

## شبیه‌سازی مکانی اجزاء بافت خاک در مناطق با ریسک بالای فرسایش بادی

### (مطالعه موردی: تالاب هامون صابوری)

رضا رخشانی مهر<sup>۱</sup>، علی شهریاری<sup>۲</sup>، سعیده ملکی<sup>۲</sup>، وحید راهداری<sup>۴</sup>، ابوالفضل بامری<sup>۵\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. [rakhshanimehr@uoz.ac.ir](mailto:rakhshanimehr@uoz.ac.ir)

۲- استادیار، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. [Shahriari.ali@uoz.ac.ir](mailto:Shahriari.ali@uoz.ac.ir)

۳- استادیار، گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل. [smaleki@uoz.ac.ir](mailto:smaleki@uoz.ac.ir)

۴- استادیار، پژوهشکده تالاب بین المللی هامون، گروه مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، [vrahdari@uoz.ac.ir](mailto:vrahdari@uoz.ac.ir)

۵- مربی، گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل. [rbameri@uoz.ac.ir](mailto:rbameri@uoz.ac.ir)

#### چکیده

فرسایش خاک یک مشکل جدی در دشت سیستان است، که علاوه بر از دست رفتن مقادیر زیادی از عناصر غذایی خاک و کاهش کیفیت و سلامت خاک منطقه، تاثیر مستقیم بر زندگی و معیشت مردم سیستان نیز دارد. از طرفی نسبت اجزای بافت خاک به عنوان یکی از مهمترین شاخص‌های فیزیکی خاک، ظرفیت نگهداری کربن آلی و فرسایش پذیری خاک را نشان می‌دهد. لذا این مطالعه با هدف پهنه‌بندی درصد اجزای بافت خاک سطحی و عمقی خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار و GIS در منطقه مطالعاتی واقع در تالاب هامون صابوری با مساحت حدود ۲۷۳ کیلومترمربع انجام گردید. بدین منظور نمونه برداری خاک به روش تصادفی نظارت شده از ۹۲ نقطه در دو عمق از منطقه مورد مطالعه برداشت شد. نتایج نشان داد بهترین مدل برای خصوصیات درصد رس و سیلت خاک در هر دو عمق، نمائی و برای درصد شن کروی می‌باشد. نقشه‌های حاصل از کریجینگ نشان داد در قسمت‌های شمالی منطقه، درصد رس سطحی در کمترین میزان نسبت به سایر نقاط در منطقه مورد مطالعه می‌باشد این در حالی است که میزان این پارامتر در بخش عمقی خاک شمال منطقه مورد مطالعه در بالاترین میزان خود می‌باشد. این امر می‌تواند به علت جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و در نتیجه انتقال ذرات رس به قسمت‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه باشد. همچنین نتایج مطالعه حاضر نشان داد که الگو و پراکنش مکانی متغیرهای اجزای بافت خاک در دو عمق مورد مطالعه به دلیل فرسایش ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، متفاوت می‌باشد.

#### واژه‌های کلیدی:

تالاب بین المللی هامون، سیستان، بافت خاک، زمین آمار، فرسایش‌پذیری خاک

#### مقدمه

فرسایش خاک به‌عنوان یکی از مهمترین دلایل تخریب اراضی و یکی از مشکلات زیست محیطی مهم، مورد توجه است (Sinha و همکاران، ۲۰۱۷). چهار خصوصیت اصلی خاک شامل بافت خاک (درصد اختلاط ذرات خاک)، ساختمان خاک، میزان ماده آلی و نفوذپذیری خاک روی فرسایش پذیری خاک تاثیرگذار هستند (USDA، ۲۰۱۳). بنابراین شناسایی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر فرسایش‌پذیری خاک یک گام مهم در برآورد میزان فرسایش خاک است (Cheng و همکاران، ۲۰۱۸). یکی از این عوامل، توزیع اندازه ذرات یا بافت خاک می‌باشد که در مطالعات خاک، آب، محیط زیست و کشاورزی اهمیت زیادی داشته و نقش کلیدی در فرآیندهای تخریب و فرسایش خاک ایفا می‌کند. همچنین، نسبت اجزای بافت خاک به عنوان یکی از مهمترین شاخصی‌های فیزیکی خاک،



ظرفیت نگهداری کربن آلی و فرسایش پذیری خاک را نشان می‌دهد. از طرفی فرسایش خاک به طور مستقیم منجر به تخریب خصوصیات فیزیکی خاک از جمله وزن مخصوص ظاهری، درصد اجزای بافت خاک و میانگین وزنی قطر خاک‌دانه‌ها می‌شود. با توجه به اهمیت این خصوصیات فیزیکی بر میزان فرسایش پذیری خاک، در سالهای اخیر بیشتر مطالعات به سمت کمی کردن و تهیه پراکنش مکانی خصوصیات فیزیکی سوق یافته اند (Shao و Wang، ۲۰۱۱). درک توزیع مکانی خصوصیات خاک در مقیاس مزرعه یا حوزه جهت بهینه سازی روشهای مدیریت اراضی و ارزیابی اثرات انواع مدیریت بر کیفیت محیط زیست بسیار مهم و حیاتی می باشد (Cambardella و همکاران، ۱۹۹۴). پیشرفت های اخیر در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ابزار زمین آماری تحقیقات در مورد پراکنش مکانی خصوصیات خاک را تقویت کرده است (Zhu و Weindorf، ۲۰۱۰). بنابراین، شناسایی توزیع مکانی عوامل موثر بر فرسایش پذیری ذاتی خاک از قبیل درصد اجزای بافت خاک، در انتخاب عملیات صحیح حفاظت خاک و مدیریت اراضی مهم و حیاتی است (Panagos et al., 2014).

