society of Agronomy and Soil Science Society of America, Madison, WI.
- 15- Pachepsky Ya., Timlin D.J., and Varallyay G. 1996. Artificial neural networks to estimate soil water retention from easily measurable data. *Soil Science Society American of Journal*, 60: 727-773.
- 16- Pérez-Rodríguez R., Marques M.J., and Bienes R. 2007. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Science of the Total Environment*, 378: 166-17.
- 17- Rauws G., and Govers G. 1988. Hydraulic and soil mechanical aspects of till generation on agricultural soils. *Journal of Soil Science*, 39: 111-124.
- 18- Rekman J., Turski R., and paluszek J. 1998. Spatial and Temporal Variations in erodibility of loess. *Soil and Tillage Research*, 6: 61-68.
- 19- Sepaskhah A.R., and Ataee J. 2004. A Simple Model to determine Saturated Hydraulic Conductivity for Large-scale Subsurface Drainage. *Biosystem Engineering*, 89: 505-513.
- 20- Schaap M.G., and Bouten W. 1996. Modeling water retention curves of sandy soils using neural networks. *Water Resources Research*, 32: 3033-3040.
- 21- Tamari S., Wosten J.H.M., and Ruiz-Suarez J.C. 1996. Testing an artificial neural-network for predicting soil hydraulic conductivity. *Soil Science Society American of Journal*. 60: 1732-1741.
- 22- Wang W., Neuman S.P., Yao T., and Wierenga P.J. 2003. Simulation of large-scale field infiltration experiments using a hierarchy of models based on public, generic, and site data, *Vadose Zone Journal*, 2: 297- 312.

- 23- Webster R., and Oliver M.A. 2001. Geostatistics for environmental scientists. John Wiley & Sons, Chichester, England. 271 pp.
- 24- Yeh T.C.J., and Liu S. 2000. Hydraulic tomography: Development of a new aquifer test method. Water Resource Research, 36: 2095–2105.
- 25- Ye M., Khaleel R., Schaap M.G., and Zhu J. 2007. Simulation of field injection experiments in heterogeneous unsaturated media using cokriging and artificial neural network. Water Resource Research, 43: W07413, doi:10.1029/2006WR005030.
- 26- Yeh T.C.J., and Zhang J. 1996. A geostatistical inverse method for variably saturated flow in the vadose zone. Water Resource Research, 32: 2757–2766.
- 27- Zhang J., and Yeh T.C.J. 1997. An iterative geostatistical inverse method for steady flow in the vadose zone. Water Resource Research, 33: 63–71.
- 28- Zhang R., Shouse P.J., Yates S.R., and Kravchenko A. 1997. Application of geostatistics in soil science. Trends in soil science, 2: 95-104.
- 29- Zhang Z.F., Ward A.L., and Gee G.W. 2004. A combined parameter scaling and inverse technique to upscale the unsaturated hydraulic parameters for heterogeneous soils. Water Resource Research. 40: W08306, doi:10.1029/2003WR002925.

Archive of SID

## Comparison of Geostatistics, PTFs, SSPFs Methods and their Combination for Estimating Soil Surface Shear Strength

B. Khalil Moghadam<sup>1\*</sup> - Sh. Ghorbani Dashtaki<sup>2</sup>

Received: 27-2-2011

Accepted: 22-10-2011

### Abstract

Surface soil shear strength (SSS) is among the most important and needed parameters that is required in soil erosion simulation and prediction. Lack of the SSS is often a problem in erosion simulation at watersheds. Because of SSS high variability and too sampling, SSS are too difficult, too time consuming, and/or too expensive to measure directly. Therefore it is necessary to measure indirectly. This study was conducted to predict this parameter using kriging, PTFs, SSPFs methods and their combination. In this reason, the study was conducted in central Zagros region on water erosion susceptibility with an area of 23562 ha (rangeland and degraded-rangeland landuse). Based on the maps of geology, topography, landuse and soil capability, 14 Land Unit Tracts (LUT) was created. A total of 90 samples were collected in triplicates in order to determine sample variability of each LUT. Soil samples were collected from the 0-10 cm of soil depths. Routinely measured (available) parameters for surface shear strength PTFs and SSPFs included soil surface and subsurface attributes in addition to topographic and vegetation attributes: particle size distribution, soil organic carbon, gravel, slope, aspect, elevation and normalized difference vegetation index (NDVI) were used. Three MLR PTFs (pedo-transfer functions) and SSPFs (soil spatial prediction functions) were tested and investigated in this study. Spatial variability of parameters was investigated using semivariograms and the ratio of nugget to total semivariance. Krigin method was used to create map of the needed data. Interpolated easily-obtained parameters by kriging maps are subsequently input into PTFs and SSPFs to predict surface soil shear strength. The performances of the models were evaluated using mean absolute error (MAE) between the observed and the estimated values, root mean square error (RMSE), Geometric standard deviation of the error ratio (GSDER), and Geometric mean of error ratio (GMER). Results showed that the performance of PTFs and SSPFs as compared to combining kriging-PTFs and SSPFs was similar. All of the parameters were moderately spatially dependent.

**Keywords:** Geostatistics, Pedotransfer functions, Soil shear strength, Soil spatial prediction functions

1- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Ahvaz

(\*- Corresponding Author Email: moghaddam623@yahoo.ie)

2- Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Shahrekord University