

## برآورد عامل فرسایش پذیری خاک مدل USLE و ارتباط آن با برخی از ویژگی‌های زمین منظر در بخشی از حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه

کمال خسروی اقدم<sup>۱</sup>، حمید رضا ممتاز<sup>۲\*</sup>، فرخ اسدزاده<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۸/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰)

### چکیده

فرسایش پذیری خاک خصوصیتی پویاست که با زمان، رطوبت خاک، شخم، فعالیت حیوانات و فاکتورهای شیمیایی و زیستی تغییر می‌کند. در نتیجه تشدید فرسایش پذیری تهدیدی عمده برای پایداری و ظرفیت تولید زمین‌های کشاورزی محسوب می‌شود. این عامل که در مدل USLE به صورت فاکتور K یا عامل فرسایش پذیری نشان داده می‌شود، پارامتری اثرگذار در فرسایش آبی است و تابعی از توزیع اندازه ذرات، ماده آلی، ساختمان و نفوذپذیری است. در پژوهش حاضر توزیع مکانی مقدار فاکتور فرسایش پذیری مدل USLE، در بخشی از حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه با استفاده از زمین‌آمار مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، نمونه برداری از خاک با فواصل منظم یک کیلومتری و در ۶۴ نقطه انجام و بر اساس رابطه K در مدل USLE، مقدار آن محاسبه شد. نتایج نشان داد که مقدار عامل K در محدوده ۰/۰۷۹ - ۰/۰۲۹ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر متغیر است. تغییرات مکانی فاکتور K از مدل نمایی تبعیت نموده و استحکام فضایی متوسطی دارد. خاک‌های منطقه از نظر فرسایش پذیری در کلاس‌های فرسایش پذیری کم و خیلی کم قرار دارند. مقادیر کمی فرسایش پذیری در کلاس‌های شیب مختلف متفاوت بوده و حداکثر آن در کلاس شیب ۵ تا ۸ درصد که مربوط به کاربری دیم می‌باشند، مشاهده شد. همچنین مقادیر K در گروه‌های هیدرولوژیکی مختلف، متفاوت بوده و در گروه A کمترین مقدار و در گروه D بیشترین مقدار آن مشاهده شد. به نظر می‌رسد که مدیریت ناصحیح خاک در اراضی شیب‌دار و دیم، یکی از عوامل اصلی تخریب خاک و در نتیجه افزایش عامل فرسایش پذیری می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** زمین‌آمار، فرسایش خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، پهنه‌بندی

خسروی اقدم ک.، ممتاز ح.ر.، اسدزاده ف. ۱۳۹۸. برآورد عامل فرسایش پذیری خاک مدل USLE و ارتباط آن با برخی از ویژگی‌های زمین منظر در بخشی از حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۷ شماره ۱. ص: ۳۱-۴۳.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

۲- دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

\* پست الکترونیک مکاتبه کننده: [h.momtaz@urmia.ac.ir](mailto:h.momtaz@urmia.ac.ir)

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از عوامل مهم تخریب خاک در دنیا است (Wei *et al.*, 2008) که اثرات منفی شدیدی روی خاک‌ها دارد (Dorren *et al.*, 2004). این فرآیند اثرات غیرقابل بازگشتی در طول زمان بر روی خاک‌ها باقی می‌گذارد (Buttafuoco *et al.*, 2012). ون مرک و همکاران (Vanmaercke *et al.*, 2012) به نقل از عرب خدری و همکاران (Arabkhedri *et al.*, 2004)، مقدار رسوب سالانه ۱۲۳ حوزه واقع در نوار شمالی و غربی کشور را برابر با ۳۶۴۳ تن در هر کیلومتر مربع در سال گزارش نمودند. پدیده فرسایش خاک همراه با کاهش حاصلخیزی خاک، منجر به تخریب اکوسیستم‌های طبیعی مانند جنگل‌ها و مراتع می‌شود (Bayramin *et al.*, 2003). به همین خاطر، ممانعت از این خسارت، بستگی به اتخاذ روش مناسب در جلوگیری از فرسایش و حرکت رسوب دارد که لازمه آن، وجود اطلاعات دقیق در زمینه شدت فرسایش در سطح حوزه‌ها یا آبخیز است. گرچه روش‌های برآورد و پیش‌بینی فرسایش توسعه یافته‌اند، ولی ارزیابی دقیق میزان فرسایش به دلیل وجود مشکلات جدی در کمی کردن عوامل مؤثر و نبود داده‌های آماری طولانی مدت و دقیق به طور کامل امکان‌پذیر نشده است (Franzi & Bianco., 2001).

عامل فرسایش‌پذیری خاک<sup>۱</sup> میزان تأثیرپذیری خاک نسبت به عوامل فرساینده را بیان می‌کند. این شاخص به ویژگی‌های خاک و حساسیت طبیعی آن نسبت به عامل فرسایش بستگی دارد. از نظر کمی فرسایش‌پذیری خاک تابعی از شاخص فرساینده بوده و مقدار تلفات خاک به ازای واحد فرساینده را نشان می‌دهد (Parysow *et al.*, 2001). اما در مجموع بیان کمی فاکتور فرسایش-پذیری خاک مفهومی پیچیده است که به خصوصیات از خاک که در فرسایش‌پذیری مؤثرند از قبیل خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، مکانیکی و هیدرولوژیکی بستگی دارد (Bagarello *et al.*, 2009). چون که عامل فرسایش‌پذیری خاک به‌طور قابل توجهی فرسایش و رسوب خاک را شبیه‌سازی می‌کند (Zhu *et al.*, 2010). تلاش‌های زیادی برای ساده کردن روش‌های ارزیابی پیش‌بینی عامل فرسایش‌پذیری خاک در گذشته ارائه شده است و روابطی نیز برای تخمین این عامل ارائه شده است

(Bagarello *et al.*, 2009). به‌طوری که در مدل‌های مختلف فرسایش خاک، شاخص‌های متفاوتی برای فرسایش‌پذیری توسعه داده شده است. در بین شاخص‌های مختلف کمی فرسایش‌پذیری خاک، شاخص فرسایش‌پذیری مورد استفاده در مدل USLE<sup>۲</sup> به دلیل گستردگی استفاده از این مدل، اهمیت فراوانی داشته و تعیین مقادیر آن در یک حوزه می‌تواند از ابزارهای مناسب برای مدیریت پایدار آب و خاک در منطقه باشد. با توجه به این حقیقت که روش‌های سنتی برآورد تلفات خاک توزیع مکانی فرسایش‌پذیری خاک را به دقت در نظر نمی‌گیرند، آگاهی از میزان تغییرات مکانی عامل فرسایش‌پذیری در کنار سایر عوامل مانند کاربری اراضی و شیب منطقه، راهنمایی اساسی برای اولویت‌بندی و پیاده‌سازی طرح‌های کنترل فرسایش است (Arnold, 1996). به همین علت در دهه گذشته مطالعات زیادی در لندفرم‌های مختلف برای پیش‌بینی عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از روش‌های آمار کلاسیک و زمین‌آمار انجام شده است (Imani *et al.*, 2014).