افضلی و همکاران (۱۳۹۷) کاربرد روش های زمین آماری را در پیش بینی تغییرات مکانی بافت خاک در دشت فراهان استان مرکزی بررسی کردند که با توجه به نتایج مدل کریجینگ از کارایی قابل قبولی در پهنه بندی تغییرات خصوصیات فیزیکی خاک برخوردار بود. در پژوهشی دیگر de Carvalho Junior و همکاران (۲۰۱۴) جهت پهنه بندی درصد رس و شن در سه عمق در اراضی شیب دار برزیل از مدل نمایی استفاده کردند. عملکرد مدل ها در پهنه بندی پارامترهای خاک به روش اعتبارسنجی متقابل دارای میانگین ضریب تبیین ۰/۱۳ بود که بهترین عملکرد از مدل کریجینگ، با اعتبارسنجی ضریب تبیین ۰/۱۹ بدست آمد. همچنین Shahriari و همکاران (۲۰۱۹) توزیع مکانی رس، سیلت و شن، خاک های دشت سیستان را با استفاده از زمین آمار مورد بررسی قرار دادند و مدل های نمایی و کروی را بر این ویژگی ها برآزش دادند. نتایج نشان داد که کلاس وابستگی مکانی برای سیلت و رس قوی بود. فرسایش خاک یک مشکل جدی در دشت سیستان است، که علاوه بر از دست رفتن مقادیر زیادی از عناصر غذایی خاک و کاهش کیفیت و سلامت خاک منطقه، تاثیر مستقیم بر زندگی و معیشت مردم سیستان نیز دارد. علی رغم تحقیقات فراوان انجام گرفته در مورد تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در سطح جهان و ایران، مطالعات اندکی در مورد تغییرپذیری مکانی خصوصیات خاک در تالاب هامون به عنوان منبع برداشت ریزگردهای دشت سیستان و در عمق های مختلف خاک انجام شده است. لذا این مطالعه با هدف پهنه بندی درصد اجزای بافت خاک سطحی و عمقی خاک با استفاده از تکنیک زمین آمار و GIS در منطقه مطالعاتی واقع در تالاب هامون با مساحت حدود ۲۷۳ کیلومتر مربع انجام شده است.

### مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه در شمال شهرستان زابل و در بخش شرقی بستر خشکیده هامون واقع شده است و محل برداشت رسوبات در زمان بادهای ۱۲۰ روزه و منشا ذرات گرد و غبار در طوفانهای شن منطقه می باشد. مساحت منطقه مورد مطالعه ۲۷۳ کیلومتر مربع است که بین مختصات جغرافیایی ۶۱ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۲۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در سطح منطقه

نمونه برداری خاک به روش تصادفی نظارت شده از ۹۲ نقطه در منطقه مورد مطالعه و از دو عمق ۰-۱۵ سانتی‌متری (سطحی) و ۵۰-۱۵ سانتی‌متری (عمقی) انجام شد. در نهایت ۱۸۴ نمونه خاک جمع آوری شده، پس از هوا خشک شدن، از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و اجزاء بافت خاک با استفاده از روش هیدرومتری در نمونه‌های خاک اندازه‌گیری شد.

برای رسم نیم تغییرنمای پارامترها از نرم‌افزار GS+ کمک گرفته شد. انتخاب مناسب‌ترین مدل تغییرنما، بر اساس حداقل مجموع مربعات (RSS) و حداکثر میزان  $R^2$  صورت گرفت. به منظور مقایسه روش‌های مورد استفاده در این پژوهش و انتخاب مناسب‌ترین مدل جهت برآورد پارامترهای خاک، از تکنیک اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. در این مطالعه از پارامترهای میانگین خطا (ME) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^*(x_i) - Z(x_i)) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Z^*(x_i) - Z(x_i))^2} \quad (2)$$

که در این دو معادله  $Z^*(x_i)$  مقدار برآوردی در نقطه  $i$  ام و  $Z(x_i)$  مقدار مشاهده‌ای برای نقطه‌ی  $i$  ام می‌باشد (Bameri و همکاران، ۲۰۱۵). جهت پهنه‌بندی و ارائه نقشه با توجه به مقادیر آماری مذکور از روشی استفاده گردید که دارای کمترین میانگین خطا و مجذور میانگین مربعات خطا می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 21 انجام گردید. همچنین از نرم‌افزار Arc GIS جهت آنالیزهای زمین‌آماري و تهیه نقشه استفاده شد.

