

## بررسی توزیع فضایی عوامل مؤثر بر فرسایش پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک

سید علی موسوی<sup>۱</sup>، سید حجت موسوی<sup>۲\*</sup>، ابوالفضل رنجبر فردوئی<sup>۳</sup> و سید جواد ساداتی نژاد<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. استادیار گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۳. دانشیار گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۴. دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۰/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۲/۲۵)

### چکیده

در حال حاضر فرسایش یکی از معضلات مهم زیست‌محیطی حوضه‌های آبخیز ایران به‌شمار می‌رود و تعیین میزان رسوب و فرسایش‌پذیری خاک برای حفاظت و مدیریت منابع طبیعی بسیار حائز اهمیت است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر ارزیابی توزیع فضایی فرسایش‌پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک و ارتباط آن با برخی خصوصیات فیزیکی خاک با استفاده از روش‌های زمین‌آمار است. بدین‌منظور تعداد ۳۳ نمونه خاک در امتداد سه ترانسکت از واحد پلایا تا کوهستان برای تعیین مقادیر مؤلفه‌های ماسه، رس، سیلت، کربن آلی و مواد آلی، از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری برداشت شد. سپس از طریق روش‌های آزمایشگاهی مقادیر پارامترهای یادشده اندازه‌گیری شد و مقدار عامل فرسایش‌پذیری (K) و شاخص فرسایش‌پذیری خاک (SEI) محاسبه شد. درنهایت، به‌منظور بررسی توزیع فضایی پارامترهای یادشده انواع روش‌های میان‌یابی آزمایش و مناسب‌ترین روش انتخاب شد. نتایج نشان داد برای توزیع فضایی مؤلفه‌های ماسه، رس و عامل K، روش تابع پایه شعاعی به‌ترتیب با RMSE ۳/۲۷، ۳/۲۲ و ۰/۰۳۶، برای مؤلفه‌های کربن و ماده آلی روش کریجینگ ساده به‌ترتیب با RMSE ۰/۳۴ و ۰/۵۹، برای سیلت روش کریجینگ معمولی با RMSE ۰/۸۸، و برای شاخص SEI روش کریجینگ جهانی با RMSE ۰/۰۱۴ مناسب‌ترین روش‌های میان‌یابی شناخته شدند. درنهایت، کمترین و بیشترین مقادیر عامل K با ۰/۰۲۵ و ۰/۰۷ تن در ساعت بر مگاژول میلی‌متر و همچنین کمینه و بیشینه شاخص SEI با مقادیر ۰/۰۳ و ۰/۰۷ به‌ترتیب در قسمت‌های شرقی، و غرب و شمال غربی منطقه گسترده شده است.

**کلیدواژگان:** بافت خاک، خور و بیابانک، زمین‌آمار، فرسایش‌پذیری.

## مقدمه

بیابان‌زایی از عمده‌ترین معضلات محیط زیستی است که شامل تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب است و به علت فعالیت‌های انسانی و نوسانات اقلیمی شدت می‌یابد [۱]. فرسایش خاک یکی از پیامدهای بیابان‌زایی و تخریب اراضی است که هدررفت خاک، کاهش سطح اراضی زراعی و تولیدات کشاورزی، پرشدن مخازن سدها، تخریب جنگل و مرتع، و مهاجرت روستاییان از جمله تبعات آن است [۲]. حساسیت خاک در برابر فرسایش به ویژگی‌های متعددی از جمله فیزیکی، مکانیکی، هیدرولوژیکی، شیمیایی، کانی‌شناسی و بیولوژیکی همراه با ویژگی‌هایی نظیر عمق خاک و تأثیر آن بر رشد گیاه بستگی دارد [۳]. کیفیت و فرسایش‌پذیری خاک متأثر از یکدیگرند و به شدت به هم وابسته‌اند. فرسایش سبب کاهش شاخص‌های کیفیت فیزیکی خاک مانند ظرفیت نگهداری آب و پایداری ساختمان خاک می‌شود [۴]. با توجه به اینکه فرسایش خاک بر اثر تخریب ویژگی‌های فیزیکی انجام می‌شود، به بررسی تأثیر شاخص‌های کیفیت خاک بر فرسایش‌پذیری نیاز است. بنابراین، درک فرایند فرسایش، تعیین میزان و مدل‌سازی آن از الزامات مدیریتی حوضه‌های آبخیز است [۵]. با وجود این، تخمین فرسایش‌پذیری خاک به علت اینکه طبقه‌بندی آن براساس فاکتورهای دخیل در فرسایش‌پذیری استوار نیست، کاری مشکل است و با عدم قطعیت انجام می‌شود [۶ و ۷]. تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش‌پذیری و پیش‌بینی مقدار فرسایش، نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت خاک است. متغیرهای مهم دخیل در عامل فرسایش‌پذیری شامل بافت، مقدار مواد آلی، اندازه و ثبات ساختمان در لایه سطحی، نفوذپذیری لایه زیرسطحی و عمق لایه محدودکننده هستند [۸]. پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری خاک، از ویژگی‌های مهم و مؤثر بر فرسایش‌پذیری هستند که تحت تأثیر ماده آلی و آهک بافت خاک قرار دارند [۹]. ماده آلی [۱۰] و آهک [۱۱ و ۱۲] نیز در کنار ذرات معدنی [۱۳ و ۱۴] از جمله ویژگی‌هایی هستند که عامل فرسایش‌پذیری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بین پایداری خاک‌دانه‌ها و فرسایش‌پذیری خاک نیز رابطه تنگاتنگی وجود دارد.

فاکتور فرسایش‌پذیری علاوه بر تغییرپذیری زمانی به دلیل خصوصیات مکانی خاک، تغییرات مکانی گسترده‌ای

دارد [۱۵ و ۱۶]. بنابراین، برای برقراری ارتباط بین فرسایش‌پذیری و خصوصیات مؤثر بر آن با استفاده از تکنیک زمین‌آمار در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند مفید باشد. یکی از مزایای استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با زمین‌آمار، امکان برآورد و توزیع مکانی فرسایش خاک با هزینه کمتر و دقت قابل قبول در مناطق وسیع است [۱۶ و ۱۷]. زمین‌آمار به‌عنوان یکی از شاخه‌های آمار عملی، امکان بررسی توأم مقدار متغیر و آرایش مکانی و زمانی مشاهدات را در تحلیل داده‌ها فراهم می‌کند [۱۸] و می‌تواند سطحی پیوسته از خصوصیات آماری نقاط معلوم را به‌وجود آورد [۱۹]. بنابراین، زمین‌آمار می‌تواند در مدل‌سازی داده‌ها با همبستگی مکانی به‌ویژه متغیرهای خاک کاربردهای گسترده‌ای داشته باشد [۲۰].