زمین‌آمار شامل روش‌های مختلفی از جمله کریجینگ برای تخمین تغییرپذیری مکانی یک متغیر است. کریجینگ به‌طور گسترده توسط دانشمندان علوم خاک برای ارزیابی عامل فرسایش‌پذیری خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد (Li & Heap, 2008). امروزه تغییرات کاربری اراضی و چرای بیش از حد مراتع باعث از دست روی و فرسایش خاک شده است. برای جلوگیری از این بحران، اتخاذ شیوه‌های مناسب کشت (مثل کشت روی خطوط تراز و...)، جلوگیری از چرای بیش از حد و در نهایت اتخاذ استراتژی‌های درست توسط برنامه‌ریزان و پیاده‌سازی آن به‌وسیله مدیران با دقت بیشتر، می‌تواند به حفظ محیط‌زیست و در نهایت به افزایش طول عمر منابع بیانجامد (Biswas & Pani, 2015).

در حال حاضر آگاهی از وضعیت خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و نحوه توزیع آن، به دلیل ماهیت تغییرپذیری مکانی بالای آن حتی در فواصل خیلی کم، در چگونگی مصرف نهادها و دستیابی به مدیریت جامع کشاورزی بر مبنای سیستم اطلاعات جغرافیایی از اهمیت بسزایی برخوردار است (Mueller *et al.*, 2004). خصوصیات خاک با نوع خاک، توپوگرافی، اقلیم، پوشش

2- Universal Soil Loss Equation

1- Soil Erodibility Factor

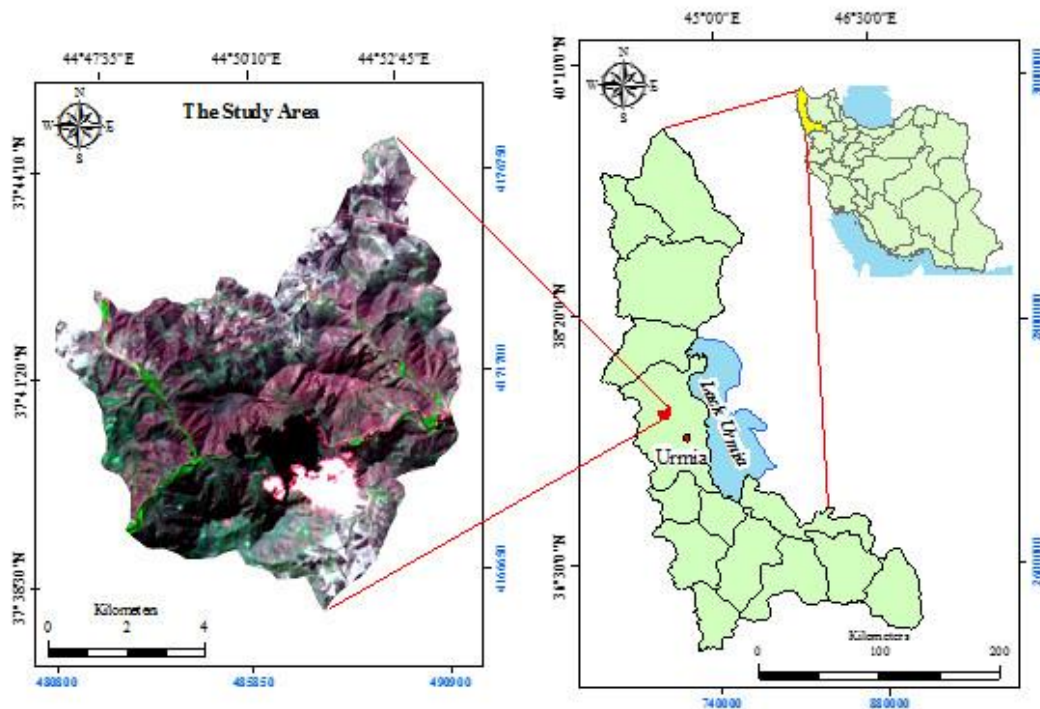
می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در بخشی از غرب حوزه آبخیز نازلو چای به مساحت ۶۶۸۰ هکتار و متوسط ارتفاع ۱۶۹۸ متر با درصد شیب ۲ تا بیش از ۶۰ درصد واقع در ۲۰ کیلومتری شهرستان ارومیه، انجام شد. این منطقه بخشی از مناطق کوهستانی زاگرس و دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک است. این منطقه بین  $37^{\circ}37'30''$  تا  $37^{\circ}45'30''$  طول شرقی و  $44^{\circ}47'00''$  تا  $44^{\circ}52'45''$  عرض شمالی واقع شده است. حوزه دارای کاربری‌های مختلف اراضی است. تنوع عمق خاک در منطقه بسیار بالا بوده و در برخی از قسمت‌های حوزه حداکثر عمق خاک برابر با ۱۰ سانتی‌متری است. نوع اقلیم حوزه بر اساس روش دومارتن از نیمه‌مرطوب تا مرطوب و در روش کوپن از استپی تا مرطوب و در روش آمبرژه از نیمه‌خشک سرد تا نیمه‌مرطوب سرد می‌باشد. (شکل ۱).

گیاهی و فعالیت انسانی رابطه زیادی دارند که همه آن‌ها در الگوی توزیع مکانی ویژگی‌های خاک تأثیرگذار هستند. در کل تخمین فرسایش‌پذیری خاک از تیپ‌های خاک به علت اینکه طبقه‌بندی‌های خاک بر اساس فاکتورهای دخیل در فاکتور فرسایش‌پذیری استوار نیستند، کاری مشکل و با عدم قطعیت بالا محسوب می‌شود (Wang et al., 2001). از این رو بررسی تغییرات مکانی فرسایش‌پذیری خاک و تهیه نقشه مناطق بحرانی می‌تواند اطاعات دقیقی را با صرف هزینه و وقت کم در مقیاس منطقه‌ای و ناحیه‌ای به‌منظور چگونگی اجرای روش‌های مدیریتی بهینه و دستیابی به نتایج مطلوب در اختیار قرار دهد. بررسی منابع نشان می‌دهد که به‌رغم پژوهش‌های گسترده در زمینه فرسایش‌پذیری خاک، تاکنون مطالعات بسیار کم‌شماری در رابطه با ارتباط آن با ویژگی‌های زمین‌منظر انجام شده است. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تغییرات مکانی عامل فرسایش‌پذیری خاک و ارتباط آن با ویژگی‌های زمین‌منظر شامل شیب، کاربری و گروه‌های هیدرولوژیکی در بخشی از حوزه آبخیز نازلو چای ارومیه



شکل ۱- نمایی اجمالی از منطقه مورد مطالعه و موقعیت آن در استان آذربایجان غربی و ایران

Figure 1. The overview of the study area and its location in the West Azerbaijan province and Iran