### بحث و نتایج:

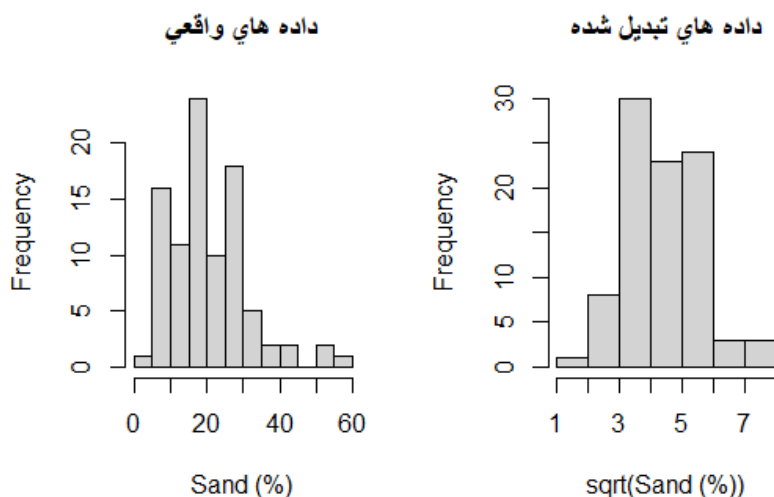
خلاصه آماری ویژگی‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. طبق طبقه‌بندی Wilding و همکاران (۱۹۸۳) اگر ضریب تغییرات داده‌ها کمتر از ۱۵ درصد باشد، داده‌ها دارای تغییرپذیری کم هستند. اگر مقدار این ویژگی بین ۱۵ تا ۳۵ درصد باشد، کلاس تغییرپذیری متوسط و در صورتی که مقدار این آماره بیشتر از ۳۵ درصد باشد، حاکی از تغییرپذیری زیاد داده‌ها است. بنابراین همان طور که در جدول ۱ دیده می‌شود می‌توان شدت تغییرات پارامترهای مورد مطالعه را در منطقه متوسط تا زیاد در نظر گرفت. در بین پارامترهای مورد بررسی، درصد سیلت خاک سطحی با داشتن ضریب تغییرات برابر با ۱۶/۰۵۵ کمترین ضریب تغییرات را دارا

می‌باشد که این امر نشان دهنده عدم تغییرات گسترده این ویژگی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. اما در مورد دو پارامتر درصد رس و شن در هر دو عمق نمونه برداری میزان تغییرات زیاد می‌باشد که این تغییرپذیری زیاد در ویژگی‌های بافت خاک می‌تواند در نتیجه تغییر در محیط‌های رسوب گذاری و یا اختلاف در مراحل مختلف خاکسازي و همچنین برداشت ذرات رس سطحی توسط فرآیند فرسایش بادی باشد.

جدول ۱- خصوصیات آماری متغیرهای مورد مطالعه

پارامتر	عمق	کشیدگی	چولگی	ضریب تغییرات	معیار انحراف	میانگین	حداکثر	حداقل
رس (%)	۰-۱۵	۰/۶۲۷	-۰/۰۸۱	۴۹/۶۶۹	۱۰/۶۹۵	۲۱/۵۳۳	۴۶	۰
	۱۵-۵۰	۰/۶۹۳	۰/۲۱۶	۵۷/۷۱۲	۱۱/۵۴۹	۲۰/۰۱۱	۴۸	۱
سیلت (%)	۰-۱۵	۰/۹۱	۰/۰۰۵	۱۶/۰۵۵	۹/۲۵۱	۵۷/۶۲۰	۸۲	۲۶
	۱۵-۵۰	۰/۲۶۵	۰/۴	۱۹/۰۵۸	۱۰/۸۷۶	۵۷/۰۶۵	۸۸	۳۰
شن (%)	۰-۱۵	۱/۷	۱/۰۷۶	۵۱/۵۱۹	۱۰/۷۴۱	۲۰/۸۴۸	۵۶	۲
	۱۵-۵۰	۰/۳۰۴	۰/۷۱۶	۵۰/۴۱۵	۱۱/۵۵۷	۲۲/۹۲۴	۵۹	۴

Niang و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی پراکنش مکانی خصوصیات خاک در کشور کانادا نیز برای درصد رس (۶۲٪) و شن (۵۵٪) ضریب تغییرات زیاد و برای درصد سیلت (۳۲٪) ضریب تغییرات متوسط را گزارش کردند. اگرچه توزیع نرمال داده‌ها، شرط لازم و ضروری پردازش‌های زمین آماری نمی‌باشد لیکن در صورت نرمال بودن تخمین‌های زمین آماری از دقت بالاتری برخوردار می‌باشند (محمدی، ۱۳۸۵). مقادیر ضریب چولگی ارائه شده در جدول مؤید این مطلب است، تنها پارامتر درصد شن سطحی از توزیع نرمال برخوردار نمی‌باشد و ضریب چولگی آن بین ۱- و ۱+ قرار ندارد (Bameri و همکاران، ۲۰۱۵). بنابراین جهت نرمال سازی درصد شن سطحی از تبدیل ریشه دوم استفاده شد (شکل ۲). پس از بررسی آمار توصیفی، همبستگی مکانی پارامترهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و تغییرنمای تجربی برای هر شاخص محاسبه و ترسیم گشت.



شکل ۲- هیستوگرام درصد شن خاک سطحی، (سمت چپ) قبل از نرمال کردن، (سمت راست) بعد از نرمال کردن.

بررسی تغییرنا تجربی نشان داد که پارامترهای مورد مطالعه در هر دو عمق دارای همبستگی مکانی می‌باشند، به طوری که نتایج نسبت همبستگی نیز نشان می‌دهد پارامترهای مورد ارزیابی دارای نسبت همبستگی متوسط و قوی در منطقه می‌باشند. وجود ساختار مکانی برای پارامترهای فیزیکی خاک در مقیاس‌های مختلف، در مطالعات بسیاری نشان داده شده است (Rosemary و همکاران، ۲۰۱۷؛ Keskin و Grunwald، ۲۰۱۸؛ Shahriari و همکاران، ۲۰۱۹). پس از بدست آوردن تغییرناهای تجربی، مدل تئوری بر تغییرنا به کمک نرم افزار GS+ برازش داده شد و تغییرنا مناسب به داده‌های خصوصیات خاک از بین مدل‌های مدل‌های خطی<sup>۱</sup>، خطی به سقف<sup>۲</sup>، کروی<sup>۳</sup>، نمایی<sup>۴</sup> و گوسی<sup>۵</sup> برازش گردید. پارامترهای تغییرنای خصوصیات خاک و مدل‌های برازش شده به آنها به همراه کنترل اعتبار تغییرنا در جدول ۲ خلاصه شده است.