در زمینه فرسایش‌پذیری خاک پژوهش‌های متعددی انجام شده است. معادله جهانی فرسایش خاک<sup>۱</sup> از بررسی تجزیه آماری ۱۰ هزار کرت با رواناب طبیعی و با به‌کارگیری شبیه‌ساز باران به‌دست آمده است. این معادله و نسخه تصحیح‌شده آن<sup>۲</sup> به‌طور گسترده برای پیش‌بینی هدررفت خاک استفاده می‌شوند [۲۱ و ۲۲]. همچنین مدل‌های دیگری برای برآورد فرسایش خاک و رسوب از جمله<sup>۳</sup> MUSLE،<sup>۴</sup> MPSIAC و غیره، تدوین شده‌اند که فرسایش‌پذیری از عوامل کلیدی دخیل در آنها است و تابعی از بافت، توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری خاک است. در این زمینه جمع زیادی از پژوهشگران از فناوری زمین‌آمار برای تعیین تغییرات مکانی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی [۲۳ و ۲۴]، هیدرولیکی [۲۵]، کربن آلی [۲۶]، فرسایش و رسوب [۲۷ و ۲۸] و فرسایش‌پذیری خاک [۷، ۲۲، ۲۹، ۳۰ و ۳۱] استفاده کرده‌اند. ویلسون و لورانگ (۲۰۰۰) کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی و زمین‌آمار را برای برآورد فرسایش خاک بررسی کردند و گفتند که این روش قابلیت بسیار زیادی به‌منظور برآورد توزیع فضایی فرسایش خاک فراهم می‌کند [۳۲]. وانگ و همکارانش (۲۰۰۳) از داده‌های زمینی، تصاویر لندست و مدل رقومی ارتفاع برای پیش‌بینی فرسایش خاک از طریق روش‌های زمین‌آمار اقدام کردند و بیان داشتند که نتایج به‌دست‌آمده

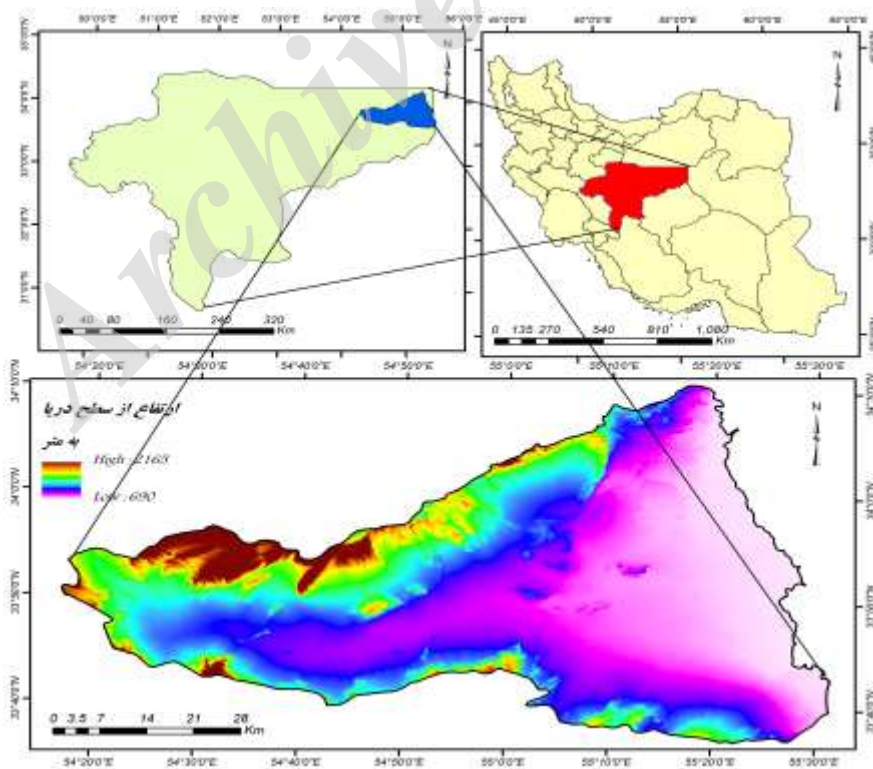
1. The Universal Soil Loss Equation (USLE)
2. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)
3. Modified USLE
4. Modified Pacific South- West Inter Agency Committee

### مواد و روش‌ها

منطقه خور و بیابانک از توابع استان اصفهان، بخشی از حوزه کویر مرکزی ایران است و در جنوب غربی کویر بزرگ نمک (دشت کویر) قرار دارد. وسعت این منطقه ۳۷۹۴/۲۷۳ کیلومترمربع است که در موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۱۴ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). اقلیم منطقه براساس داده‌های ایستگاه سینوپتیک خور و بیابانک و طبق روش‌های دومارتن و گوسن به ترتیب فراخشک گرم و بیابانی است. کمترین دمای مطلق منطقه ۱۴- درجه سانتی‌گراد و بیشترین دمای مطلق آن ۴۷ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارش سالانه ایستگاه خور و بیابانک ۸۶/۳ میلی‌متر است. پوشش گیاهی غالب منطقه درمنه دشتی و قیچ است، اما عواملی نظیر تپه‌های ماسه‌ای، کویر، شوره‌زار و تخریب انسانی موجب شده‌اند تا بخش وسیعی از منطقه به سبب محدودیت شدید شوری و قلیائیت خاک، بدون پوشش گیاهی باشد. با توجه به نوع گیاهان استقرار یافته افق سطحی کلسیک در همه تپه‌های اراضی و خاک منطقه وجود دارد.

از روش‌های زمین‌آمار، دقت بیشتری نسبت به روش‌های سنتی دارد [۱۷]. واعظی و همکارانش (۲۰۱۰) با مطالعه بخشی از خاک‌های نواحی نیمه‌خشک شمال غربی ایران، به بررسی عامل فرسایش پذیری خاک در زمینه برخی ویژگی‌ها نظیر شن درشت، رس، ماده آلی، آهک، پایداری خاک‌دانه‌ها و نفوذپذیری پرداختند و نتیجه گرفتند که شن درشت، رس، ماده آلی، آهک، پایداری خاک‌دانه و نفوذپذیری، همبستگی منفی معنادار و شن بسیار ریز و سیلت، همبستگی مثبت معنادار با عامل فرسایش پذیری دارند [۳۳].

منطقه خور و بیابانک در استان اصفهان همواره به‌عنوان یکی از کانون‌های مهم بحران فرسایش خاک بر اثر فرایندهای بادی و آبی در مناطق خشک ایران مرکزی مطرح است. بنابراین، لزوم مطالعه فرسایش خاک در قالب عوامل فرسایش پذیری تأیید شده است و اهمیت به‌سزایی در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی محیط و حفاظت از عرصه‌های منابع طبیعی دارد. بنابراین، پژوهش حاضر سعی دارد با استفاده از پایگاه داده میدانی و بهره‌گیری از روش‌های زمین‌آمار به بررسی توزیع فضایی فرسایش پذیری خاک و عوامل مؤثر در آن در منطقه خور و بیابانک بپردازد.



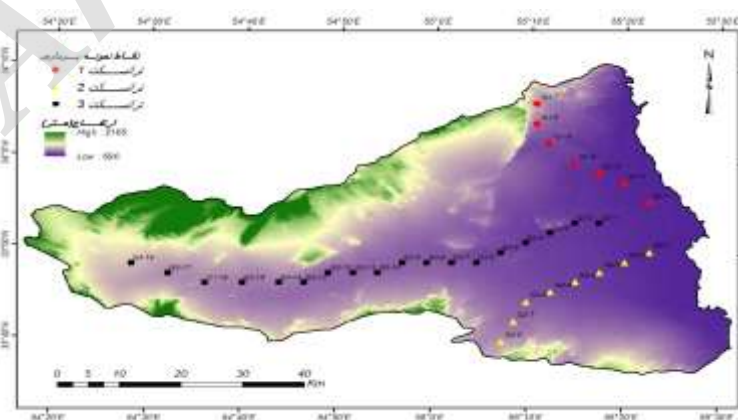
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعه‌شده

مختلف خاک از عمق صفر تا ۵۰ سانتی‌متری سطح زمین برداشت شد (شکل ۲). هنگام نمونه‌برداری، موقعیت نقاط توسط دستگاه GPS ثبت شد (شکل ۳) تا بتوان با استفاده از آن و تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی، نقشه‌های پهنه‌ای مربوط به هر پارامتر را توسط نرم‌افزار ArcGIS تهیه کرد. ساختمان سطحی خاک نیز به‌عنوان عاملی مؤثر در فرسایش‌پذیری بررسی شد و براساس راهنمای ویشمایر، نوع ساختمان تعیین شد. سپس نمونه‌های برداشتی به آزمایشگاه انتقال داده شد و برای هر نمونه پارامترهای درصد کربن آلی، رس، سیلت و ماسه اندازه‌گیری شد. تعیین بافت خاک و توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری [۲۴] صورت گرفت. کلاس نفوذپذیری به‌صورت غیرمستقیم و مطابق جدول تعیین کلاس نفوذ با استفاده از روش SCS تعیین شد و برای تعیین مقدار شن ریز از روش الک تر استفاده شد. به‌منظور تعیین میزان ماده آلی نیز از روش والکلی بلاک [۳۴] استفاده شد.

پژوهش حاضر از نوع کاربردی و روش‌شناسی آن تلفیقی از نمونه‌برداری‌های میدانی، تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی و ارزیابی‌های زمین‌آماری در محیط نرم‌افزار ArcGIS است. بنابراین، برای دستیابی به اهداف ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰۰، زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث، موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی شناسایی و تعیین حدود شد. سپس با مراجعات میدانی به منطقه نمونه‌برداری، و متناسب با نوع خاک، نمونه‌برداری میدانی با پراکنش مناسب از قسمت‌های مختلف مربوط به واحدهای عمده مناطق خشک از پلایا به سمت کوهستان برداشت انجام شد. در مجموع، با توجه به وسعت منطقه و تعدد رده خاک، تعداد ۳۳ نمونه خاک به روش سیستماتیک- تصادفی<sup>۱</sup> برداشت شد. روش نمونه‌برداری از نوع طولی است و در امتداد سه ترانسکت خطی از مناطق کم‌ارتفاع در واحد پلایا آغاز و به مناطق مرتفع در واحد کوهستان ختم شد. در هر نقطه، نمونه‌برداری از لایه‌های



شکل ۲. تصاویری از چگونگی برداشت نمونه در عرصه مطالعاتی



شکل ۳. موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری در منطقه مطالعاتی

1. Systematic random sampling

در رابطه ۳ مؤلفه‌های SEI: شاخص فرسایش پذیری خاک،  $S_a$ : درصد ذرات ماسه بین  $0.05 - 0.200$  میلی‌متر،  $S_i$ : درصد ذرات سیلت بین  $0.05 - 0.002$  میلی‌متر،  $C_i$ : درصد ذرات رس ( $>0.200$  میلی‌متر)،  $C$  درصد محتوای کربن آلی و  $S_n$ : برابر با  $(1 - S_a/100)$  است. با استفاده از روابط ۱ و ۳ و سه عامل درصد ماده آلی، درصد رس، سیلت و ماسه، فاکتورهای فرسایش پذیری خاک در قالب محاسبه عامل  $K$  و شاخص SEI برای نمونه‌های مطالعاتی برآورد شد و پایگاه داده برای ارزیابی توزیع فضایی پارامترهای یادشده کامل شد (جدول ۱).

برای برآورد میزان فرسایش پذیری، پارامترهای بافت خاک نظیر درصد سیلت، رس و ماسه و همچنین درصد کربن و ماده آلی کارکردی اساسی دارند. در این خصوص پس از اندازه‌گیری پارامترهای یادشده، مقدار فرسایش پذیری خاک از طریق روابط ۱ و ۳ [۳۵-۳۷] محاسبه و تخمین زده شد. در روابط ۱ و ۲ مؤلفه‌های  $K$ : عامل فرسایش پذیری خاک برحسب تن در ساعت بر مگاژول میلی‌متر،  $M$ : عامل بافت خاک است که از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.  $M_c$ : درصد محتوای رس،  $M_{silt}$ : درصد محتوای سیلت،  $M_{vfs}$ : درصد محتوای شن و ماسه بسیارریز،  $OM$ : درصد محتوای ماده آلی،  $P_t$ : کلاس نفوذپذیری و  $St$ : کلاس ساختمان خاک است.

$$K = \frac{[2/1 \times 10^{-4} M^{1/4} (12 - OM) + 3/25 (S_t - 2) + 2/25 (P_t - 3)]}{100} \times 0.1317 \quad (1)$$

$$M = (M_{silt} + M_{vfs}) \times (100 - M_c) \quad (2)$$

$$SEI = \left\{ 0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.256 S_a \left( 1 - \frac{S_i}{100} \right) \right] \right\} \times \left( \frac{S_i}{Cl + S_i} \right)^{1/3} \times \left[ 1 - \frac{0.25C}{C + \exp(3/72 - 2/95C)} \right] \times \left[ 1 - \frac{0.75 S_n}{S_n + \exp(-5/51 - 22/95 S_n)} \right] \quad (3)$$