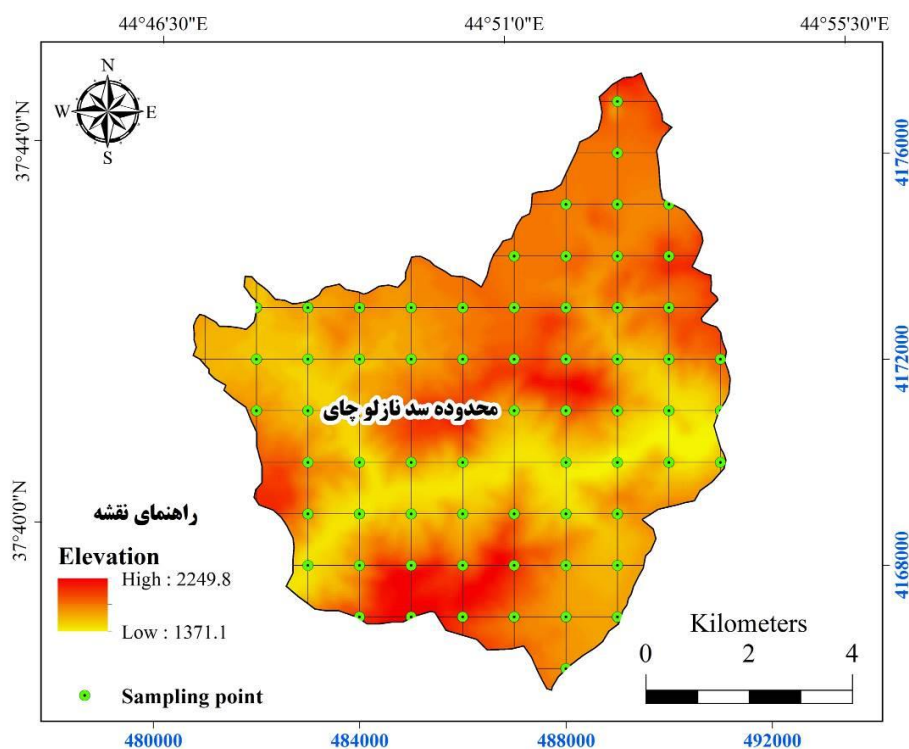
گوشه‌های شبکه منظم تهیه شدند. بر این اساس تعداد ۶۴ نقطه در سیستم اطلاعات جغرافیایی مشخص و نمونه‌برداری از آن‌ها انجام شد (شکل ۲).

نمونه‌برداری از نقاط و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اندازه‌گیری شده

به‌منظور نمونه‌برداری از خاک‌های منطقه، یک شبکه منظم  $1 \times 1$  کیلومتر ایجاد شده و نمونه‌های خاک از

استفاده از روش اکسیداسیون مرطوب ( Nelson & Somers, 1982) تعیین شد. پس از انجام آزمایشات مربوطه، درصد ذرات معدنی خاک شامل شن، سیلت و رس و همچنین درصد شن خیلی ریز محاسبه شد.

نمونه‌های خاک پس از انتقال به آزمایشگاه هوا خشک شده و بعد از عبور از الک ۲ میلی‌متری، برخی از ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک‌های مورد مطالعه نظیر توزیع اندازه ذرات به روش هیدرومتری و مقدار آلی نیز با



شکل ۲- نمونه‌برداری شبکه‌ای در منطقه مورد مطالعه

Figure 2. Grid sampling in the study area

شامل درصد سیلت (۰/۰۵ - ۰/۰۲ میلی‌متر) + شن خیلی ریز (۰/۱ - ۰/۰۵ میلی‌متر)، درصد شن (۲ - ۰/۱ میلی‌متر)، مقدار مواد آلی، نوع ساختمان خاک و نفوذپذیری بودند و بر طبق این خصوصیات معادله (۱) را برای محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک ارائه کردند:

$$K \left( \frac{Mg}{ha} \frac{ha-h}{MJ-mm} \right) = 2.8 \times 10^{-7} M^{1.14} (12 - a) + 4.3 \times 10^{-3} (b - 2) + 3.3 \times 10^{-3} (c - 3) \quad (1)$$

$$M_{(particle-size\ parameter)} = (\% \text{ Silt} + \% \text{ Very fine sand}) \times (100 - \% \text{ Clay})$$

در این معادله  $K$  عامل فرسایش‌پذیری خاک،  $a$  درصد مواد آلی،  $b$  کد ساختمان خاک،  $c$  کد نفوذپذیری خاک می‌باشد. در رابطه فوق اگرچه ویژگی‌های ساختمانی و نفوذپذیری خاک از طریق کدهای  $b$  و  $c$  وارد شده‌اند، اما بایستی عنوان کرد که به دلیل ارتباط مستقیم این ویژگی‌ها با توزیع اندازه ذرات و ماده آلی خاک، امکان تخمین اولیه مقدار کمی فرسایش‌پذیری بدون در نظر گرفتن ساختمان و نفوذپذیری وجود داشته و این تخمین

#### عامل فرسایش‌پذیری خاک

عامل فرسایش‌پذیری خاک مفهومی پیچیده است که منعکس‌کننده شمار زیادی از ویژگی‌های خاک بوده و مقاومت خاک در برابر فرسایش را نشان می‌دهد (Buttafuoco et al., 2012). این عامل به توصیف کمی توانایی ذرات نسبت به جدا شدن می‌پردازد. در واقع این فاکتور بیان می‌کند در شرایط یکسان، خاک‌های مختلف فرسایش‌پذیری متفاوتی دارند (Goldman et al., 1986). این متغیر بسیار مهم خاک در مدل USLE تحت عنوان عامل  $K$  شناخته شده و تخمین اولیه آن با استفاده از داده‌های توزیع اندازه ذرات و همچنین مقدار ماده آلی امکان‌پذیر است (Morgan, 2009). ویشمایر و اسمیت (Wischmeier & Smith., 1978) بین پانزده خصوصیت خاک و عامل فرسایش‌پذیری خاک، رابطه‌ای به دست آوردند که خیلی عملی نبود و سرانجام توانستند همبستگی خوبی را بین عامل فرسایش‌پذیری و پنج خصوصیت فیزیکی خاک برقرار کنند. این خصوصیات

مناسب نیم‌تغییر نما با استفاده از شاخص‌های کارایی  $R^2$  و RSS، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری گردید و همچنین نقشه احتمال وقوع آن با استفاده از روش کریجینگ ترسیم شد. همچنین به منظور مقایسه کارایی روش کریجینگ، نقشه پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری با استفاده از روش IDW نیز ترسیم شد.

### نتایج و بحث

به‌منظور برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک برخی از ویژگی‌های خاک اندازه‌گیری شد. نتایج آمار توصیفی در جدول ۱ آمده است. تنوع خاک را می‌توان از طریق آمار توصیفی بیان کرد. در میان آن‌ها ضریب تغییرات (CV) پارامتری قابل‌توجه برای بیان این تغییرات است (Wei *et al.*, 2008). در صورتی که مقدار ضریب تغییرات بین ۰/۱۵ - ۰ باشد تغییرپذیری کم، ۰/۳۵ - ۰/۱۵ تغییرپذیری متوسط و بیش‌تر از ۰/۳۵ باشد تغییرپذیری بالاست (Wilding, 1985). طبق جدول ۱، چون که مقدار ضریب تغییرات برای عامل فرسایش‌پذیری خاک ۰/۲۳ است، تغییرپذیری منطقه مورد مطالعه در گروه متوسط قرار دارد. به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌های آزمایشی، از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف استفاده شد. همان‌طور که از جدول ۲ مشخص است، عامل فرسایش‌پذیری خاک دارای توزیع نرمال بود.

اولیه نیز تفاوت بسیار ناچیزی با مقدار نهایی آن برای حالتی که دو ویژگی اخیر نیز دخالت داده شده‌اند، دارد (Morgan, 2009). در این پژوهش نیز از تخمین اولیه برای محاسبه عامل فرسایش‌پذیری استفاده شد.

### نیم‌تغییر نما

زمین‌آمار به‌عنوان یکی از شاخه‌های آمار عملی امکان بررسی همراه مقدار متغیر و آرایش مکانی و زمانی مشاهدات را در تحلیل داده‌ها فراهم می‌کند (Goovaerts, 1999). با استفاده زمین‌آمار می‌توان مقادیر یک خصوصیت را در نقاط اندازه‌گیری نشده با استفاده از پارامترهای مدل تغییر نما برآورد کرد (Myers, 1994). تنوع عامل فرسایش‌پذیری خاک را می‌توان توسط نیم‌تغییر نما نشان داد که تغییرات این متغیر را نسبت به فاصله نشان می‌دهد (Nielsen & Wendroth, 2003). گووارتس (Goovaerts, 1999) این مدل را به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$\lambda(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (2)$$

در این پژوهش از نرم‌افزار  $GS^+$  برای رسم تغییرنمای عامل فرسایش‌پذیری خاک استفاده شد (Robertson, 2008). همچنین مدل‌های نیم‌تغییر نما با استفاده از شاخص‌های حداقل مربعات خطا و ضریب همبستگی انتخاب شد. در این تحقیق چهار مدل مرسوم نیم‌تغییر نما که توسط براخ و مک دونل (Burrough & McDonnell, 1988) پیشنهاد شده‌اند، مورد آزمون قرار گرفت. پس از تعیین مدل

جدول ۱- آماره‌های توصیفی بعضی از خصوصیات خاک و عامل فرسایش‌پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Descriptive statistics of some soil properties and soil Erodibility factor in the study area

Parameters	Minimum	Maximum	Skewness	Standard deviation	Average	Coefficient of variation
Clay (%)	5.06	37.23	0.82	7.99	16.05	0.5
Silt (%)	20.97	66.77	- 0.09	13.35	45.69	0.29
Very fine sand (%)	0.27	42.73	0.89	8.74	14.00	0.62
Organic matter (%)	0.2	2.04	0.91	0.43	0.93	0.46
Erodibility factor	0.03	0.08	0.059	0.012	0.051	0.23

جدول ۲- نتایج آزمون کلموگروف - اسمیرنوف

Table 2. Results of Kolmogorov - Smirnov test

Parameters	df	Sig.
Erodibility factor	64	0.20*

بهترین مدل برای برازش عامل فرسایش‌پذیری است (جدول ۳). همچنین بهترین نیم‌تغییرنمای برازش یافته

نتایج به‌دست آمده حاصل از برازش با  $GS^+$  نشان داد که مدل نمایی با بیشترین مقدار  $R^2$  و کمترین مقدار RSS،

عامل فرسایش‌پذیری خاک (تجربی) در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است، بهترین نیم تغییرنا برای عامل فرسایش‌پذیری خاک، مدل نمایی می‌باشد. مدل نمایی از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد، ولی آهنگ صعود آن آرام‌تر از مدل کروی است و در عمل هیچ‌گاه به حد آستانه‌ای یا سقف معینی نمی‌رسد. به همین دلیل دامنه تأثیر آن نامعلوم است. علت پیدایش داده‌هایی با چنین مدل می‌تواند به دلیل وجود روند در محدوده مورد بررسی و یا بزرگی قابل ملاحظه دامنه تأثیر نسبت به ابعاد محدوده تحت پوشش نمونه‌برداری باشد. همچنین وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک از طریق نسبت اثر قطعه‌ای به حد آستانه

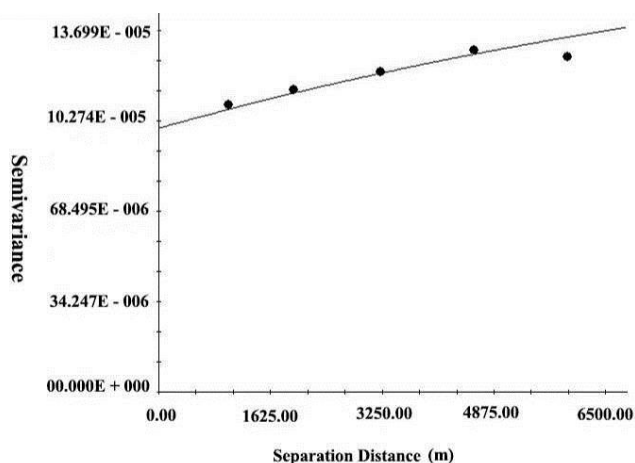
(Nugget / Sill) بیان می‌شود. هرگاه این نسبت کمتر از ۲۵ درصد باشد، نشان‌دهنده وابستگی مکانی قوی است. اگر بین ۲۵ تا ۷۵ درصد باشد وابستگی مکانی متوسط و اما هرگاه این نسبت بیش از ۷۵ درصد باشد، وابستگی مکانی ویژگی‌های خاک ضعیف می‌باشد (Vieira, 2003). غالباً وابستگی مکانی قوی در اثر فرآیندهای داخلی (ذاتی) و وابستگی مکانی ضعیف در اثر فرآیندهای خارجی (مدیریتی) حاصل می‌شود (Camberdella *et al.*, 1994). همان‌طور که در جدول ۳ مشخص می‌باشد، درجه وابستگی مکانی فاکتور فرسایش‌پذیری خاک منطقه مورد مطالعه از نوع متوسط می‌باشد.

جدول ۳- پارامترهای آماری مدل‌های نیم تغییر نمای عامل فرسایش‌پذیری خاک

Table 3. Statistic parameters of the semivariogram models of soil Erodibility factor

Model types	Nugget ( $C_0$ )	Sill ( $C_0+C$ )	Nugget/ Sill	Range $A_0$ (m)	RSS*	$R^{2**}$
Spherical	9.760E - 005	1.962E - 004	49.75	21100	1.508E - 10	0.87
Exponential	1.000E - 004	1.890E - 004	52.91	12100	6.092E - 11	0.90
Linear	1.070E - 004	1.312E - 004	81.55	5931	1.215E - 9	0.87
Gaussian	1.127E - 004	2.264E - 004	49.78	13860	7.428E - 11	0.75

\*RSS = residual sum squares, \*\* $R^2$  = coefficient of determination



شکل ۳- بهترین نیم تغییرنمای برازش یافته (مدل نمایی) عامل فرسایش‌پذیری خاک

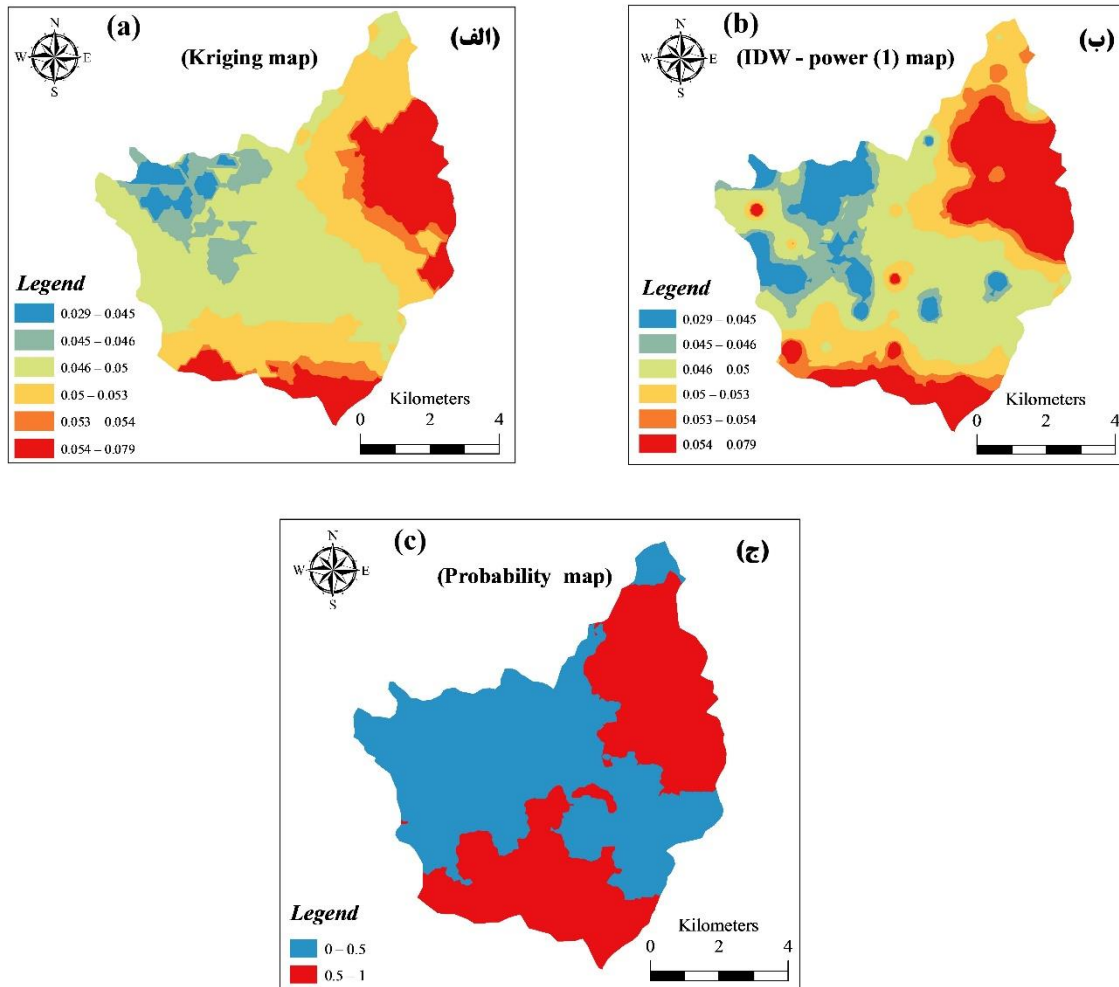
Figure 3. The best fitted semivariogram model (the Exponential model) for soil Erodibility factor

پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک با روش‌های کریجینگ و IDW با توان یک، به ترتیب در شکل ۴ (الف) و (ب) نشان داده شده است. همچنین نقشه کریجینگ احتمال وقوع مقدار فرسایش‌پذیری بیش از ۰/۰۵ به عنوان مرز بین فرسایش‌پذیری کم و زیاد در شکل ۴ (ج) ارائه شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۴، در بین روش‌های میان‌یابی، کریجینگ و IDW برای عامل

فرسایش‌پذیری خاک، روش کریجینگ دارای کمترین مقدار RMSE می‌باشد. همان‌طور که از نقشه پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک مشخص است، کمترین مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک مربوط به غرب و بیشترین مقدار مربوط به شرق و جنوب حوزه است که این موضوع را نقشه احتمال عامل فرسایش‌پذیری خاک (شکل ۴، ج) به خوبی نشان می‌دهد.

جدول ۴- میانگین مربعات خطا برای روش‌های مختلف پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک  
Table 4. Root mean square error for different mapping methods of soil erodibility factor

Efficiency coefficient	Kriging	Various powers Inverse Distance				Possibility	Estimation error
		Power 1	Power 2	Power 3	Power 4	Exceed = 0.05	
RMSE	0.0114	0.0117	0.0118	0.012	0.012	0.501	0.0114



شکل ۴- نقشه‌های کریجینگ معمولی (الف)، روش عکس معکوس فاصله با توان ۱ (ب) و عدم قطعیت (ج) عامل فرسایش‌پذیری خاک  
Figure 4. Predicted of soil erodibility factor by ordinary Kriging(a), IDW power 1 (b) and probability map (c)

Erodible است که این نشان می‌دهد که کاربری بیرون‌زدگی سنگی به عنوان یک‌لایه محافظ در برابر فرسایش عمل می‌کند و در مناطقی که عملیات زراعی انجام می‌شود، کلاس فرسایشی low Erodible است. احتمال می‌رود در این مناطق تغییرات کاربری و در نتیجه اختلاط خاک باعث افزایش میزان فرسایش در این بخش از منطقه مورد مطالعه شده باشد.

پس از پهنه‌بندی شاخص فرسایش‌پذیری با استفاده از روش‌های پهنه‌بندی مذکور، طبقه‌بندی مقدار فرسایش-پذیری محاسبه شده با استفاده از معادله ۱ براساس شاخص طبقه‌بندی فرسایش‌پذیری خاک ویشمایر و اسمیت نیز انجام گرفت (شکل ۵ و جدول ۶). بر طبق این شاخص طبقه‌بندی (جدول ۵)، مشاهده شد در مناطقی که قسمت عمده کاربری اراضی بیرون‌زدگی سنگی است، کلاس فرسایش‌پذیری خاک در کلاس Very low

جدول ۵- طبقه بندی کلاس فرسایش پذیری خاک بر اساس ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸

Table 5. Classifying of soil erodibility classes according to Wischmeier & Smith, 1978

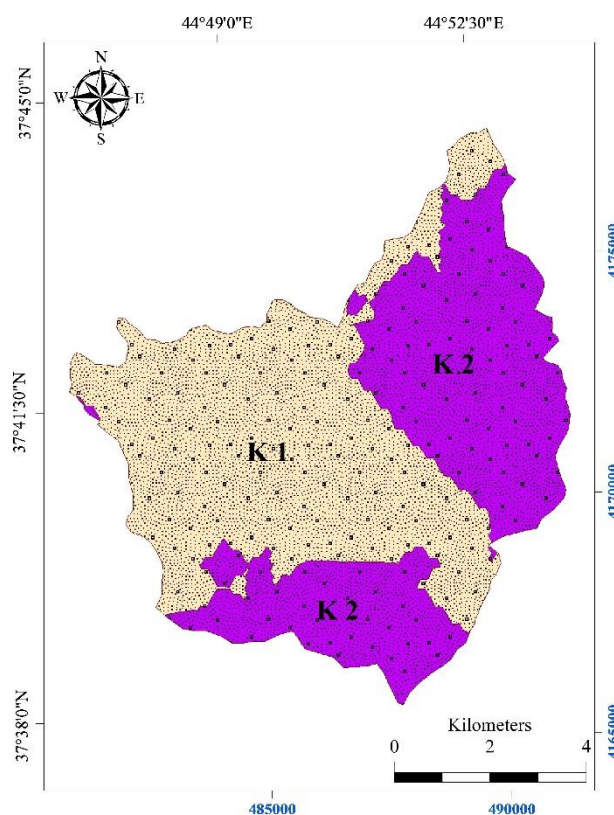
Name	Erosion class	K *
K1	Very low erodible	0 – 0.05
K2	low erodible	0.05 – 0.1
K3	moderate erodible	0.1 – 0.2
K4	high erodible	0.2 – 0.3

جدول ۶- طبقه بندی کلاس فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه

Table 6. Classifying of soil erodibility classes in the study area

Name	Area (ha)	Area (%)	K *
K1	3632.445	54.36 %	0.029 – 0.05
K2	3049.433	45.64 %	0.05 – 0.079

(t ha h ha-1 MJ mm-1) \* مقادیر بر حسب



شکل ۵- پهنه بندی فرسایش پذیری خاک منطقه مورد مطالعه براساس شاخص فرسایش پذیری ویشمایر و اسمیت

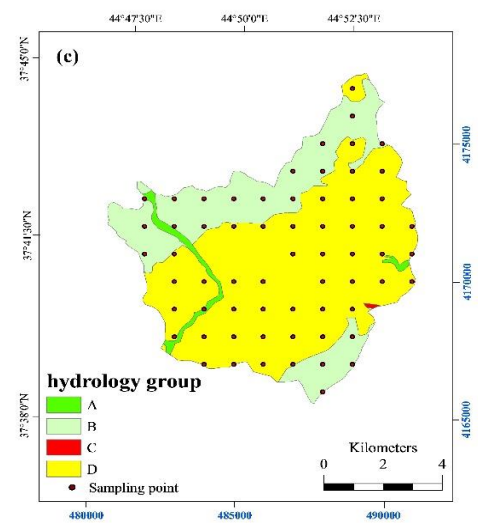
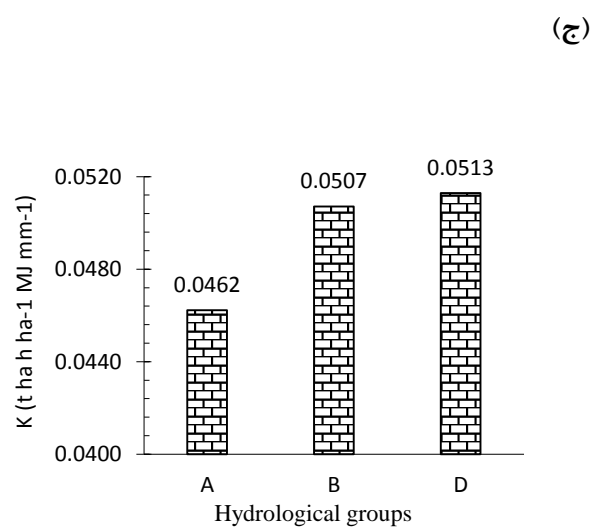
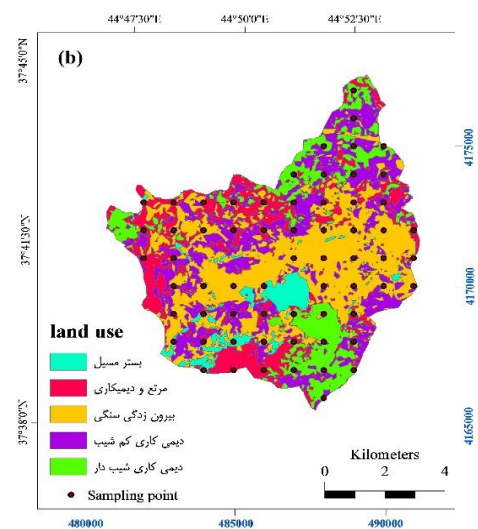
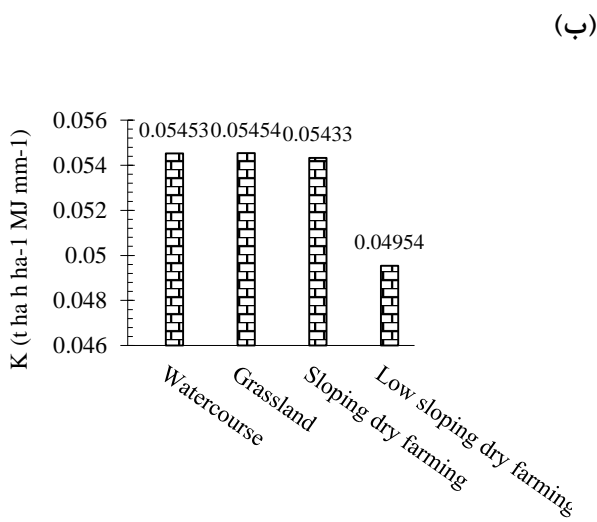
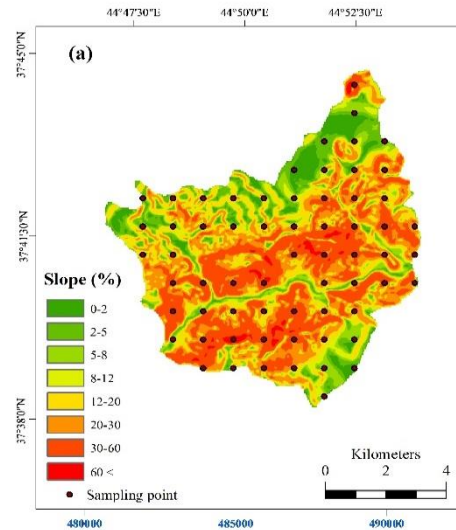
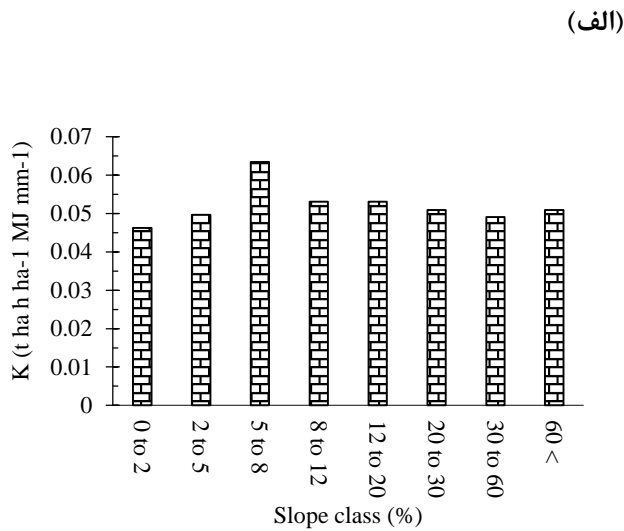
Figure 5. Mapping of soil Erodibility factor according to soil erodibility index by Wischmeier and Smith

می شود که بیشترین مقدار عامل فرسایش پذیری در کلاس شیب ۵ تا ۸ درصد واقع شده است. احتمال می رود که در این مناطق، عملیات کشاورزی بدون در نظر گرفتن اصول حفاظت خاک صورت گرفته و تردد ماشین آلات کشاورزی و انسان برای عملیات کشت و کار سبب تخریب اراضی و در نتیجه افزایش عامل فرسایش پذیری شده است.

برای بررسی ویژگی های زمین نما در فرآیندهای فرسایشی، ارتباط شیب، کاربری اراضی و گروه های هیدرولوژیکی با عامل فرسایش پذیری مورد مطالعه قرار گرفت. برای این کار ویژگی های یادشده طبقه بندی و سپس در نقاط نمونه برداری، مقدار عامل فرسایش پذیری با این ویژگی ها مورد مقایسه قرار گرفت.

نمودار شکل ۶، الف، کلاس های شیب را در مقابل عامل فرسایش پذیری نشان می دهد. طبق این نمودار، مشاهده





شکل ۶- مقایسه برخی ویژگی‌های زمین منظر با مقدار فرسایش‌پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه

(الف: مقدار شیب با فرسایش‌پذیری خاک، ب: کاربری اراضی با فرسایش‌پذیری خاک و ج: گروه‌های هیدرولوژیک خاک با فرسایش‌پذیری خاک)

Figure 6. Comparison of some landscape features with soil erodibility value in the study area (a: Slope versus soil erodibility, b: Land use versus soil erodibility and c: Soil hydrology group versus soil erodibility)

نمودار شکل ۶، ب، کاربری ارضی منطقه مورد مطالعه را در مقابل عامل فرسایش‌پذیری خاک را نشان می‌دهد. طبق این نمودار، در قسمت‌هایی از منطقه که کاربری اراضی مراتع همراه دیم‌کاری می‌باشد، عامل فرسایش‌پذیری دارای بیشترین مقدار است. احتمال می‌رود که تغییرات کاربری نادرست و چرای بی‌رویه در این مناطق باعث افزایش عامل فرسایش‌پذیری خاک در این مناطق باشد. بعد از بستر مسیل، دیم‌کاری و مراتع در درجه دوم اهمیت قرار دارند. قسمتی از اراضی منطقه شامل دیم‌کاری در اراضی شیب‌دار و دیم‌کاری در اراضی کم شیب می‌باشد، ولی مقدار عامل فرسایش‌پذیری در اراضی شیب‌داری که در آن‌ها دیم‌کاری وجود دارد، بیشتر است. احتمال می‌رود که در این اراضی عملیات کشت و کار باعث سست شدن خاک و در نتیجه به دلیل شیب زیاد در این نواحی، سرعت رواناب بیشتر شده و باعث افزایش حمل ذرات خاک به طرف پایین شود. در مناطقی که کاربری اراضی بیرون‌زدگی سنگی است، مقدار فرسایش کمتر از دیگر کاربری‌هاست. این ناشی از نقش حفاظتی توده‌های سنگی در مقابل عوامل تخریب از جمله فرسایش است. گروه‌های هیدرولوژیکی روی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و به طبع آن در تحول و پیدایش رواناب اثر دارند. همان‌طور که از شکل ۶، ج، مشخص است، بیشترین مقدار میانگین عامل فرسایش‌پذیری به گروه هیدرولوژیکی D تعلق دارد. این نشان می‌دهد که در این گروه همان‌گونه که بیشترین مقدار رواناب و کمترین مقدار نفوذپذیری مشاهده می‌شود، مقدار عامل فرسایش‌پذیری نیز زیاد است. از طرفی درست است که بین نفوذپذیری خاک، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک و فرسایش‌پذیری آن در مدل USLE ارتباط وجود دارد و این ارتباط کلی در شکل ۶، ج نیز قابل مشاهده می‌باشد که در آن در کلاس‌های هیدرولوژیکی گروه D، مقدار K نیز افزایش نشان می‌دهد، ولی باید دقت نمود که گروه‌های هیدرولوژیکی خاک به تنهایی نمی‌توانند تمامی تغییرات K را تبیین نمایند. چرا که علاوه بر گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، عوامل دیگری از قبیل توزیع اندازه ذرات و ساختمان خاک نیز در مقدار K دخیل می‌باشند. یکی از عوامل اصلی و مؤثر در ایجاد فرسایش خاک

ویژگی‌های ذاتی خاک یا فرسایش‌پذیری می‌باشد. به‌طوری‌که با شناخت و ارزیابی این عامل بهتر می‌توان از طریق راهکارهای اصولی از زیان‌های مختلف فرسایش جلوگیری کرد و یا آن را به حداقل ممکن رسانید. زیرا فرسایش‌پذیری خاک جز جدانشدنی خاک می‌باشد. این تحقیق نشان داد که مقدار عامل فرسایش‌پذیری در منطقه مورد مطالعه از ۰/۰۲۹ تا ۰/۰۷۹ تن ساعت بر مگا ژول میلی‌متر متغیر است و بر طبق طبقه‌بندی ویشمایر و اسمیت (Wischmeier & Smith., 1978) در بیشترین قسمت منطقه کلاس فرسایش‌پذیری در کلاس  $K_1$  قرار دارد. همچنین مدل نمایی با بهترین مقدار  $R^2$  و کم‌ترین مقدار RSS، بهترین مدل برای برازش عامل فرسایش‌پذیری به دست آمد. بیشترین میانگین مقدار عامل فرسایش‌پذیری به شیب ۵ تا ۸ درصد، کاربری مرتع به همراه دیم‌کاری و گروه هیدرولوژیکی D اختصاص داشت.

#### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان‌دهنده این واقعیت است که خاک‌های منطقه با توجه به این‌که در کلاس‌های فرسایش‌پذیری خیلی کم ( $K_1$ ) و کم ( $K_2$ ) قرار می‌گیرند، از نظر فرسایش‌پذیری وضعیت مطلوبی داشته و در مجموع، خاک‌ها در ردیف خاک‌های با فرسایش‌پذیری کم قرار می‌گیرند. همچنین براساس یافته‌های این تحقیق، می‌توان گفت که فرسایش‌پذیری خاک تحت تأثیر گروه‌های هیدرولوژیکی آن بوده و به‌طورکلی با کاهش نفوذپذیری منطقه، فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد. در مجموع حداکثر فرسایش‌پذیری مشاهده شده مربوط به اراضی با شیب ۵ تا ۸ درصد بود که تحت کشت دیم قرار داشتند. به‌نظر می‌رسد کشت‌های مداوم دیم در منطقه بدون رعایت اصول حفاظت خاک نظیر تناوب، آیش و شخم در جهت شیب از دلایل اصلی تخریب خاک و افزایش فرسایش‌پذیری در محدوده این اراضی باشد. این امر نشان‌دهنده لزوم توجه به روش‌های صحیح مدیریت خاک در اراضی شیب‌دار تحت کشت دیم از جمله روش‌های رعایت اصول تناوب زراعی و خاک‌ورزی حفاظتی به‌منظور کاهش میزان تلفات خاک و در نتیجه دستیابی به افزایش محصول می‌باشد.

**Reference**

- Addis H.K., Klik A., Strohmeier S., 2015. Spatial Variability of Selected Soil Attributes under Agricultural Land Use System in a Mountainous Watershed, Ethiopia. *International Journal of Geosciences* 6(06): 605.
- Arabkhedri M., Valikhojieni A., Hakimkhani S., Charkhabi A.H., Telvari A., 2004. Estimating and mapping of sediment yield for Iran. Final Research Report. *Soil Conservation and Watershed Management Research Institute*, Teheran. (In Persian)
- Arnold R., 1996. *Soil Survey Reliability: Minimizing the consumer's risk*. Data reliability and risk assessment in soil interpretations, pp.13-20.
- Bagarello V., Di Stefano C., Ferro V., Giuseppe G., Iovino M., 2009. A pedotransfer function for estimating the soil erodibility factor in Sicily. *Journal of Agricultural Engineering* 40(3): 7-13.
- Baskan O., Dengiz O., 2008. Comparison of traditional and geostatistical methods to estimate soil erodibility factor. *Arid Land Research and Management* 22(1): 29-45.
- Bayramin I., Dengis O., Baskan O., Parlak M., 2003. Soil erosion risk assessment with ICONA model; Case study: Beypazar area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27: 105-116.
- Biswas S.S., Pani P., 2015. Estimation of soil erosion using RUSLE and GIS techniques: a case study of Barakar River basin, Jharkhand, India. *Modeling Earth Systems and Environment* 1(4): 1-13.
- Brady N.C., Weil R.C., 2012. *The nature and properties of soils*. Pearson education. Inc., New Jersey.
- Burrough P., McDonnell R., 1998. *Creating continuous surfaces from point data*. Principles of Geographic Information Systems. *Oxford University Press*, Oxford, UK.
- Buttafuoco G., Conforti M., Aucelli P., Robustelli G., Scarciglia F., 2012. Assessing spatial uncertainty in mapping soil erodibility factor using geostatistical stochastic simulation. *Environmental Earth Sciences* 66(4): 1111-1125.
- Dorren L., Bazzoffi P., Díaz J.S., Arnoldussen A., Barberis R., Üveges J.B., Böken H., Castillo V., Düwel O., Imeson A., 2004. Working Group on Soil Erosion Task Group III on Impacts of soil erosion.
- Franzi L., Bianco G., 2001. A statistical method to predict debris flow deposited volumes on a debris fan. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial and Planetary Science* 26(9): 683-688.
- Goldman S.J., Jackson K., Bursztynsky T.A., 1986. *Erosion and sediment control handbook*. McGraw-Hill.
- Goovaerts P., 1999. Geostatistics in soil science: state-of-the-art and perspectives. *Geoderma* 89(1): 1-45.
- Imani R., Ghasemieh H., Mirzavand M., 2014. Determining and Mapping Soil Erodibility Factor (Case Study: Yamchi Watershed in Northwest of Iran). *Open Journal of Soil Science* 2014.
- Li J., Heap A.D., 2008. A review of spatial interpolation methods for environmental scientists. *Geoscience Australia Canberra*.
- Morgan R.P.C., 2009. *Soil erosion and conservation*. John Wiley and Sons, 316p.
- Myers D.E., 1994. Spatial interpolation: an overview. *Geoderma* 62(1): 17-28.
- Nelson D.W., Somers L.E., 1982. Page AL, Miller RH, Keeney DR (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbial Properties*, American Society Agronomy, Inc. and SSSA Inc. Madison Wis. pp. 565-571.
- Mueller T.G., Pusuluri N.B., Mathias K.K., Cornelius P.L., Barnhisel R.I., 2004. Site-specific soil fertility management. *Soil Science Society of American Journal*, 68(6): 2031-2041.
- Nielsen D.R., Wendroth O., 2003. *Spatial and temporal statistics: sampling field soils and their vegetation*. Catena Verlag.
- Parysow P., Wang G., Gertner G., Anderson A., 2001. Assessing uncertainty of erodibility factor in national cooperative soil surveys: a case study at Fort Hood, Texas. *Journal of Soil and Water Conservation* 56(3): 207-211.
- Robertson G.P., 2008. *GS+: Geostatistics for the environmental sciences*. Gamma design software, Plainwell.
- Vanmaercke M., Poesen J., Radoane M., Govers G., Ocakoglu F., Arabkhedri M., 2012. How long should we measure? An exploration of factors controlling the inter-annual variation of catchment sediment yield. *Journal of Soils and Sediments*, 12(4): 603-619.
- Vieira S. R., Paz Gonzalez A., 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Bragantia, Campinas* 62: 127-138

- Wang G., Gertner G., Liu X., Anderson A., 2001. Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation. *Catena* 46(1): 1-14.
- Wei J.-B., Xiao D.-N., Zeng H., Fu Y.K., 2008. Spatial variability of soil properties in relation to land use and topography in a typical small watershed of the black soil region, northeastern China. *Environmental Geology* 53(8): 1663-1672.
- Wilding L., 1985. Spatial variability: its documentation, accommodation and implication to soil surveys, Soil spatial variability. *Workshop*, 166-194.
- Wischmeier W.H., Smith D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. *Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning*.
- Zhu B., Li Z., Li P., