

## تحلیل مقایسه‌ای عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند

محبوبه کیانی هرچگانی<sup>۱\*</sup>، سید حمیدرضا صادقی<sup>۲</sup> و سامره فلاحتکار<sup>۳</sup>

۱. پژوهشگر پسادکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس

۳. استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۷/۰۸/۱۳)

## چکیده

فرسایش خاک نوعی مشکل جدی محیطی، اجتماعی و اقتصادی است که نه تنها سبب تخریب شدید زمین و هدررفت خاک می‌شود، بلکه تهدید ثبات و سلامت جامعه و به‌طور کلی توسعه پایدار آن را در پی دارد. فرسایش خاک با متغیرهای مختلف خاک، اندازه‌گیری‌ها و محاسبات آنها مرتبط است. یکی از عوامل مهم در تعیین فرسایش خاک، فرسایش‌پذیری خاک (K) است. روش‌های مختلفی برای تعیین عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از مدل‌های تجربی یا اندازه‌گیری‌های صحرایی ارائه شده است. در حال حاضر، روابط مبتنی بر ویژگی‌های اولیه خاک مانند بافت، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری به‌صورت گسترده‌ای استفاده شده‌اند. بنابراین، در پژوهش حاضر از سه رابطه متداول شامل ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸)، رومکنز و همکارانش (۱۹۸۶) و توری و همکارانش (۱۹۹۷ و ۲۰۰۲) به‌ترتیب با علایم  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند استفاده شد. به همین منظور، به نمونه‌برداری صحرایی در ۱۴۰ نقطه از حوضه آبخیز شازند با مساحت ۱۷۴۰ کیلومتر مربع اقدام شد. حوضه آبخیز شازند خاک آهکی با ماده آلی کم و بافت متوسط دارد. در ادامه، آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه برای تحلیل نتایج  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  تحت تأثیر طبقات مختلف شیب و ارتفاع و کاربری‌های مختلف اراضی و روش کریجینگ برای تهیه الگوی مکانی آنها به‌کار گرفته شد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل واریانس یک‌طرفه بیان‌کننده اختلاف معنادار  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  تحت تأثیر طبقات شیب و ارتفاع ( $P < 0/05$ ) و نبود اختلاف معنادار آنها تحت تأثیر کاربری اراضی ( $P \geq 0/318$ ) بود. همچنین، میانگین عامل فرسایش‌پذیری خاک برای سه رابطه یادشده به‌ترتیب برابر با  $0/054$ ،  $0/039$  و  $0/035$   $t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$  محاسبه شد.

کلیدواژگان: تخریب خاک، خاک‌های آهکی، فرسایش‌پذیری، مقیاس حوضه آبخیز.

## مقدمه

تخریب خاک و گیاهان می‌تواند به میزان درخور توجهی به کاهش عملکرد بوم‌سازگان منجر شود و تأثیر نامطلوبی بر تنوع زیستی، بیابان‌زایی و کیفیت منابع آب داشته باشد [۱-۳]. بدون شک فرسایش خاک، فرایند گسترده‌ای از تخریب زمین به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک در سراسر جهان است [۴-۸]. مدل‌سازی عملکرد بوم‌سازگان در مقیاس حوضه آبخیز برای ارزیابی و مدیریت منابع زمین اهمیت زیادی دارد. هدررفت خاک توسط فرسایش، پدیده‌ای مداوم است که سبب آسیب جدی و تهدید پایداری منابع طبیعی به‌خصوص در نواحی نیمه‌خشک می‌شود. توصیف کمی و کیفی ارزیابی خطر تخریب زمین در مقیاس حوضه آبخیز به در دسترس بودن اطلاعات مکانی و داده‌های عرصه‌ای بوم‌سازگان وابسته است. به همین منظور، معادله جهانی اصلاح‌شده فرسایش خاک<sup>۱</sup> [۹] و [۱۰] می‌تواند به‌عنوان سامانه ارزیابی تخریب زمین از دیدگاه فرسایش خاک با توجه به تلفیق عواملی مانند آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی و معرفی روش کمی برای اقدامات حفاظتی کشاورزی و زیست‌محیطی به منظور حفظ منابع طبیعی مطرح شود.

در دهه‌های اخیر RUSLE، سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۲</sup> و روش زمین‌آمار به‌طور گسترده در جمع‌آوری، ذخیره و نمایش داده‌های مکانی در مقیاس‌های بزرگ استفاده شده‌اند [۱۱-۱۵]. به‌خصوص ارزیابی توزیع مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌سبب تعامل زیاد با متغیرهای آب و هوا، پوشش گیاهی و توپوگرافی و به‌دلیل تأثیرپذیری از ویژگی‌های ذاتی خاک در زمین‌آمار حساسیت زیادی دارد [۱۶]. در این زمینه پژوهش‌هایی توسط وانگ و همکارانش [۱۶] برای برآورد مکانی و تحلیل عدم قطعیت عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از نمودار ارائه‌شده توسط ویشمایر و اسمیت در سال ۱۹۷۸ با استفاده از روش گوسی انجام شد. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده تولید نقشه فرسایش‌پذیری خاک با توانایی قابل قبول برای تعیین میزان مشکلات ناشی از تخریب زمین و ارائه راه‌کارهای مناسب برای استفاده از زمین بود. همچنین، پژوهش‌های دیگری توسط پاریسو و همکارانش

[۱۷] و بونیلا و جانسون [۱۸] برای تهیه نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌همراه برخی ویژگی‌های دیگر خاک برای پیش‌بینی حساسیت زمین به تخریب انجام شد. فو و همکارانش [۱۹] خطر فرسایش خاک را با استفاده از عامل فرسایش‌پذیری خاک ارائه‌شده توسط رومکنز و همکارانش (۱۹۸۶) و GIS ارزیابی کردند. پرز-رودریگز و همکارانش [۲۰] ارزیابی تغییرات مکانی متغیرهای عامل فرسایش‌پذیری خاک را با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ انجام دادند. اوزکان و همکارانش [۱۳] از روش‌های USLE و GIS با استفاده از زمین‌آمار برای ارزیابی خطر فرسایش خاک بهره بردند و تأثیر استفاده از کاربری‌های مختلف اراضی بر تخریب زمین در یک منطقه نیمه‌خشک در ترکیه را بررسی کردند. همچنین، باسکان و دنگیز [۲۱] از روش دستی و زمین‌آمار برای تهیه عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز Sogulca در ترکیه استفاده کردند. نتایج همه پژوهش‌های بیان‌شده افزایش دقت نقشه تهیه‌شده با دخالت دیگر ویژگی‌های خاک و استفاده از روش زمین‌آمار را نشان می‌دهد. در سال‌های اخیر نیز وانگ و همکارانش [۲۲] عامل فرسایش‌پذیری خاک را با استفاده از معادله‌های ارائه‌شده توسط ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸)، رومکنز و همکارانش (۱۹۸۶) و شارپلی و ویلیامز (۱۹۹۰) در شرق چین و براساس داده‌های پایگاه اطلاعاتی فرسایش‌پذیری خاک چین محاسبه کردند. نتایج پژوهش آنها بیان‌کننده استفاده مطمئن رابطه ارائه‌شده توسط ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸) و رومکنز و همکارانش (۱۹۸۶) برای خاک‌های لسی و سیاه در چین بود. همچنین، در سال‌های اخیر پیری و همکارانش [۲۳]، اوکرافور و همکارانش [۲۴] و مولنگرا و پیتون [۲۵] در کشورهای مختلف جهان برای تعیین میزان خطر فرسایش از عامل فرسایش‌پذیری خاک و نقشه تغییرات الگوی مکانی آن در مناطق مختلف مطالعاتی استفاده کرده‌اند و بر مناطق در خطر اولویت با خطر بیشتر را مشخص کرده و بر اعمال روش‌های مدیریتی تأکید داشته‌اند. در ایران نیز طی سال‌های اخیر پژوهش‌هایی همچون واعظی و همکارانش [۲۶-۲۸]، زندی و همکارانش [۲۹]، شبانی و همکارانش [۳۰] و استواری و همکارانش [۳۱] به محاسبه و ارزیابی یا توسعه و بهینه‌سازی عامل فرسایش‌پذیری خاک در مناطق مختلف ایران از جمله مناطق نیمه‌خشک و در

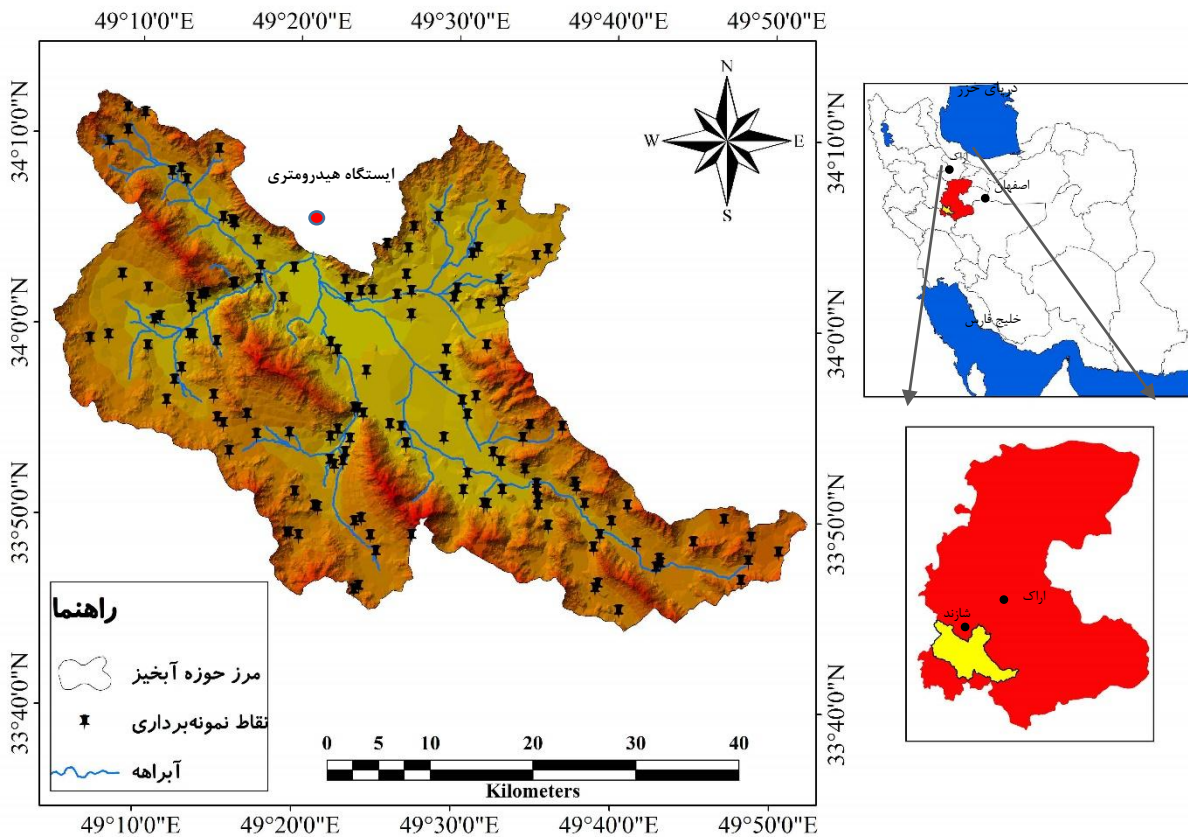
1. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)  
2. Geographic Information Systems (GIS)

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز شازند با مساحتی حدود ۱۷۴۰ کیلومتر مربع و در محدوده مختصات جغرافیایی  $49^{\circ} 4' 15''$  تا  $49^{\circ} 52' 12''$  طول شرقی و  $33^{\circ} 42' 42''$  تا  $34^{\circ} 12' 13''$  عرض شمالی، یکی از زیرحوضه‌های دریاچه نمک واقع در استان مرکزی است (شکل ۱). ۵۰/۱۵ درصد از کل مساحت حوضه آبخیز شازند کوهستانی و ۴۴/۸۵ درصد آن را رسوبات آبرفتی تشکیل می‌دهد. اختلاف ارتفاع در حوضه آبخیز یادشده از ۱۸۰۰ متر تا ۳۳۰۰ متر بالاتر از سطح متوسط دریا بوده و بیش از ۹۰ درصد از سازندهای زمین‌شناسی آن متعلق به دوره دوم و سوم زمین‌شناسی است. همچنین، دارای متوسط باران سالانه ۴۳۰ میلی‌متر بوده که بیشتر در فصل پاییز، زمستان و بهار رخ می‌دهد. خاک منطقه بافت لوم رسی با میزان مواد آلی بسیار کم (حدود یک درصد) و بیشتر آهکی دارد [۳۲ و ۳۳].

خاک‌های با بافت‌های مختلف و گاه آهکی پرداخته‌اند. بررسی پیشینه پژوهش نشان داد عملکرد هرگونه مدل محاسباتی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌طور عمده به متغیرهای تبدالی فیزیکی، شیمیایی و زیستی خاک در بوم‌سازگان متکی است. بنابراین، سه رابطه مختلف ارائه‌شده از عامل فرسایش‌پذیری خاک توسط ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸)، رومکنز و همکارانش (۱۹۸۶) و توری و همکارانش (۱۹۹۷ و ۲۰۰۲) با توجه به توانایی آنها در نمایان‌ساختن ویژگی‌های زمین و مرتبط با تخریب زمین برای در حوضه آبخیز شازند و با توجه به نبود پژوهش مستندی در این زمینه برای ارزیابی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز یادشده و با توجه به اندازه‌گیری و موجودیت ۱۴۰ نمونه خاک برداشت‌شده از منطقه مطالعه‌شده تحت تأثیر طبقات شیب، ارتفاع و کاربری‌های مختلف اراضی بررسی شد.



شکل ۱. موقعیت حوضه آبخیز شازند در ایران و استان مرکزی

ویشمایر و اسمیت [۹] بود که در آن  $K_1$  عامل فرسایش پذیری خاک ( $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ )،  $M$  قطر ذره (درصد سیلت + درصد ماسه)  $\times$  (درصد رس - ۱۰۰)،  $OM$  درصد ماده آلی،  $S$  کد مربوط به ساختمان خاک و  $P$  طبقه نفوذپذیری خاک است.

$$K_1 = \frac{2/1 \times 10^{-4} (12 - OM) M^{1/4} + 3/25 (S - 2) + 2/5 (P - 3)}{7/59 \times 100} \quad (1)$$

رابطه ۲ توسط رومکنز و همکارانش [۴۳] برای محاسبه عامل فرسایش پذیری خاک در معادله RUSLE استفاده شد. معادله به دست آمده حاصل ۲۲۵ داده جهانی خاک با مقادیر  $0/0034$ ،  $0/0405$ ،  $0/659$  و  $0/7101$  به ترتیب برای پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\chi$  و  $\gamma$  است که پس از جمع آوری و طبقه بندی خاکها به طبقات بافتی با ضریب تبیین  $0/983$  ارائه شد. در رابطه یاد شده  $K_2$  عامل فرسایش پذیری خاک ( $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ) و  $D_g$  میانگین هندسی قطر ذرات بر حسب میلی متر مستخرج از رابطه ۳،  $f_i$  اندازه ذرات به درصد و  $m_i$  میانگین حسابی ذرات بر حسب میلی متر است.

$$K_r = \left\{ \alpha + \beta \exp \left( -\frac{1}{\gamma} \left( \frac{\log(D_g) + \chi}{\gamma} \right)^2 \right) \right\} \quad (2)$$

$$D_g = \exp \left( 0/01 \sum f_i \ln m_i \right) \quad (3)$$

سومین رابطه استفاده شده در پژوهش حاضر برای برآورد عامل فرسایش پذیری خاک توسط توری و همکارانش [۴۴ و ۴۵] و به شرح مندرج در رابطه ۴ ارائه شده است که در آن  $K_3$  عامل فرسایش پذیری خاک ( $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ) و  $D_G$  لگاریتم میانگین هندسی قطر ذرات،  $OM$  درصد ماده آلی و  $C$  درصد رس (رابطه ۵)،  $f_i$  اندازه ذرات به درصد،  $d_i$  بزرگترین قطر طبقه  $i$ -ام بر حسب میلی متر و  $d_{i-1}$  کوچکترین قطر  $i$ -ام بر حسب میلی متر است.

$$K_r = 0/0293 (0/65 - D_G + 0/24 D_G^2) \times \exp \left\{ -0/0021 \frac{OM}{C} - 0/00037 \left( \frac{OM}{C} \right)^2 - 4/02C + 1/72C^2 \right\} \quad (4)$$

$$D_G = \sum f_i \log_{10} \left( \sqrt{d_i d_{i-1}} \right) \quad (5)$$

### نمونه برداری خاک

نمونه برداری تصادفی خاک بر اساس طبقه بندی منطقه مطالعه شده به واحدهای همگن<sup>۱</sup> انجام شد. برای تهیه واحدهای همگن از نقشه طبقات شیب، کاربری اراضی و بافت خاک و روش روی هم گذاری در محیط Arc GIS 10.3 استفاده شد. در نهایت، ۲۷ واحد همگن با مساحت پلی گون های بیش از یک کیلومتر مربع به دلیل مدیریت زمان نمونه برداری و هزینه های آن، با کدهای مشخص از روی هم گذاری نقشه های یاد شده به دست آمد. در نهایت، ۱۴۰ نمونه با حضور در حوضه آبخیز سازند و برداشت نمونه خاک به صورت تصادفی در واحدهای همگن از پیش تعیین شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی متری در اواخر آبان ۱۳۹۶ طی پنج روز در کاربری های مرتع برداشت شد. سپس، نمونه خاک های برداشت شده از بوم سازگان مختلف حوضه آبخیز سازند، پس از هوا خشک شدن، از الک دو میلی متری عبور داده شدند و متغیرهایی مانند کربن آلی خاک با روش والکی بلاک [۳۴]، pH و هدایت الکتریکی با نسبت یک به پنج خاک به آب [۳۵]، جرم مخصوص ظاهری به روش پارافین [۳۶]، نیتروژن با استفاده از کج لدا [۳۷] و کربنات کلسیم معادل به روش کلسیمتری [۳۸] به دست آمد. همچنین، اطلاعات نفوذ پذیری خاک با توجه به اطلاعات ۱۴ نقطه برداشت شده در کاربری های مختلف بخشی از حوضه آبخیز سازند [۳۹] و همچنین کدهای نفوذ پذیری و ساختمان خاک [۴۰] نمونه های خاک برداشت شده مشخص شد.

### معادله های عامل فرسایش پذیری خاک استفاده شده

فرسایش پذیری خاک بیان کننده حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آنها به وسیله نیروی رواناب را نشان می دهد. برای تعیین عامل فرسایش پذیری خاک در حوضه آبخیز سازند سه معادله ارائه شده توسط محققان مختلف برای شیبها، ارتفاع و کاربری های مختلف [۱۸، ۴۱ و ۲۲] برای حوضه آبخیز سازند محاسبه و مقایسه شدند.

اولین روش برآورد عامل فرسایش پذیری خاک به شرح رابطه ۱ ارائه شده توسط ویشمایر و همکارانش [۴۲] و

1. Land Unit Tracts (LUT)

### تحلیل‌های آماری و ویژگی‌های مختلف خاک

پس از اندازه‌گیری متغیرهای مختلف نمونه‌های خاک برداشت‌شده از سطح حوضه آبخیز شازند، بانک اطلاعاتی آنها در Excel تهیه شد. سپس، آماره‌های توصیفی برای کل داده‌ها محاسبه شد. همچنین، در محیط نرم‌افزار IBM SPSS Statistics 25 از آزمون‌های همگنی واریانس Levene و کلموگراف-اسمیرنوف به ترتیب به منظور بررسی همگنی واریانس تیمارهای مختلف و نرمال‌بودن داده‌ها استفاده شد. پس از دستیابی به شرایط استاندارد، از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه<sup>۱</sup> برای تحلیل داده‌ها استفاده شد [۴۶].

### تهیه الگوی مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک با روش کریجینگ

روش کریجینگ برای برآورد متغیرهای مکانی کاربرد داشته و به‌عنوان یک تابع خطی از مجموعه مشاهدات توزیع‌شده واقع در همسایگی نقطه‌ای است که برآورد خواهد شد. در حقیقت هدف از کریجینگ، یافتن وزن‌های آماری نمونه‌ها به گونه‌ای است که واریانس برآورد به حداقل رسیده و مجموعه نمونه‌ها به گونه‌ای وزن آماری داده می‌شوند که ترکیب خطی آنها ناریب شود [۱۳] و [۱۴]. به همین منظور و با توجه به پیشینه پژوهش ارائه‌شده، نقشه‌های الگوی مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط ۱، ۲ و ۴ در حوضه آبخیز شازند با استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ تهیه شدند که بر پایه نظریه متغیر مکانی هستند.

### نتایج و بحث

#### نتایج به‌دست‌آمده از آماره‌های توصیفی

پژوهش حاضر با هدف تحلیل تخریب زمین و با استفاده از عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند انجام شد. بعد از برداشت نمونه‌های خاک از واحدهای همگن بوم‌سازگان مرتعی و انجام تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی، متغیرهای مهم و اثرگذار در عامل فرسایش‌پذیری خاک اندازه‌گیری شد که نتایج به‌دست‌آمده از آماره‌های توصیفی آنها در جدول ۱ ارائه شده است.

دقت در جدول ۱ نشان‌دهنده آهکی‌بودن خاک با

مقدار متوسط کربنات کلسیم برابر با ۲۸/۲۰ درصد و ماده آلی کم برابر با ۱/۰۵ درصد و بافت متوسط است. همچنین، آماره‌های توصیفی نشان‌دهنده مقدار میانگین و انحراف معیار به ترتیب برابر با  $0.15 \pm 0.054$ ،  $0.07 \pm 0.039$  و  $0.005 \pm 0.035$  بر حسب  $\text{t ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1}$   $\text{mm}^{-1}$  برای  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  بود. علاوه بر آن، ضریب تغییرات به‌دست‌آمده برای  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  به ترتیب برابر ۰/۱۳۶، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۰۰ درصد بود که بیان‌کننده حد قابل قبول از ضریب تغییرات برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک توسط سه رابطه یادشده است که با نتایج سایگین و همکارانش [۱۴] مبنی بر گزارش حداکثر ضریب تغییرات مورد قبول برای عامل فرسایش‌پذیری خاک حدود ۰/۳۱ درصد، مطابقت دارد. به همین منظور، نتایج به‌دست‌آمده از انجام تحلیل واریانس یک‌طرفه و گروه‌بندی آنها با آزمون حداقل اختلاف معنادار<sup>۲</sup> نشان‌دهنده نبود اختلاف معنادار ( $P = 0.94$ ) بین  $K_2$  با  $K_3$  و اختلاف معنادار ( $P = 0.00$ ) بین  $K_1$  با  $K_2$  و  $K_3$  بود که می‌تواند به‌دلیل ماهیت روابط محاسباتی مربوط به  $K_2$  و  $K_3$  و شباهت در متغیرهای استفاده‌شده در محاسبه آنها باشد. همچنین، می‌توان گفت که مقادیر به‌دست‌آمده از رابطه  $K_1$  به‌دلیل در نظر گرفتن متغیرهای هدایت هیدرولیکی و طبقات ساختمان خاک، اختلاف معناداری با مقادیر  $K_2$  و  $K_3$  را نشان داد [۲۲].

### تحلیل اثر متغیرهای توپوگرافی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل واریانس یک‌طرفه عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روابط محاسباتی ۱، ۲ و ۴ تحت تأثیر متغیرهای توپوگرافی مانند طبقات مختلف شیب و ارتفاع در حوضه آبخیز شازند و نتایج به‌دست‌آمده از گروه‌بندی آنها در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

جدول ۲ بیان‌کننده اختلاف معنادار ( $P \leq 0.048$ ) عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط ۱، ۲ و ۴ تحت تأثیر طبقات شیب و ارتفاع است. به همین منظور، نتایج گروه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط یادشده تحت تأثیر طبقات مختلف شیب نشان داد حداقل و حداکثر مقدار متوسط  $K_2$  به ترتیب در شیب ۵ تا ۱۵ درصد

2. Least Significant Difference (LSD)

1. One-way ANOVA

حداکثر مقدار متوسط  $K_3$  برای شیب‌های ۱۵ تا ۲۰ درصد به‌دست آمد و بین بقیه طبقات شیب (صفر تا پنج، پنج تا ۱۵ و بیشتر از ۲۰ درصد) اختلاف معناداری ( $P > 0.05$ ) مشاهده نشد و بنابراین آنها در یک گروه قرار گرفتند.

و بیشتر از ۲۰ درصد که اختلاف معنادار ( $P = 0.00$ ) نیز دارند، رخ داده است. اما حداکثر و حداقل مقدار متوسط  $K_1$  برای شیب‌های بیشتر از ۱۵ درصد و کمتر از آن مشاهده شد که در دو گروه متفاوت نیز طبقه‌بندی شدند. در ادامه،

جدول ۱. آماره‌های توصیفی متغیرهای مختلف خاک اندازه‌گیری شده در حوضه آبخیز سازند

آماره توصیفی	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	ماده آلی (درصد)	کربنات کلسیم معادل (درصد)	$K_1$ ( $\text{mm}^{-1}$ )	$K_2$ ( $\text{MJ}^{-1}$ )	$K_3$ ( $\text{t ha h ha}^{-1}$ )
حداقل	۱۹/۴۰	۸/۴۸	۱/۸۰	۰/۱۰	۵/۷۵	۰/۰۲۸	۰/۰۰۸	۰/۰۲۵
حداکثر	۸۸/۲۰	۵۸/۴۰	۴۷/۸۰	۲/۲۴	۵۵/۰۰	۰/۱۱۱	۰/۰۴۴	۰/۰۵۲
میانگین	۳۸/۵۲	۳۲/۶۵	۲۸/۸۳	۱/۰۵	۲۸/۲۰	۰/۰۵۴	۰/۰۳۹	۰/۰۳۵
انحراف معیار	۱۳/۴۰	۱۰/۵۰	۹/۱۰	۰/۴۸	۱۱/۱۰	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵
ضریب تغییرات (درصد)	۳۴/۷۸	۳۲/۱۷	۳۱/۵۷	۴۵/۸۹	۳۹/۳۷	۰/۱۳۶	۰/۱۵۸	۰/۱۰۰

جدول ۲. نتایج به‌دست آمده از تحلیل واریانس یک‌طرفه عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست آمده از روابط ۱، ۲ و ۴ تحت تأثیر طبقات شیب، ارتفاع و کاربری‌های مختلف اراضی در حوضه آبخیز سازند

عامل‌ها	عامل فرسایش‌پذیری	درجه آزادی کل	میانگین مربعات خطا		آماره F	سطح معناداری
			بین‌گروهی	درون‌گروهی		
شیب (درصد)	$K_1$	۱۳۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۲/۸۵۲	۰/۰۴۰*
	$K_2$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۶۹۰	۰/۰۱۷*
	$K_3$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۴۶۸	۰/۰۴۵*
ارتفاع (متر)	$K_1$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۰۸۹	۰/۰۱۵*
	$K_2$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۳/۵۷۷	۰/۰۱۶*
	$K_3$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۲/۳۲۳	۰/۰۴۸*
کاربری اراضی	$K_1$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۱/۱۹۱	۰/۳۱۸
	$K_2$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۲۲	۰/۶۴۷
	$K_3$	۱۳۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۸۴۵	۰/۴۹۹

جدول ۳. نتایج به‌دست آمده از گروه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست آمده از روابط ۱، ۲ و ۴ با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنادار (LSD) در حوضه آبخیز سازند

مؤلفه	عامل	انحراف معیار $\pm$ میانگین $K_1$	انحراف معیار $\pm$ میانگین $K_2$	انحراف معیار $\pm$ میانگین $K_3$
شیب (درصد)	۵-۰	۰/۰۵۳ A $\pm$ ۰/۰۱۶	۰/۰۳۸ AB $\pm$ ۰/۰۰۷	۰/۰۳۵ A $\pm$ ۰/۰۰۴
	۱۵-۵	۰/۰۵۲ A $\pm$ ۰/۰۱۲	۰/۰۳۹ A $\pm$ ۰/۰۰۵	۰/۰۳۴ A $\pm$ ۰/۰۰۵
	۲۰-۱۵	۰/۰۶۴ B $\pm$ ۰/۰۱۵	۰/۰۳۶ AB $\pm$ ۰/۰۰۸	۰/۰۴۱ B $\pm$ ۰/۰۰۸
	۲۰<	۰/۰۶۲ B $\pm$ ۰/۰۱۸	۰/۰۳۵ B $\pm$ ۰/۰۱۱	۰/۰۳۶ A $\pm$ ۰/۰۰۴
ارتفاع (متر)	۱۹۰۰-۱۸۰۰	۰/۰۶۳ A $\pm$ ۰/۰۱۶	۰/۰۳۵ A $\pm$ ۰/۰۰۹	۰/۰۳۷ A $\pm$ ۰/۰۰۴
	۲۰۰۰-۱۹۰۰	۰/۰۵۲ B $\pm$ ۰/۰۱۵	۰/۰۳۸ AB $\pm$ ۰/۰۰۷	۰/۰۳۴ B $\pm$ ۰/۰۰۴
	۲۲۰۰-۲۰۰۰	۰/۰۵۲ B $\pm$ ۰/۰۱۲	۰/۰۴۰ B $\pm$ ۰/۰۰۳	۰/۰۳۶ AB $\pm$ ۰/۰۰۵
	۲۲۰۰<	۰/۰۵۳ B $\pm$ ۰/۰۱۵	۰/۰۳۸ AB $\pm$ ۰/۰۰۷	۰/۰۳۵ AB $\pm$ ۰/۰۰۵
کاربری اراضی	کشاورزی آبی	۰/۰۵۴ A $\pm$ ۰/۰۱۴	۰/۰۳۸ A $\pm$ ۰/۰۰۶	۰/۰۳۵ A $\pm$ ۰/۰۰۵
	کشاورزی دیم	۰/۰۵۳ A $\pm$ ۰/۰۱۶	۰/۰۳۸ A $\pm$ ۰/۰۰۸	۰/۰۳۵ A $\pm$ ۰/۰۰۵
	باغ	۰/۰۴۶ A $\pm$ ۰/۰۱۱	۰/۰۴۰ A $\pm$ ۰/۰۰۵	۰/۰۳۳ A $\pm$ ۰/۰۰۲
	مرتع	۰/۰۵۵ A $\pm$ ۰/۰۱۶	۰/۰۳۸ A $\pm$ ۰/۰۰۶	۰/۰۳۵ A $\pm$ ۰/۰۰۵

داودی‌راد و همکارانش [۴۷] به‌طور کلی حدود ۸۳/۲۹ درصد مساحت حوضه آبخیز شازند را شامل می‌شوند، در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. دقت در نتایج جدول ۲ بیان‌کننده نبود اختلاف معنادار ( $P \geq 0/318$ ) عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط ۱، ۲ و ۴ در کاربری‌های مختلف است. به‌گونه‌ای که نتایج به‌دست‌آمده از آزمون حداقل اختلاف معنادار (LSD) نیز کاربری‌های مختلف اراضی در  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  را در یک گروه مشابه قرار داد.

عدم تأثیرپذیری  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  از کاربری‌های مختلف اراضی می‌تواند به‌دلیل عدم تأثیرپذیری متغیرهای مختلف خاک مانند درصد ماسه، سیلت و رس و ماده آلی خاک از کاربری‌های مختلف اراضی باشد که در پژوهش کیانی‌هرچگانی و همکارانش [۳۲] در حوضه آبخیز شازند به آن اشاره شده است. اما تأثیرپذیری  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  از عوامل توپوگرافی مانند طبقات مختلف شیب و ارتفاع می‌تواند به‌دلیل اثر شیب و ارتفاع در ایجاد میکرواقليم‌های کوچک متأثر از رطوبت نسبی، دما، نور خورشید و الگوی بارش باشد که با نتایج تسوی و همکارانش [۴۸]، دسالگن و همکارانش [۴۹] و رزماری و همکارانش [۵۰] درباره ایجاد میکرواقليم و تغییرپذیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از عوامل توپوگرافی مطابقت دارد. به همین منظور، بسیاری از محققان به تغییرپذیری زمانی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دلیل تأثیرپذیری متغیرهای اثرگذار خاک از تغییرات آب و هوایی، دخالت‌های انسانی و شرایط رطوبتی در ایام مختلف سال اشاره کرده‌اند، بنابراین برای جمع‌بندی جامع درباره استفاده از روابط مختلف محاسباتی عامل فرسایش‌پذیری خاک و بررسی تغییرات زمانی و همچنین مکانی آن نمونه‌برداری صحرائی در ایام دیگر سال پیشنهاد می‌شود. همان‌طور که نتایج نیز نشان داد، به‌دلیل نبود اختلاف معنادار ( $P > 0/05$ ) عامل فرسایش‌پذیری خاک در کاربری‌های مختلف اراضی حوضه آبخیز شازند، تفاوتی در نوع استفاده از روابط ۱، ۲ و ۴ مشاهده نشد. به این منظور، پژوهشی توسط صادقی و همکارانش [۵۱] در حوضه آبخیز خسیجان واقع در استان مرکزی انجام شد که عامل فرسایش‌پذیری خاک را در مقیاس زمانی رگبار و در پلات  $0/039 \text{ MJ}^{-1} \text{ ha h}$   $1 \text{ mm}^{-1}$  به‌دست آوردند که می‌تواند در تحلیل‌ها و تصمیم‌سازی نهایی به مدیران در انتخاب هر یک از سه

نتایج گروه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط محاسباتی ۱، ۲ و ۴ تحت تأثیر طبقات مختلف ارتفاع نیز نشان داد حداکثر مقدار متوسط  $K_2$  در طبقه ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر و برای  $K_1$  و  $K_3$  در طبقه ۱۸۰۰ تا ۱۹۰۰ متر به‌ترتیب برابر با  $0/040$ ،  $0/063$  و  $0/037$   $\text{ha h}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  مشاهده شد. به‌طور کلی، با وجود تفاوت در حداکثر مقدار متوسط عامل فرسایش‌پذیری خاک در روابط  $K_1$  و  $K_3$  تحت تأثیر شیب و ارتفاع آنها رفتار مشابهی داشتند. در صورتی که مقدار متوسط عامل فرسایش‌پذیری خاک در رابطه  $K_2$  رفتار متفاوتی نسبت به آنها داشت. به‌گونه‌ای که نقشه الگوی مکانی تهیه‌شده از عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از سه رابطه یادشده و با استفاده از روش کریجینگ با میانگین خطای استاندارد قابل قبول به‌ترتیب  $0/003$ ،  $0/001$  و  $0/002$  در شکل ۲ نیز مؤید مطلب یادشده است. در ضمن، حداکثر توزیع عامل فرسایش‌پذیری خاک محاسبه‌شده توسط  $K_1$  و  $K_3$  در زیرحوضه ۴ و ۹ مشاهده می‌شود که بیان‌کننده احتمال خطر فرسایش و تخریب زمین بیشتر نسبت به زیرحوضه‌های دیگر حوضه آبخیز شازند است که با نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش صادقی و همکارانش [۳۳] درباره سالم‌نبودن حوضه آبخیز شازند در زیرحوضه‌های یادشده مطابقت دارد. آنها سلامت حوضه آبخیز شازند را در زیرحوضه‌های مختلف با استفاده مدل RRV<sup>۱</sup> و متأثر از فعالیت‌های انسانی، اقلیمی و هیدرولوژیکی طی دوره‌های مختلف بررسی کردند و بیان داشتند که مطابق مدل یادشده و بررسی اثر عوامل بیان‌شده، زیرحوضه ۴ و ۵ حوضه آبخیز شازند، ناسالم است. در صورتی که عامل فرسایش‌پذیری خاک محاسبه‌شده توسط  $K_2$  حداقل مقدار متوسط عامل فرسایش‌پذیری خاک در این زیرحوضه‌ها را نشان داد. همچنین، در پژوهش یادشده زیرحوضه‌های ۱، ۱۹، ۲۰، ۲۱ و ۲۳ ناسالم تشخیص داده شد که در نقشه به‌دست‌آمده از الگوی مکانی رابطه  $K_2$  دارای حداکثر مقدار فرسایش‌پذیری خاک هستند.

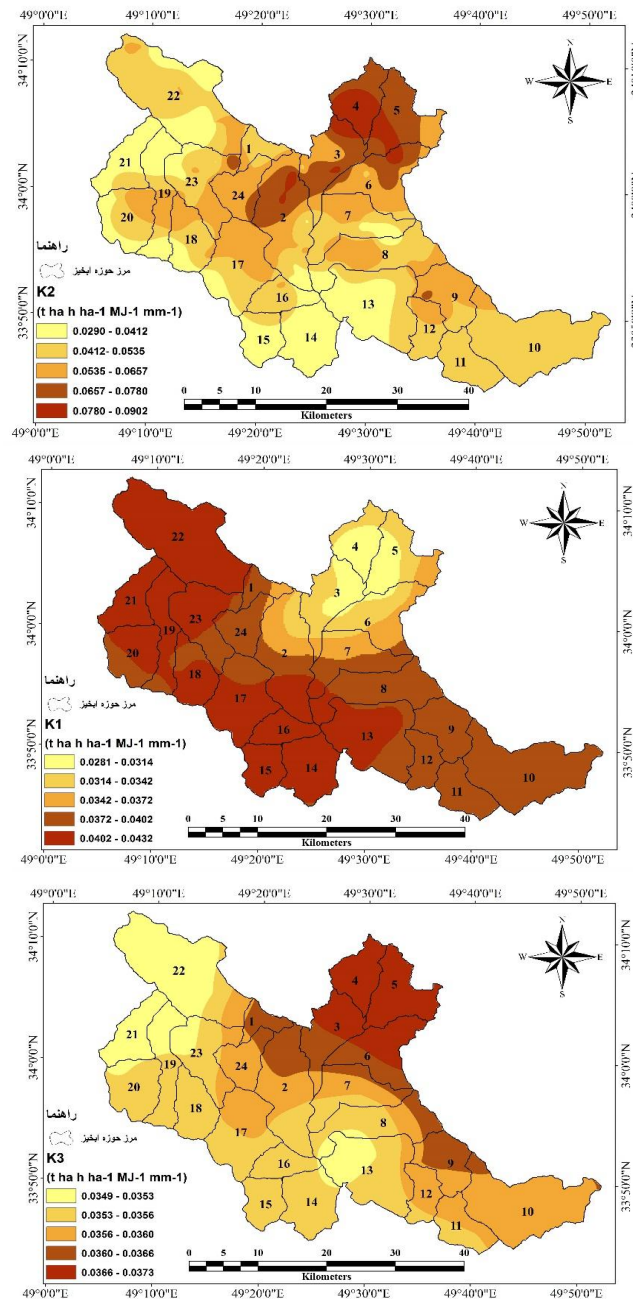
#### تحلیل اثر کاربری‌های مختلف اراضی بر عامل فرسایش‌پذیری خاک

نتایج بررسی اثر کاربری‌های مختلف اراضی شامل کشاورزی آبی، دیم، باغ و مرتع که بر اساس اطلاعات ارائه‌شده توسط

1. Reliability, Resilience and Vulnerability (RRV)

است، باید دقت کرد که این روابط برای مناطق با خاک‌های غیر آهکی ارائه شده‌اند [۲۶] و از آنجا که در خاک‌های آهکی، آهک موجود در پایداری ساختمان و نفوذپذیری خاک مؤثر است، می‌تواند در فرسایش‌پذیری خاک نقش مهمی داشته باشد. بنابراین، واسنجی و اعتبارسنجی روابط موجود برای استفاده در مناطق با خاک‌های آهکی تأکید می‌شود.

روش یادشده برای محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک کمک کند. ولی در شیب‌ها و ارتفاع‌های مختلف، مقادیر عامل فرسایش‌پذیری خاک متفاوت است که پیشنهاد می‌شود پژوهشگران با توجه به نتایج ارائه‌شده در جدول ۳ اقدام کنند و تصمیم‌های مدیریتی لازم را به کار گیرند. همچنین، برای استفاده از روابط ارائه‌شده برای مناطق با خاک‌های آهکی طبق پژوهش‌هایی که انجام پذیرفته



شکل ۲. نقشه‌های الگوی مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط ۱، ۲ و ۴ به ترتیب بالا، وسط و پایین در حوضه آبخیز شازند با استفاده از روش کریجینگ



## نتیجه‌گیری

گیرد. همچنین، با توجه به نقشه‌الگوی مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک می‌توان روش‌های مدیریتی مناسب و مؤثر در هر یک از زیرحوضه‌ها را مد نظر قرار داد. همچنین، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی با توجه به آهکی‌بودن منطقه مطالعه‌شده، مقادیر به‌دست‌آمده  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  با توجه به دیگر متغیرهای خاک مانند مقدار کربنات کلسیم، pH، هدایت الکتریکی و جرم مخصوص ظاهری خاک و با توجه به تأثیرپذیری آنها از عوامل شیب و ارتفاع، واسنجی و بررسی شود.

## قدردانی و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از حمایت‌های مادی و معنوی بنیاد ملی نخبگان (National Elites Foundation) در انجام طرح پژوهشی با شماره ۱۵/۹۰۱۸۶ طی دورهٔ سادکتری نویسندهٔ مسئول مقاله تشکر و قدردانی کنند.

## منابع

- [1]. MEA (Millennium Ecosystem Assessment). Ecosystems and human well-being: desertification synthesis. Washington: World Resource Institute. 2005.
- [2]. Kiani Harchegani M, Sadeghi SHR, Asadi H. Changeability of concentration and particle size distribution of effective sediment in initial and mature flow generation conditions under different slopes and rainfall intensities, J. Watershed Eng. Manag. 2017, 9(2): 205-2016.
- [3]. Kiani-Harchegani M, Sadeghi SHR, Asadi H. Comparing grain size distribution of sediment and original soil under raindrop detachment and raindrop-induced and flow transport mechanism, Hydrol. Sci. J. 2018, 63 (2), 312-323.
- [4]. Seager R, Ting M, Held MI, Kushnir Y, Lu J, Vecchi G, et al. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. Sci. 2007, 316: 1181-1184.
- [5]. Ravi S, Breshears DD, Huxman TE, D'Odoric P. Land degradation in drylands: Interactions among hydrologic-aeolian erosion and vegetation dynamics. Geomorph. 2009, 116(3-4): 236-245.
- [6]. Sommer S, Zucca C, Grainger A, Cherlet M, Zougmore R, Sokona Y, Hill J, Della R, Peruta Roehrig J, Wang G. Application of indicator systems for monitoring and assessment of desertification from national to global scales. Land Deg. Dev. 2011, 22(2): 184-197.

تعیین فرسایش‌پذیری خاک به‌عنوان متغیری مهم و اساسی برای برآورد فرسایش خاک، اقدامات حفاظتی و ارزیابی و تحلیل تخریب زمین و عوامل محیطی مؤثر بر فرسایش باید مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد. بنابراین، در سال‌های اخیر برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک در مقیاس‌های بزرگ ملی، منطقه‌ای و حوضه‌های آبخیز به‌صورت گسترده توسط پژوهشگران مختلف و با استفاده از روابط موجود و روش‌های زمین‌آمار بررسی شده است. به همین منظور، در پژوهش حاضر سه رابطهٔ مختلف ارائه‌شده از عامل فرسایش‌پذیری خاک توسط ویشمایر و اسمیت (۱۹۷۸)، رومکنز و همکارانش (۱۹۸۶) و توری و همکارانش (۱۹۹۷ و ۲۰۰۲) با توجه به توانایی آنها در نمایان‌ساختن ویژگی‌های زمین و مرتبط با تخریب زمین در حوضه آبخیز شازند و تحت تأثیر طبقات شیب، ارتفاع و کاربری‌های مختلف اراضی بررسی شده و الگوی مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌دست‌آمده از روابط یادشده با استفاده از روش کریجینگ تهیه شد. نتایج نشان‌دهندهٔ مقدار متوسط  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  به‌ترتیب برابر با  $0/054$ ،  $0/039$  و  $0/035$  در حوضه آبخیز شازند بود. همچنین، نتایج بیان‌کنندهٔ اختلاف معنادار  $K_1$ ،  $K_2$  و  $K_3$  تحت تأثیر طبقات شیب و ارتفاع و نبود اختلاف معنادار آنها تحت تأثیر کاربری اراضی بود. نقشه‌الگوی مکانی  $K_1$  و  $K_3$  به‌طور مشترک نشان‌دهندهٔ احتمال تخریب و خطر فرسایش زیاد در زیرحوضه‌های ۴ و ۵ حوضه آبخیز شازند بود، در صورتی که نقشه‌الگوی مکانی  $K_2$  احتمال تخریب و خطر فرسایش کم در زیرحوضه‌های یادشده را نشان می‌داد. با وجود این، نتایج بیان‌کنندهٔ نبود اختلاف معنادار ( $P = 0/094$ ) بین  $K_2$  با  $K_3$  و اختلاف معنادار ( $P = 0/00$ ) بین  $K_1$  با  $K_2$  و  $K_3$  بود که می‌تواند به‌دلیل ماهیت روابط محاسباتی مربوط به  $K_2$  و  $K_3$  و شباهت در متغیرهای استفاده‌شده در محاسبهٔ آنها باشد. بنابراین، براساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهش پیشنهاد می‌شود برای جمع‌بندی نهایی دربارهٔ استفاده از روابط ۱، ۲ و ۴ برای محاسبهٔ عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند، علاوه بر در نظر گرفتن متغیرهای پایه‌ای خاک مانند بافت خاک، مادهٔ آلی، نفوذپذیری و ساختمان خاک، عوامل تأثیرگذار بر عامل فرسایش‌پذیری خاک مانند شیب و ارتفاع نیز مد نظر قرار

- [7]. Wang G, Fang Q, Wu B, Yang H, Xu Z. Relationship between soil erodibility and modeled infiltration rate in different soils. *J. Hydrol.* 2015, 528: 408-418.
- [8]. Efthimiou N, Lykoudi E, Karavitis C. 2017, Comparative analysis of sediment yield estimations using different empirical soil erosion models. *Hydrol. Sci. J.* 2017, 62(16): 2674-2694.
- [9]. Wischmeier WH, Smith DD. Predicting rainfall erosion losses (No. 537). USDA Agricultural Service Handbook. 1978, Washington, D.C.
- [10]. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, McCool DK, Yoder DC. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation RUSLE (p. 404). U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook 703, Government Printing Office, SSOP, Washington, D.C., 1997, ISBN 0-16-048938-5.
- [11]. Wang G, Gertner G, Fang S, Anderson A.B. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogram. Eng. Remote Sens.* 2003, 69: 889-898.
- [12]. Lu DLG, Valladares GS, Batistella M. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: Using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Deg. Dev.* 2004, 15: 499-512.
- [13]. Ozcan AU, Erpul G, Basaran M, Erdogan HE. Use of USLE/GIS technology integrated with geostatistics to assess soil erosion risk in different land uses of Indagi Mountain Pass—Cankırı, Turkey. *Environmental Geology.* 2008, 53(8): 1731-1741.
- [14]. Saygın SD, Basaran M, Ozcan AU, Dolarslan M, Timur OB, Yilman FE, Erpul G. Land degradation assessment by geo-spatially modeling different soil erodibility equations in a semi-arid catchment. *Environ. Monitor. Asses.* 2011, 180(1-4): 201-215.
- [15]. Panagos P, Meusburger K, Ballabio C, Borrelli P, Alewell C. Soil erodibility in Europe: a high-resolution dataset based on LUCAS. *Sci. Total Environ.* 2014, 479: 189-200.
- [16]. Wang G, Gertner G, Liu X, Anderson A. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena.* 2001, 46: 1-14.
- [17]. Parysow P, Wang G, Gerther G, Anderson A. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. *Catena.* 2003, 53: 65-78.
- [18]. Bonilla CA, Johnson OI. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma.* 2012, 189: 116-123.
- [19]. Fu BJ, Zhao WW, Chen LD, Zhang QJ, Lü YH, Gulnick H, Poesen J. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. *Land Deg. Dev.* 2005, 16(1): 73-85.
- [20]. Pérez-Rodríguez R, Marques MJ, Bienes R. Spatial variability of the soil erodibility parameters and their relation with the soil map at subgroup level. *Sci. Total Environ.* 2007, 378(1-2): 166-173.
- [21]. Baskan O, Dengiz O. Comparison of traditional and geostatistical methods to estimate soil erodibility factor. *Arid land Res. Manag.* 2008, 22(1): 29-45.
- [22]. Wang B, Zheng F, Guan Y. Improved USLE-K factor prediction: A case study on water erosion areas in China. *Inter. Soil. Water Conserv. Res.* 2016, 4(3): 168-176.
- [23]. Pereira ECB, Lopes FB, Gomes FEF, de Almeida AMM, de Magalhães ACM, de Andrade, EM. Determining the soil erodibility for an experimental basin in the semi-arid region using geoprocessing. *Am. J. Plant Sci.* 2017, 8(12), 3174.
- [24]. Okorafor OO, Adeyemo AJ. Determination of soils erodibility factor (K) for selected sites in Imo State, Nigeria. *Resour. Environ.* 2018, 8(1): 6-13.
- [25]. Mulengera MK, Payton RW. Estimating the use-soil erodibility factor in developing tropical countries: a case study in Tanzania. *J. Engin. Tec.* 2008, 22(2).
- [26]. Vaezi A, Bahrami H, Sadeghi SHR, Mahdian M. A new nomograph for estimating erodibility factor (K) in some soils of the semi-arid regions in northwest of Iran, Water. *Soil Sci.* 2009, 13(49): 69-80. (In Persian)
- [27]. Vaezi AR, Sadeghi SHR, Bahrami HA, Mahdian MH. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. *Geomorph.* 2008, 97(3-4): 414-423.
- [28]. Vaezi AR, Hasanzadeh H, Cerdà A. Developing an erodibility triangle for soil textures in semi-arid regions, NW Iran. *Catena.* 2016, 142: (221-32-27).
- [29]. Zandi J, Habibnejad Roshan M, Solimani K. Soil erosion risk assessment and its relationship with some environmental parameters (Case study: Vazroud watershed, Mazandaran), Rang.

- Watershed Manag. 2013, 66(3): 401-415. (In Persian)
- [30]. Shabani F, Kumar L, Esmaeili A. Improvement to the prediction of the USLE K factor. *Geomorph.* 2014, 204: 229-234.
- [31]. Ostovari Y, Ghorbani-Dashtaki S, Bahrami HA, Abbasi M, Dematte AM, Arthur E, Panagos P. Towards prediction of soil erodibility, SOM and CaCO<sub>3</sub> using laboratory Vis-NIR spectra: A case study in a semi-arid region of Iran. *Geoderma.* 2018, 314: 102-112.
- [32]. Kiani-Harchegani M, Sadeghi SHR, Boor S. Comparative analysis of soil variables in different land uses of the Shazand watershed, Iran, The 9<sup>th</sup> international scientific agriculture symposium "AGROSYM 2018", 2018, 4-7 October, Jahorina, Bosnia and Herzegovina.
- [33]. Sadeghi SHR, Hazbavi Z, Gholamalifard M. Interactive impacts of climatic, hydrologic and anthropogenic activities on watershed health. *Sci. Total Environ.* 2019, 648: 880-893.
- [34]. Nelson DW, Sommers LE. Total carbon, organic carbon and organic matter, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Madison, USA, Soil Sci. Soc. Am. 1996, pp. 961-1010.
- [35]. Rhoades J.D. Salinity: electrical conductivity and total dissolved solids, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Soil Sci. Soc. Am. Madison, USA. 1996, pp. 417-436.
- [36]. Blake GR, Hartge KH. Bulk Density, in A. Klute, ed., *Methods of soil analysis, part I. physical and mineralogical methods: Agronomy Monograph.* 1986, no. 9 (2nd ed.), pp. 363-375.
- [37]. Bremner JM. Total Nitrogen, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of soil analysis. part 3 chemical methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Soil Sci. Soc. A. Madison, 1996, USA, pp. 1085-1122.
- [38]. Richard HL, Donald LS. Carbonate and gypsum, in: Sparks, D.L. (Ed.), *Methods of soil analysis. part 3 chemical methods*, SSSA Book Ser. 5. 3., Soil Science Society of America, Madison, USA, 1996, pp. 437-474.
- [39]. Agharazi H, Davudi Rad AA, Mardian M, Soofi M. Investigation of area slope threshold of gullies in the Zahirabad Watershed, Shazand, Markazi Province, *J. Watershed Eng. Manag.* 2014, 6(1): 1-9. (In Persian)
- [40]. Refahi, HGh. *Water erosion and conservation*, Tehran University Publication, 2009, 6: 671 p. (In Persian)
- [41]. Wang B, Zheng F, Römken MJ, Darboux F. Soil erodibility for water erosion: A perspective and Chinese experiences. *Geomorph.* 2013, 187: 1-10.
- [42]. Wischmeier WH, Johnson CB, Cross BV. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. *J. Soil. Water Conserv.* 1971, 26: 189-193.
- [43]. Romkens MJM, Prasad SN, Poesen, JWA. Soil erodibility and properties. In *Proc. 13<sup>th</sup> congree. International soil science society.* 1986, (Vol. 5, pp. 492-504). Germany: Hamburg.
- [44]. Torri D, Poesen J, Borselli L. Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. *Catena.* 1997, 31: 1-22.
- [45]. Torri D, Poesen J, Borselli L. Corrigendum to "Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset" [*Catena* 31 (1997) 1-22] and to "Erratum to Predictability and uncertainty of the soil erodibility factor using a global dataset. [*Catena* 32 (1998) 307-308]". *Catena*, 2002, 46: 309-310.
- [46]. Bayazidi A, Oladi B, Abbasi N. *Data analysis by SPSS (PASW) 18 software.* Abed Publication. 2009; 1: 250 p. (In Persian)
- [47]. Davudi Rad AA, Sadeghi SHR, Sadoddin A. Monitoring temporal and spatial changes in land use in the Shazand Watershed, *Ecohydrol.* 2016, 2(4): 405-415. (In Persian)
- [48]. Tsui CC, Chen ZS, Hsieh CF. Relationships between soil properties and slope positioning a low land rain forest of southern Taiwan. *Geoderm.*, 2004, 123: 131-142.
- [49]. Dessalegn D, Beyene S, Ram N, Walley F, Gala TS. Effects of topography and land use on soil characteristics along the toposequence of Ele watershed in southern Ethiopia. *Catena*, 2014, 115: 47-54.
- [50]. Rosemary F, Indraratne SP, Weerasooriya R, Mishra U. Exploring the spatial variability of soil properties in an Alfisol soil catena. *Catena.* 2017, 150, 53-61.
- [51]. Sadeghi S.H.R, Pourghasemi H.R, Mohamadi M, Agharazi H. Evaluation of Accuracy and Efficiency of USLE and Some of Its Versions in Estimation of Storm-Wise Soil Erosion and Sediment Yield, *J. Water. Soil Sci.* 2009, 12(46), 323-334.