جدول ۱. آمار توصیفی پایگاه داده پارامترهای اندازه‌گیری شده فرسایش پذیری خاک

پارامتر	دامنه	کمترین	بیشترین	میانگین	انحراف معیار	واریانس	چولگی	کشیدگی
رس (درصد)	۴۶	۳۳	۶۹	۴۷/۸۴	۱۵/۳۸	۲۳۶/۶۶	-۰/۶۵	-۱/۱۳
سیلت (درصد)	۸	۲۶	۳۴	۳۰/۷	۲/۳۱	۵/۳۷	-۰/۱۲۵	-۰/۸۸
ماسه (درصد)	۳۸	۵	۴۳	۲۱/۴۶	۱۳/۳	۱۷۷/۱۵	۰/۷۳	-۱/۱۳
کربن آلی (درصد)	۱/۴	۰	۱/۴	۰/۷۳	۰/۴۴	۰/۱۹	۰/۰۷	-۰/۸۸
ماده آلی (درصد)	۲/۴۴	۰	۲/۴۴	۱/۲۷	۰/۷۶	۰/۵۸	۰/۰۷	-۰/۸۸
عامل K	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۱۲	۰	۰/۶۱	-۱/۰۹
شاخص SEI	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۳	۰/۰۰۴۴	۰	-۰/۱۱	-۰/۴۸

بیشترین ضریب همبستگی و کمترین مجذور میانگین مربعات خطا<sup>۱</sup> (رابطه ۴) و همچنین تابع پیش‌بینی، مناسب‌ترین روش برازش داده شد و نتایج آن گزارش و ارزیابی شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [Z_i - Z_{mi}]^2}{n}} \quad (1)$$

در رابطه ۴  $n$ : تعداد نقاط،  $Z_i$ : مقدار مشاهده‌ای برای نقطه  $i$  و  $Z_{mi}$ : میانگین مقادیر مشاهده‌ای برای نقطه  $i$  است.

در نهایت، برای ارزیابی توزیع فضایی فرسایش پذیری خاک و مؤلفه‌های مربوط به آن، با استفاده از روش‌های زمین‌آماري در محیط نرم‌افزار ArcGIS میان‌یابی انجام شد. برای انتخاب مناسب‌ترین تابع انواع مختلف روش‌های میان‌یابی آزموده شد. روش‌های آزمایش شده شامل روش‌های کریجینگ ساده، کریجینگ معمولی، کریجینگ شاخص، روش‌های معین شعاعی (RBF) که شامل روش‌های TPS، Invers Multiquadric، Multiquadric، Spline with Tention، و روش‌های GPI، LPI و IDW با توان‌های ۱، ۲ و ۳ است. در پایان، از طریق آماره‌های

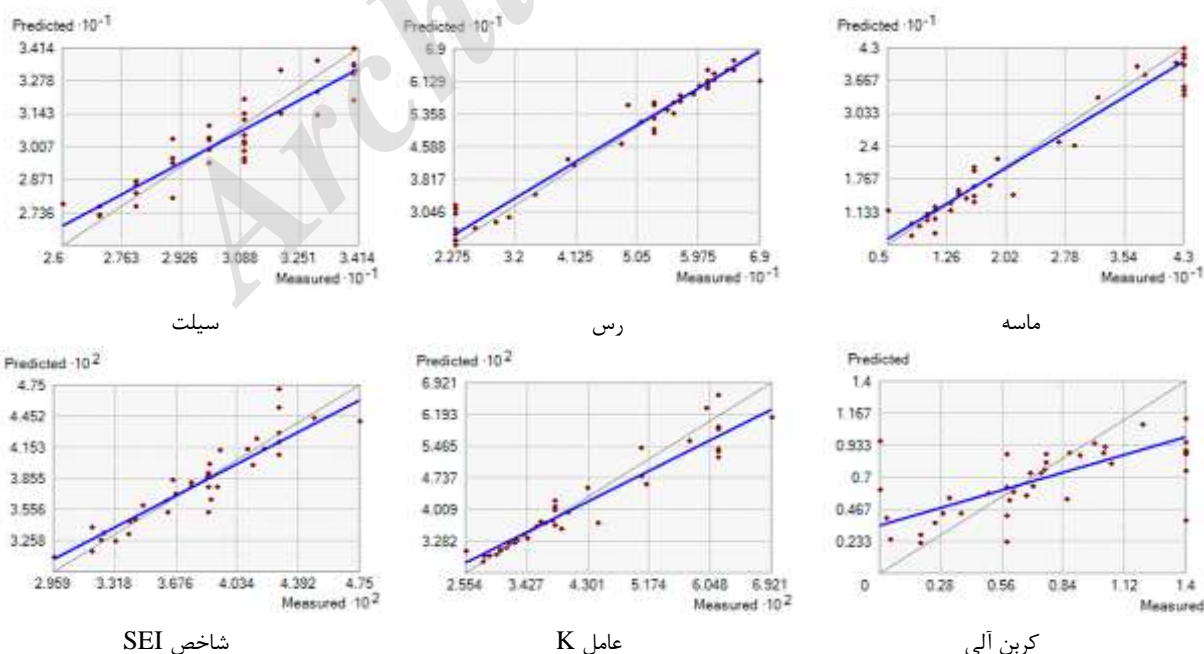
## یافته‌ها

برای بررسی توزیع فضایی عناصر بافت، ماده آلی و فرسایش‌پذیری روش‌های مختلف میان‌یابی آزمایش و مناسب‌ترین روش انتخاب و نتایج آن گزارش شد. همچنین در این پژوهش سعی شد تا روش‌های گوناگون درون‌یابی از نظر میزان دقت برای درون‌یابی داده‌های مربوط به عناصر مختلف خاک با یکدیگر مقایسه شوند. بر این اساس نتایج مقایسه روش‌های میان‌یابی فرسایش‌پذیری و بافت خاک منطقه خور و بیابانک در محیط ArcGIS و اندازه‌گیری میزان دقت آنها به صورت جدول ۲ و شکل ۴ است که در آنها مناسب‌ترین روش، مقدار RMSE، تابع پیش‌بینی و نمودار پراکنشی آنها گزارش شده است. نتایج نشان می‌دهد مناسب‌ترین روش

میان‌یابی برای عناصر ماسه و رس تابع پایه شعاعی به‌ترتیب با میانگین خطای مربعات ۳/۲۷۱۴۳۶ و ۳/۲۲۳۶۵۹ است. همچنین بهترین روش برای میان‌یابی عنصر سیلت روش کریجینگ معمولی با میانگین خطای مربعات ۰/۸۸۴۸۸۳ است. برای میان‌یابی عناصر کربن و ماده آلی نیز روش کریجینگ ساده به‌ترتیب با میانگین خطای مربعات ۰/۳۴۳۳۰۶ و ۰/۵۹۷۳۵۴ روش بسیار مناسبی است. برای عامل K روش تابع پایه شعاعی با میانگین خطای مربعات ۰/۰۳۶۰۸ و همچنین برای شاخص SEI روش کریجینگ جهانی با میانگین خطای مربعات ۰/۰۱۴۹۹ به‌عنوان مناسب‌ترین روش‌ها شناسایی شدند (جدول ۲). ارزیابی دقت روش‌های یادشده در قالب تابع پیش‌بینی نیز مؤید این موضوع است (شکل ۴).

جدول ۲. نتایج آزمون مناسب‌ترین روش‌های میان‌یابی و میزان دقت آن برای بررسی توزیع فضایی فرسایش‌پذیری خاک

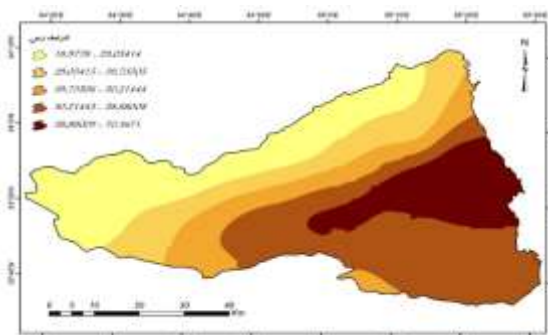
پارامتر	روش مناسب	RMSE	تابع پیش‌بینی
ماسه	تابع پایه شعاعی	۳/۲۷۱۴۳۶	$Y = 0.900936X + 1/617346$
رس	تابع پایه شعاعی	۳/۲۲۳۶۵۹	$Y = 0.937778X + 3/692698$
سیلت	کریجینگ معمولی	۰/۸۸۴۸۸۳	$Y = 0.794092X + 6/172655$
کربن آلی	کریجینگ ساده	۰/۳۴۳۳۰۶	$Y = 0.460108X + 3/49775$
ماده آلی	کریجینگ ساده	۰/۵۹۷۳۵۴	$Y = 0.608609X + 4/60108$
عامل K	تابع پایه شعاعی	۰/۰۳۶۰۸	$Y = 0.07265X + 8/06672$
شاخص SEI	کریجینگ جهانی	۰/۰۱۴۹۹	$Y = 0.05577X + 8/085227$



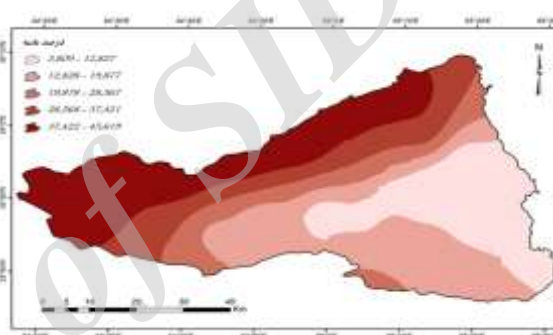
شکل ۴. نتایج ارزیابی دقت مناسب‌ترین روش‌های میان‌یابی در قالب رابطه بین مقدار اندازه‌گیری شده با مقدار پیش‌بینی شده

مشاهده می‌شود و کمترین مقدار آن مربوط به قسمت غرب و واحد پلایاست. بیشترین مقدار کربن آلی در نواحی جنوبی منطبق بر کوهستان و قسمت کوچکی در مرکز منطقه مطالعاتی وجود دارد و کمترین مقدار کربن آلی به صورت نواری پهن از سمت غرب به سمت شمال غرب و همچنین قسمتی از غرب منطقه گسترده‌تری دارد. به تبع توزیع فضایی پارامترهای یادشده بیشترین مقادیر عامل K و شاخص SEI در مناطق غربی و شمال غربی منتهی به واحدهای کوهستان و دشت سر مشاهده می‌شود و کمترین مقادیر آنها در قسمت شرقی بر واحد پلایا منطبق شده است (شکل ۵).

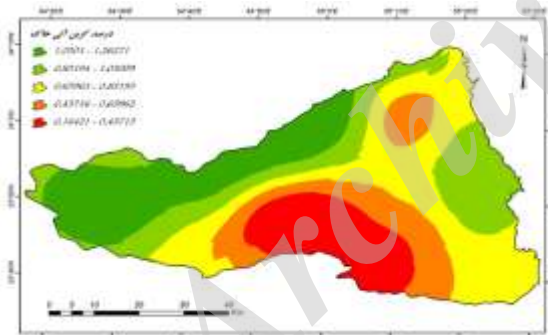
نتایج توزیع فضایی پارامترهای مختلف فرسایش پذیری و ترسیم نقشه آنها در شکل ۵ گزارش شده است. نقشه توزیع فضایی ماسه نشان می‌دهد بیشترین مقدار ماسه در مناطق غربی و شمال غربی وجود دارد و منطبق بر واحد دشت سر هستند. در مقابل، کمترین مقدار ماسه در قسمت غربی منطقه مطالعاتی واقع در پلایا مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار رس در مناطق شرقی وجود دارد که منتهی به واحد پلایا است و کمترین مقدار آن به صورت نواری از سمت شمال به سمت غرب گسترده شده است. بیشترین مقدار سیلت نیز در نواحی غربی و شمال غربی منطقه که منتهی به واحدهای دشت سر و کوهستان است



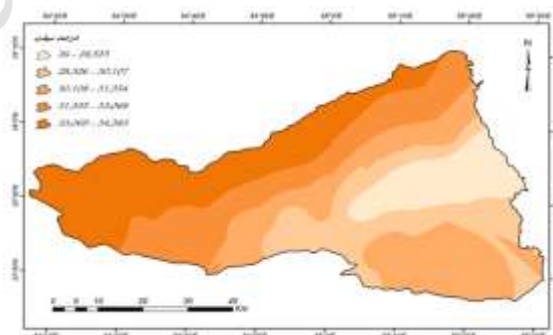
رس



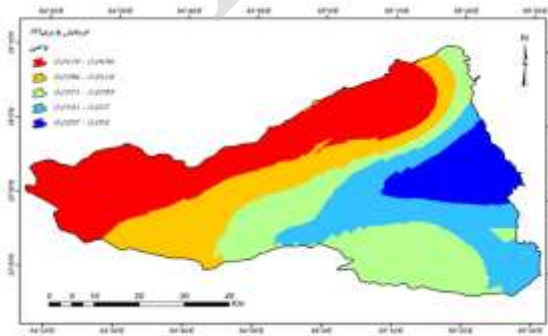
ماسه



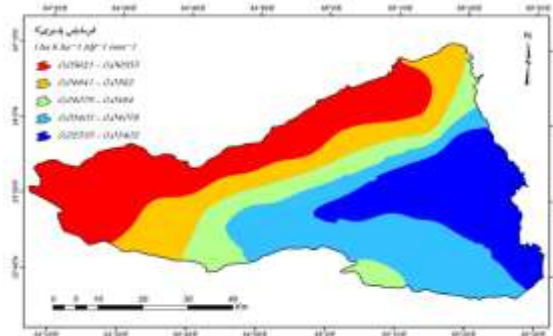
کربن آلی



سیلت



شاخص SEI



عامل K

شکل ۵. نقشه‌های توزیع فضایی پارامترهای فرسایش پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک

گسترده‌گی دارد. بیشترین میزان مساحت کربن آلی نیز در طبقه ۰/۸۳-۰/۶۶ به مقدار ۱۰۸۰/۹۵ کیلومترمربع (۲۸/۴۸ درصد) و کمترین مساحت آن در طبقه ۰/۴۵-۰/۱۶ به مقدار ۵۳۵/۰۹ کیلومترمربع (۱۴/۱ درصد) قرار دارد. بنابراین، از منظر عامل K بیشترین وسعت در طبقه ۰/۰۷-۰/۰۵ به مقدار ۱۰۳۰/۹۱ کیلومترمربع (۲۷/۱۷ درصد) و کمترین وسعت آن در طبقه ۰/۰۴۸-۰/۰۴۲ به مقدار ۴۶۵/۳۹ کیلومترمربع (۱۲/۲۶ درصد) واقع شده است. همچنین از نظر شاخص SEI بیشترین مساحت در طبقه ۰/۰۴۶-۰/۰۴۳ به مقدار ۱۱۶۹/۰۳ کیلومترمربع (۳۰/۸۱ درصد) و کمترین مساحت آن در طبقه ۰/۰۳۴-۰/۰۳ به مقدار ۳۶۳/۵۳ کیلومترمربع (۹/۵۸ درصد) گسترده‌گی دارد (جدول ۳).

نتایج به‌دست‌آمده از مساحی‌سنجی طبقات پارامترهای فرسایش‌پذیری خاک به‌صورت جدول ۳ است. این نتایج نشان می‌دهد از منظر عنصر ماسه بیشترین وسعت منطقه با مقدار ۹۹۱/۰۵ کیلومترمربع در طبقه ۳۷/۴۲-۴۵/۶۱ قرار گرفته است که ۲۶/۱۱ درصد کل منطقه را شامل می‌شود. از نظر عنصر رس بیشترین مساحت در طبقه ۵۰/۲۱۵-۵۸/۸۸ به مقدار ۱۱۷۹/۰۵ کیلومترمربع (۳۱/۰۷ درصد) و کمترین مساحت در طبقه ۳۹/۷۳-۵۰/۲۱ به مقدار ۴۹۶/۲۲ کیلومترمربع (۱۳/۰۷ درصد) واقع شده است. بیشترین میزان وسعت عنصر سیلت نیز در طبقه ۳۴/۵۸-۳۳/۰۶، به مقدار ۰/۱ کیلومترمربع (۲۶/۲ درصد) و کمترین وسعت آن در طبقه ۲۸/۵۲-۲۶، به میزان ۴۲۵/۹۲ کیلومترمربع (۱۱/۲۲ درصد)

جدول ۳. نتایج مساحی‌سنجی طبقات پارامترهای فرسایش‌پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک

پارامتر	کلاس	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت	پارامتر	کلاس	مساحت (Km <sup>2</sup> )	درصد مساحت
ماسه (%)	۱۲/۸۲ - ۳/۸۰۹	۸۲۷/۶۱۸	۲۱/۸۱	کربن آلی (%)	۰/۱۶۴-۰/۴۵۷	۵۳۵/۰۹۳	۱۴/۱
	۱۲/۸۲۸ - ۱۹/۸۷۷	۹۸۳/۴۲۲	۲۵/۹۲		۰/۴۵۸-۰/۱۶۶	۵۵۴/۶۷۱	۱۴/۶۱
	۱۹/۸۷۸ - ۲۸/۵۶۷	۴۳۹/۸۵۳	۱۱/۶		۰/۶۶۱-۰/۸۳۲	۱۰۸۰/۹۵	۲۸/۴۸
	۲۸/۵۶۸ - ۳۷/۴۲۱	۵۵۲/۳۳۲	۱۴/۵۵		۰/۸۳۳-۱/۰۲	۸۰۵/۷۴۱	۲۱/۲۳
رس (%)	۳۷/۴۲۲ - ۴۵/۶۱۹	۹۹۱/۰۵۶	۲۶/۱۲	عامل K (t h Mj <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	۱/۰۳۱-۱/۲۶۳	۸۱۷/۸۲۳	۲۱/۵۵
	۱۸/۹۷۸ - ۲۹/۰۵۴	۹۶۱/۴۱۷	۲۵/۳۳		۰/۰۲۵ - ۰/۰۳۴	۷۸۵/۵۲	۲۰/۷
	۲۹/۰۵۵ - ۲۹/۷۳۵	۵۸۸/۵۲۶	۱۵/۵۱		۰/۰۳۵ - ۰/۰۴۱	۹۳۰/۱۵۷	۲۴/۵۱
	۳۹/۷۳۶ - ۵۰/۲۱۴	۴۹۶/۲۲۵	۱۳/۰۷		۰/۰۴۲ - ۰/۰۴۸	۴۶۵/۳۹۲	۱۲/۲۶۵
سیلت (%)	۵۰/۲۱۵ - ۵۸/۸۸	۱۱۷۹/۰۵۲	۳۱/۰۷۴	شاخص SEI	۰/۰۴۹ - ۰/۰۵۶	۵۸۲/۲۹۷	۱۵/۳۴
	۵۸/۸۸۱ - ۷۰/۳۶۷	۵۶۹/۰۶۲	۱۴/۹۹		۰/۰۵۷ - ۰/۰۷	۱۰۳۰/۹۱۴	۲۷/۱۷
	۲۶ - ۲۸/۵۲۵	۴۲۵/۹۲۷	۱۱/۲۲		۰/۰۳ - ۰/۰۳۴	۳۶۳/۵۲۹	۹/۵۸
	۲۸/۵۲۶ - ۳۰/۱۰۷	۶۹۸/۱۰۶	۱۸/۳۹		۰/۰۳۵ - ۰/۰۳۷	۶۸۸/۲۷۳	۱۸/۱۳
سیلت (%)	۳۰/۱۰۸ - ۳۱/۵۵۴	۹۴۹/۳۰۶	۲۵/۰۲	شاخص SEI	۰/۰۳۸ - ۰/۰۴	۹۱۴/۸۵۹	۲۴/۱۱
	۳۱/۵۵۵ - ۳۳/۰۶۸	۷۲۶/۹۲۳	۱۹/۱۵		۰/۰۴۱ - ۰/۰۴۲	۶۵۸/۵۷	۱۷/۳۵
	۳۳/۰۶۹ - ۳۴/۵۸۳	۹۹۴/۰۱۹	۲۶/۱۹		۰/۰۴۳ - ۰/۰۴۶	۱۱۶۹/۰۳۹	۳۰/۸۱

### بحث و نتیجه‌گیری

دارند، بدین‌معنا که فراوانی داده‌ها در کلاس‌های مختلف تقریباً با داده‌های اولیه مشابه است. البته، پارامتر توان وزنی در نتیجه درون‌یابی تأثیر به‌سزایی دارد و انتخاب توان مناسب، نتیجه مثبتی در درون‌یابی با این روش می‌گذارد. اگر مقادیر اشتباه در داده‌های اولیه وجود داشته

در این پژوهش برای ارزیابی توزیع فضایی فرسایش‌پذیری خاک در منطقه خور و بیابانک و عناصر مختلف دخیل در آن، انواع روش‌های میان‌یابی آزموده شد. داده‌های درون‌یابی شده به روش IDW توزیعی مشابه با داده‌های اولیه



میان‌یابی شناسایی شدند. این داده‌ها با نتایج اندرسون [۴۰] و همچنین متکان و همکارانش [۴۱] همسو است. نتایج ارزیابی صحت روش‌ها بیان‌کننده این مطلب است که نمی‌توان یک روش ثابت را برای همه عناصر تعمیم داد. بنابراین، لازم است مناسب‌ترین روش میان‌یابی به صورت مجزا برای هر پارامتر شناسایی شود. تعیین مقادیر عددی بسیاری از پارامترها در نقاط فاقد اطلاعات، برای ایجاد و توسعه روش‌هایی که در مقیاس وسیع اقدام به پیش‌بینی یک مشخصه یا پارامتر اکولوژیک می‌کند، حائز اهمیت است. شایان یادآوری است که توابع انتخابی فقط برای عنصر آزمون شده، مورد اعتماد هستند. اگر چنانچه یک تابع خاص برای چندین پارامتر مناسب تشخیص داده شد، می‌توان نتیجه گرفت که آن تابع می‌تواند با اطمینان بیشتری برای شرایط مشابه دیگر نیز استفاده شود.

#### منابع

- [1]. FAO/UNEP. Provisional methodology for assessment and mapping of desertification. FAO, Rome. 1984
- [2]. Karam A, Safarian A, Hajje Foroshnia Sh. Estimation of soil erosion in the watershed zoning Mamlou (zaragh Tehran) using methods modified universal equation of soil erosion and the analytic hierarchy process. Researches in Earth Sciences. 2010; 1(2): 73-86. (In Persian)
- [3]. Young R, Mutchler C. Edibility of some Minnesota soils. J. Soil Water Conserv. 1977; 32(3): 180-200.
- [4]. Wallace A, Terry RE. Soil conditioners, soil quality and soil sustainability. Marcel Dekker, New York, NY, 1998: 1-41.
- [5]. Sadeghi SHR, Kianei-e-Harchagani M, Saeedi P, Allafi Badi M. Assessing capability of RUSLE in estimation of storm's sediment. Forth Conference on Sciences and Watershed Management Engineering of Iran. Karaj, Iran. 2008. (In Persian)
- [6]. Wang GG, Gertner X, Anderson A. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. Catena. 2001; 46: 1-14.
- [7]. Parysow P, Wang G, Gertner G, Anderson AB. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. Catena. 2003; 736: 1-14.
- [8]. Wischmeier WH, Mannering JV. Relation of soil properties to its erodibility. Soil Sci. Am. Proc. 1969; 33: 131-136.

باشد، نتایج را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. به همین دلیل لازم است قبل از درون‌یابی با همه روش‌ها به خصوص IWD داده‌های مشکوک تصحیح یا حذف شوند. روش IDW تغییرات شدید حد بالا و پایین داده‌ها را که نمونه‌برداری نشده است، در نظر نمی‌گیرد و در واقع داده‌های موجود را به کل سطح تعمیم می‌دهد. در روش کریجینگ دایره‌ای، نمای، کروی و خطی به مقادیر با فراوانی کمتر، وزن بیشتری داده می‌شود. به بیان دیگر، داده‌های اولیه تا حدودی تعدیل می‌شوند و داده‌هایی که فراوانی کمتری دارند، دارای اهمیت می‌شوند. در نتیجه این روش‌ها برای از بین بردن آثار لبه و کم کردن تأثیر مقادیر بیشینه و کمینه، شیوه‌های مفیدی محسوب می‌شوند. روش‌های کریجینگ عمومی (با روند خطی و کوادراتیک) و همچنین کریجینگ گوسن توزیع اولیه داده‌ها را دست‌خوش تغییر شدید می‌کند. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که این روش‌ها برای درون‌یابی داده‌های کوتاه‌مدت مناسب نیستند. در نهایت، با توجه به مطالب یادشده می‌توان این گونه نتیجه گرفت که یک روش درون‌یابی برای کل منطقه و همچنین برای انواع متعددی از متغیرها نمی‌توان به‌عنوان بهترین روش در نظر گرفت. انتخاب روش نیز به نوع داده‌ها، ماهیت آنها و خصوصیات منطقه بستگی دارد. به جز موارد یادشده انتخاب یک روش مناسب برای درون‌یابی بسته به هدف ممکن است تغییر کند که با نتایج میرزایی [۳۸] و فرجی سبکبار و عزیزی [۳۹] مطابقت دارد. در این میان، برای ماسه تابع شعاع عمومی<sup>۱</sup> با میانگین خطای مربعات برابر ۳/۲۷۱۴، برای سیلت تابع کریجینگ معمولی<sup>۲</sup> با خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۸۸۴۸، برای رس شعاع تابع عمومی<sup>۳</sup> با خطای جذر میانگین مربعات برابر ۳/۲۲۳۶، برای کربن آلی تابع کریجینگ ساده<sup>۴</sup> با خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۳۴۳۳، برای ماده آلی تابع کریجینگ ساده با خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۳۴۳۳، برای عامل K تابع شعاع عمومی با خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۰۰۳۶ و برای شاخص SEI تابع کریجینگ جهانی<sup>۵</sup> با خطای جذر میانگین مربعات برابر ۰/۰۰۱۴ به‌عنوان مناسب‌ترین روش‌های

1. Radial Basic Function
2. Kriging Ordinary
3. Radial Basic Function
4. Kriging Simple
5. Kriging Universal

- [9]. Hoyos N. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*. 2005; 63: 85-108.
- [10]. Rodriguez RR, Arbelo CD, Guerra JA, Natario MJS, Armas CM. Organic carbon stocks and soil erodibility in Canary Islands Andosols. *Catena*. 2006; 66: 228-235.
- [11]. Charman PEV, Murphy BW. Soils (their properties and management). Second edition, Land and Water Conservation, New South Wales, Oxford, 2000: 206-212.
- [12]. Duiker SW, Flanagan DC, Lal R. Erodibility and infiltration characteristics of five major soils of southwest Spain. *Catena*. 2001; 45: 103-121.
- [13]. Miller RW, Gardiner DT. Soils in our environment. 8th edition. Prentice-Hall Inc. United State of America. 1998: 75-81.
- [14]. Santos FL, Reis JL, Martins OC, Castanheria NL, Serralherio RP. Comparative assessment of infiltration, runoff and erosion of sprinkler irrigation soils. *Biosystems Engineering*. 2003; 86(3): 355-364.
- [15]. Burrough PA. Sampling designs for quantifying map unit composition. In: Mausbach Mj, Wilding LP. (Eds), Spatial variability of soils and landforms. Soil Science Society American Journal. 1991; 28: 89-125.
- [16]. Millward AA, Mersey JE. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*. 1999; 3: 109-129.
- [17]. Wang G, Gertner G, Fang S, Anderson AB. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2003; 69: 889-898.
- [18]. Goovaert P. Geostatistic in soil science: State of the art and perspective. *Geoderma*. 1999; 38:45- 93.
- [19]. Deutsch CV. Geostatistical reservoir modeling. Oxford University Press. 2002.
- [20]. Kariminazar M, Fakhire A, Fayznia S, Rashki SA, Mirsolayman SJ. Evaluation of methods for estimating the speed of wind erosion in plain Sistan. *Journal Natural Resources*. 2009; 62 (3): 405 -417. (In Persian)
- [21]. Foster GR, Young RA, Romkens MJM, Onstad CA. Processes of soil erosion by water. In: Follett RF, and Stewart BA. Soil erosion and crop productivity. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA. 1985: 137-159.
- [22]. Rejman J, Turski R, Paluszek J. Spatial and temporal variability in erodibility of loess soil. *Soil and Tillage Research*. 1998; 46: 61-68.
- [23]. Gee GW, Bauder JW. Particle size analysis, In: A. Klute (Ed), *Methods of Soil Analysis*. Part one and second edition, Agron. Monogr.9. ASA and SSSA, Madison, W.I. 1986; 404-407.
- [24]. Klute A. *Methods of soil analysis part I. Physical and mineralogical methods*. 2nd Ed. Soil Science Society of America. 1986.
- [25]. Chien YJ, Lee DY, Guo HY, Houg KH. Geostatistical analysis of soil properties of mid-west Taiwan soils. *Soil Science*. 1997; 162: 291-298.
- [26]. Zhang K, Li S, Peng W, Yu B. Erodibility of agriculture soils and loess plateau of China. *Soil and Illage. Res*. 2004; 76: 157-165.
- [27]. Wang G, Gertner G, Singh V, Shinkareva S, Parysow P, Anderson A. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the RUSLE: a case study of the rainfall runoff erosivity R Factor. *Ecological Modelling*. 2002; 153: 143-155.
- [28]. Irvem A, Topalolu F, Uygur V. Estimating spatial distribution of soil loss over Seyhan River Basin in Turkey. *Journal of Hydrology*. 2007; 336: 30-37.
- [29]. Rodríguez RP, Marques MJ, Bienes R. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Environmental Sciences*. 2007; 378 (1-2): 166-173.
- [30]. Sokouti Oskouie R. Evaluation of structure of spatial variation of the soil erodibility in the Orumieh region, Proceedings of the 9th Congress on Soil. Tehran, Iran. 2005; 482-487. (In Persian)
- [31]. Saremi Naeini MA, Zareian Jahromi M, Ekhtesasi MR, Mohammadian Behbahani A. Wind threshold velocity surviving by using Geo-statistics (case study: Yazd city). 10th National Congress on Soil Science. Karaj, Iran. 2007. (In Persian)
- [32]. Wilson JP, Lorang MS. Spatial models of soil erosion and GIS. In spatial models and GIS. New potential and new models, Fotheringham AS, Wegener, M. (Eds). Taylor and Francis: Philadelphia, PA, 2000; 83-108.
- [33]. Vaezi A, Bahrami HA, Sadeghi SHR, Mahdian MH. The new monograph to estimate

- erosion-risk factor (K) in the semi-arid region in the northwestern part of the territory of Iran. *Journal of Soil and Water Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*. 2009; 13(49): 69-80. (In Persian)
- [34]. Nelson DW, Sommer LE. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page (ed.) *Methods of Soil Analysis*. 2nd ed. ASA Monogr. Amer. Soc. Agron. Madison. 1982; 9(2): 539- 579.
- [35]. Wischmeier W, Smith D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. *Agricultural Handbook No. 537*. Washington DC, USA: U.S. 1978.
- [36]. Renard KG, Foster GR, Weessies GA, McCool DK. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). In: Yoder DC, editor. *U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, Geomorphology 2002*; 47(2-4): 189-209.
- [37]. Webb NP, McGowan HA, Phinn SR, Leys JF, McTainsh GH. A model to predict land susceptibility to wind erosion in Western Queensland, Australia. *Environmental Modelling & Software*. 2009; 24: 214-227.
- [38]. Mirzaee S. Vulnerability assessment and risk mapping using GIS Shahrekord plain groundwater pollution and DRASTIC model and SINTACS. Master's Thesis on Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Shahrekord, 2009. (In Persian)
- [39]. Faraji Sabokbar HS, Azizi Gh. Evaluate the accuracy of spatial interpolation, Case study: modeling Kardeh rainfall areas of Mashhad. *Geographical Journal*. 2006; 58: 1-15. (In Persian)
- [40]. Anderson SH. An evaluation of spatial interpolation methods on air temperature in Phoenix. AZ. 2000.
- [41]. Matkan A, Shakiba A, Yazdani A. Evaluate different methods of interpolation to estimate daily rainfall, Case study: Fars province. *Territory*. 2007; 13: 54-67. (In Persian)

Archive of SID