جدول ۲- پارامترهای وار یوگرام خصوصیات خاک سطحی و عمقی

پارامتر	عمق	R <sup>2</sup>	کلاس همبستگی	نسبت همبستگی	دامنه تاثیر (m)	سقف	اثرقطعه ای	مدل
رس (%)	۰-۱۵	۰/۸۵۶	قوی	۰/۸۷	۱۰۷۰	۱۱۵/۹	۱۵/۱	نمایی
	۱۵-۵۰	۰/۷۴۹	متوسط	۰/۵	۵۱۱۰۰	۲۲۹/۷	۱۱۴/۸	نمایی
سیلت (%)	۰-۱۵	۰/۸۶۲	قوی	۰/۹۸۹	۹۹۰	۸۳/۳۷	۰/۹	نمایی
	۱۵-۵۰	۰/۶۰۱	متوسط	۰/۵۳	۳۶۸۰	۱۳۷/۸	۶۴/۸	نمایی
شن (%)	۰-۱۵	۰/۷۷۹	قوی	۰/۹۹	۲۳۸۰	۰/۳۰۲۲	۰/۰۰۰۱	کروی
	۱۵-۵۰	۰/۰۳۳	قوی	۰/۸۷۳	۱۰۴۰	۱۲۰/۵	۱۲/۲	کروی

همانطور که در جدول ۲ نشان داده شده است مدل نمایی بهتر توانسته تغییرات مکانی تغییرناهای تجربی پارامترهای درصد رس و درصد سیلت را در هر دو عمق نمونه برداری توجیه کند. اما در مورد درصد شن در هر دو عمق مورد مطالعه، مدل کروی بهترین مدل برازش شده به تغییرناهای تجربی می‌باشد (شکل ۳ تا ۵). در پژوهشی Keskin و Grunwald (۲۰۱۸) مناسب ترین مدل‌های برازش داده شده به نیم تغییرناهای تجربی خصوصیات اندازه‌گیری شده در مطالعات پدولوژیکی را مدل‌های کروی و نمایی معرفی می‌کنند. مدل نمایی از جمله معمول ترین مدل‌های دارای سقف زمین‌آماری برازش داده شده برای ویژگی‌های خاک است (Minasny و McBratney، ۲۰۰۵). Aghasi و همکاران (۲۰۱۷) توزیع مکانی EC، pH، کربنات، گچ، سنگریزه، رس، سیلت و شن، خاک‌های زیر حوزه گاوخونی ایران مرکزی را با استفاده از زمین آمار مورد بررسی قرار دادند و مدل‌های نمایی، گوسی و کروی را بر این ویژگی‌ها برازش دادند. نتایج این پژوهشگران نشان داد که کلاس وابستگی مکانی برای EC، pH، کربنات و رس قوی در حالیکه برای سایر ویژگی‌ها متوسط بود. با توجه به جدول ۲ و شکل تغییرناهای ارائه شده، نتایج حاکی از آن است که همه متغیرهای مورد بررسی دارای ساختار مکانی همراه با مدل‌های سقف‌دار می‌باشند. اما در مورد متغیر درصد رس عمقی مدل‌های برازش داده شده، خطی می‌باشند. در واقع مدل‌های خطی نشان دهنده کوچک بودن فواصل نمونه برداری و یکنواخت بودن تغییرات مکانی پارامتر مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که نیازمند بازنگری در طراحی نقاط و فواصل نمونه برداری می‌باشد. Mulla و McBratney (۲۰۰۲) بیان می‌کنند مهمترین پارامتر تغییرنا دامنه تاثیر می‌باشد به طوری که در فواصل بیشتر از دامنه تاثیر،

<sup>۱</sup>- Linear

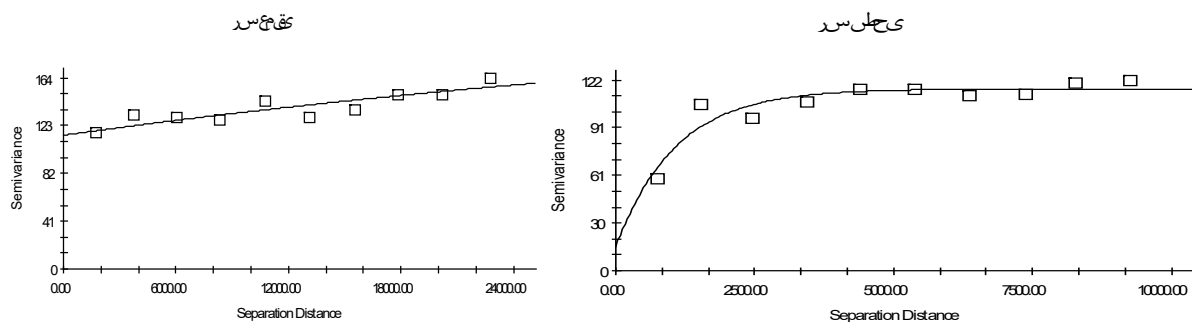
<sup>۲</sup>- Linear to Sill

<sup>۳</sup>- Spherical

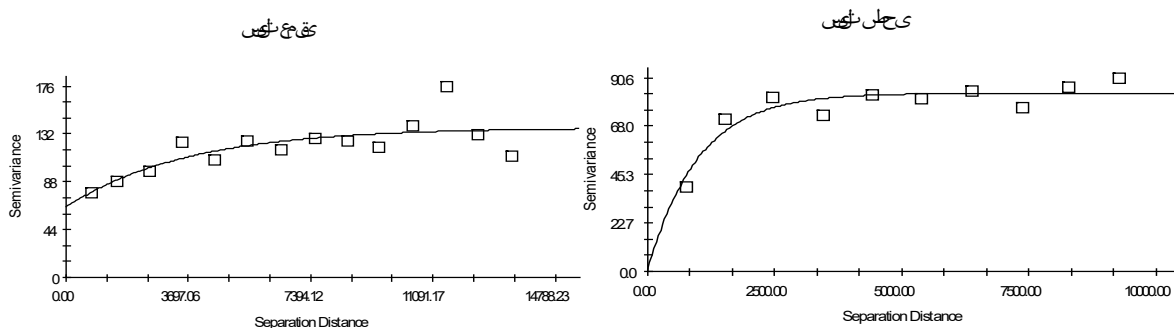
<sup>۴</sup>- Exponential

<sup>۵</sup>- Gaussian

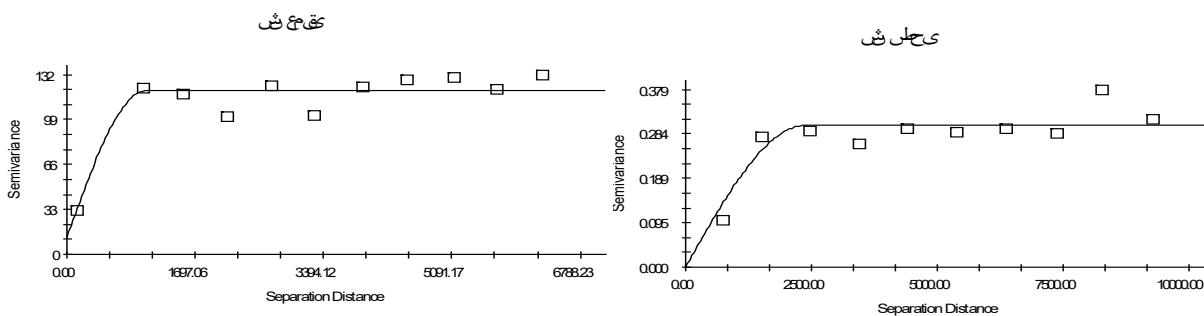
مقادیر نقاط نمونه برداری با یکدیگر ارتباط و همبستگی مکانی ندارند و چنین فاصله ای حد همبستگی مکانی خصوصیت مورد نظر را مشخص نموده و برای انتخاب یک طرح نمونه گیری مناسب اطلاعاتی را در اختیار کارشناسان قرار می دهد. براساس نتایج جدول ۲، این پارامتر در مورد پارامترهای درصد رس عمقی خاک بیشترین مقدار می باشد که در واقع تایید کننده ساختار خطی مدل برازش داده شده به تغییرنا تجربی این پارامتر می باشد.



شکل ۳- نیم تغییرنمای درصد رس در منطقه مورد مطالعه



شکل ۴- نیم تغییرنمای درصد سیلت در منطقه مورد مطالعه



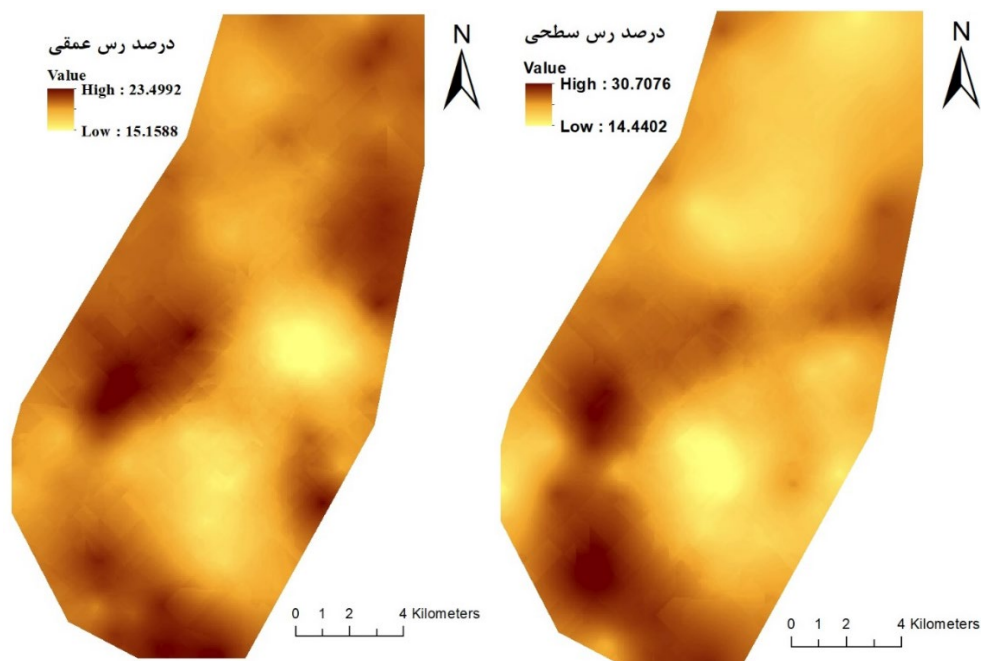
شکل ۵- نیم تغییرنمای درصد شن در منطقه مورد مطالعه

پس از تجزیه و تحلیل تغییرنا درونی پارامترهای مختلف خاک به کمک نرم افزار GIS به وسیله روش زمین آماری کریجینگ و روش معین وزن دهی معکوس فاصله انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است. نتایج نشان می دهد جهت برآورد درصد اجزای بافت خاک، همانطور که در جدول ۴ مشاهده می شود در هر دو عمق مورد مطالعه روش کریجینگ ساده براساس مقادیر آماره

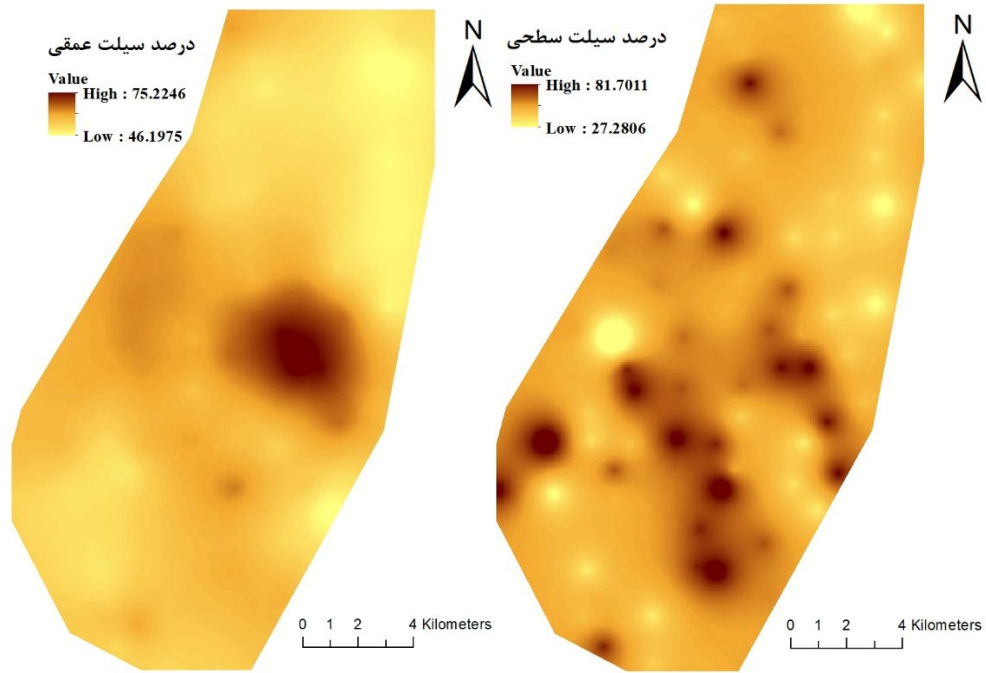
RMSE دارای خطای تخمین پایین‌تری نسبت به روش‌های کریجینگ معمولی و وزن‌دهی معکوس فاصله می‌باشد. نقشه‌های پهنه‌بندی درصد اجزای بافت سطحی و عمقی خاک در شکل ۶ الی ۸ نشان داده شده است.

جدول ۴. مقدار خطای برآورد شده در روش‌های کریجینگ و وزن‌دهی معکوس فاصله

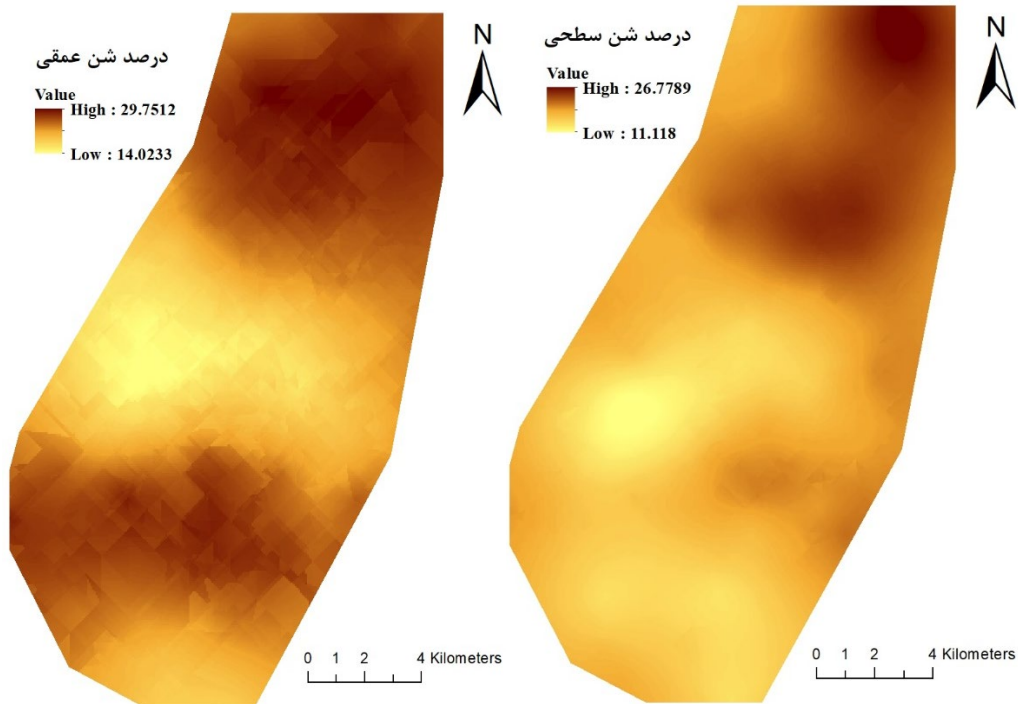
پارامتر	عمق	معیار ارزیابی	مدل کریجینگ		روش وزن‌دهی معکوس فاصله	
			معمولی	ساده	توان ۱	توان ۲
رس (%)	۰-۱۵	ME	۰/۰۰۱۵۷۳	۰/۱۱۷۱۵	۰/۲۳۵۱۸	۰/۴۰۴۸۴
		RMSE	۱۰/۷۹۰۲	۱۰/۶۰۱۵۵	۱۰/۸۶۶۲۲	۱۱/۰۶۲۹۴
	۱۵-۵۰	ME	۰/۲۱۹۲۵	۰/۱۵۴۸۱	۰/۳۶۲۴۲	۰/۳۷۱۰۶
		RMSE	۱۱/۸۲۷۱۶	۱۱/۴۵۰۳۴	۱۲/۱۰۷۰۶	۱۲/۶۲۸۲
سیلت (%)	۰-۱۵	ME	۰/۱۲۹۶۱۶	۰/۱۸۰۶۲۴	۰/۳۶۲۵۶۵	۰/۴۰۴۴۹۴
		RMSE	۸/۸۵۰۲۴۲	۸/۶۹۶۶۹۷	۸/۸۳۱۵۶	۸/۷۶۰۴۵۸
	۱۵-۵۰	ME	۰/۰۷۹۸۴۵	۰/۳۶۴۶۲۱	۰/۵۸۳۸۹۹	۰/۶۹۷۲۴۲
		RMSE	۹/۷۲۲۴۸۴	۹/۶۲۰۶۳۳	۹/۹۸۲۹۲۹	۱۰/۲۲۵
شن (%)	۰-۱۵	ME	۰/۳۹۱۲۶	۰/۱۶۶۵۰۷	۰/۱۲۷۳۹	۰/۰۰۰۳۴۳
		RMSE	۱۰/۰۹۵۶۴	۹/۸۵۵۸۴۷	۱۰/۱۷۱۳۸	۱۰/۳۲۹۸۸
	۱۵-۵۰	ME	۰/۳۸۳۲۵	۰/۲۳۶۳۸۷	۰/۲۲۱۴۸	۰/۳۲۶۱۹
		RMSE	۱۱/۵۱۵۱	۱۱/۱۱۰۷۸	۱۱/۲۷۱۱۴	۱۱/۷۵۴۷



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی درصد رس خاک در کل منطقه



شکل ۷- نقشه پهنه بندی درصد سیلت خاک در کل منطقه



شکل ۸- نقشه پهنه بندی درصد شن خاک در کل منطقه



همان طور که در شکل ۶ مشاهده می شود در قسمت های شمالی منطقه نمونه برداری درصد رس سطحی در کمترین میزان نسبت به سایر نقاط در منطقه مورد مطالعه می باشد این در حالی است که میزان این پارامتر در بخش عمقی خاک شمال منطقه مورد مطالعه در بالاترین میزان خود می باشد. علت این امر می تواند جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان و در نتیجه انتقال ذرات رس به قسمت های جنوبی منطقه مورد مطالعه باشد. دلیل این امر را Li و همکاران (۲۰۰۹) این گونه بیان می کنند که در نتیجه فرسایش بادی خاک سطحی در طی یک دوره ۲ ساله به طور قابل توجهی درشت تر می شود به طوری که در طول مدت وزش باد مداوم، به طور خاص، محتوای ذرات خاک در گروه ۲۵۰-۵۰۰ میکرومتر (شن متوسط) به طور قابل توجهی افزایش می یابد اما اجزای بافت خاک از ذرات ۵۰-۱۲۵ میکرومتر (شن ریز و خیلی ریز) و >۵۰ میکرومتر (سیلت و رس) به طور قابل توجهی تخلیه می شوند. بر این اساس همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده است درصد شن سطحی در اراضی جنوبی منطقه مورد مطالعه نسبت به شن عمقی کاهش داشته است که تایید کننده تاثیر فرسایش بادی بر خصوصیات اجزای خاک می باشد. Ferreira و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که با کاهش میزان ماده آلی، نیتروژن و درصد رس خاک متعاقباً میزان فرسایش افزایش می یابد.

### نتیجه گیری و پیشنهادها

آگاهی از تنوع مکانی خصوصیات خاک به منظور مدیریت محیط زیست امری اساسی است و می تواند به استفاده پایدار از منابع خاک کمک شایانی کند. نقشه های پیش بینی تولید شده با روش های زمین آماری یک ابزار پایش مهم است که موقعیت و چگونگی پراکنش پارامترهای خاص خاک را دقیق و قابل اعتماد در عرصه و منطقه نشان می دهد. در این ارتباط شناسایی و مطالعات خصوصیات خاک از قبیل درصد اجزای بافت خاک یکی از مهمترین مطالعات پایه ای برای شناسایی وضعیت منطقه و اصلاح و مدیریت اراضی به شمار می آید. لذا در این تحقیق سعی شده است تا با بررسی و اندازه گیری این پارامترها شرایط و وضعیت خصوصیات خاک مورد تحقیق و ارزیابی قرار بگیرد. نتایج مطالعه حاضر نشان داد که الگو و پراکنش مکانی متغیرهای اجزای بافت خاک در دو عمق مورد مطالعه به دلیل وجود خشکسالی های پی در پی و فرسایش ناشی از بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، متفاوت می باشد. نتایج نشان داد در میان خصوصیات مورد بررسی، درصد رس سطحی خاک بیشترین ضریب تغییرات را دارد. بنابراین بیشترین احتمال را برای تحت تاثیر قرار گرفتن از وضعیت خشکسالی منطقه و فرسایش بادی موجود را دارد. مدل بهینه توصیف کننده ساختار مکانی برای درصد شن در هر دو عمق مورد مطالعه، مدل کروی و برای سایر اجزای بافت خاک، نمایی بود. نقشه های پهنه بندی تهیه شده نشان داد پراکنش خصوصیات مورد بررسی در منطقه تصادفی نبوده و از یک الگوی مکانی نظام مند تبعیت میکنند. نقشه تغییرات درصد رس و شن خاک در منطقه تحت تاثیر فرسایش بادی موجود می باشد. با توجه به نتایج حاصله برای جلوگیری از افزایش میزان فرسایش پذیری و کاهش تخریب خاک ناشی از آن باید تمهیدی جهت افزایش پایداری ساختمان خاک و خاکدانه ها صورت پذیرد که این امر در وهله اول با افزودن ماده آلی به خاک و افزایش رطوبت خاک امکان پذیر خواهد بود.

منابع:

- افضلی، ع.، روانی، ج. و جعفری نیا، ر. ۱۳۹۷. کاربرد تکنیک زمین آمار در پیش بینی تغییرات مکانی بافت خاک (مطالعه موردی: دشت فراهان- استان مرکزی). مجله، جغرافیایی سرزمین، ۱۵(۵۸): ۱-۱۶.
- محمدی، ج. ۱۳۸۵- ب. پدومتری: آمار مکانی. انتشارات پلک.

Aghasi, B., Jalalian A., Khademi H. and Toomanian N. 2017. Sub-basin scale spatial variability of soil properties in Central Iran. Arabian Journal of Geosciences, 10(6), p.136.

Bameri, A., Khormali, F., Kiani, F., Dehghani, A.A. 2015. Spatial variability of soil organic carbon in different hillslope positions in Toshan area, Golestan Province, Iran: Geostatistical approaches. J. Mountain Science. (2015) 12: 1422.



- Cambardella CA, Moorman TB, Novak JM, Parkin TB, Karlen DL, Turco RF, Konopka AE. 1994. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of America Journal* 58: 1501–1511.
- Cheng, Z., Lu, D., Li, G., Huang, J., Sinha, N., Zhi, J., Li, S. 2018. A Random Forest-Based Approach to Map Soil Erosion Risk Distribution in Hickory Plantations in Western Zhejiang Province, China. *Remote Sens.* 2018, 10, 1899; doi:10.3390/rs10121899.
- de Carvalho Junior, W., Lagacherie, P., da Silva Chagas, C., Calderano Filho, B., Bhering, S.B., 2014. A regional-scale assessment of digital mapping of soil attributes in a tropical hillslope environment. *Geoderma* 232–234, 479–486.
- Ferreira, V., T. Panagopoulos<sup>1</sup>, R. Andrade<sup>1</sup>, C. Guerrero<sup>2</sup>, and L. Loures. 2015. Spatial variability of soil properties and soil erodibility in the Alqueva reservoir watershed. *Solid Earth*, 6, 383–392.
- Keskin, H., Grunwald S. 2018. Regression kriging as a workhorse in the digital soil mapper's toolbox, *Geoderma*, Volume 326, Pages 22–41.
- Li, J., Okin, G. S., Epstein, H. E. 2009, Effects of enhanced wind erosion on surface soil texture and characteristics of windblown sediments, *J. Geophys. Res.*, 114, G02003, doi:10.1029/2008JG000903.
- Minasny, B., McBratney, A.B., 2005. The Matérn function as a general model for soil variograms. In: *Geoderma, Pedometrics 2003*. vol. 128. pp. 192–207. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.003>.
- Mulla, D.J., McBratney, A.B., 2002. Soil spatial variability. In: Warrick, A.W. (Ed.), *Soil Physics Companion*. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 343–347.
- Niang, M.A., Nolin, M.C., Jégo, G., Perron, I., 2014. Digital mapping of soil texture using RADARSAT-2 polarimetric synthetic aperture radar data. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 78, 673.
- Pimentel, D. 2006. Soil erosion: A food and environmental threat. *Environment, Development and Sustainability*, 8, 119–137.
- Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P., & Alewell, C. (2014). Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *The Science of the Total Environment*, 479–480, 189–200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.02.010>.
- Rosemary F., Indraratne S.P., Weerasooriya R. and Mishra U. 2017. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena*, 150:53–61.
- Shahriari, M., Delbari, M., Afrasiab, P. and Pahlavan-Rad, M. 2019. Predicting regional spatial distribution of soil texture in floodplains using remote sensing data: A case of southeastern Iran. *Catena*, 182: 104149.
- Sinha, N.; Deb, D.; Pathak, K. Development of a mining landscape and assessment of its soil erosion potential using GIS. *Eng. Geol.* 2017, 216, 1–12.
- USDA, 2013. Revised Universal Soil Loss Equation, version 2 (RUSLE2). Available at [http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2\\_dataweb/](http://fargo.nserl.purdue.edu/rusle2_dataweb/) [verified 5 February 2017].using GIS. *Eng. Geol.* 2017, 216, 1–12.
- Wang Y.Q. and Shao M.A. 2011. Spatial variability of soil physical properties in a region of the loess plateau of pr china subject to wind and water erosion. *land degradation & development*, 24 (3): 296–304.
- Weindorf DC, Zhu Y. 2010. Spatial variability of soil properties at Capulin Volcano, New Mexico, USA: Implications for sampling strategy. *Pedosphere* 20: 185–197.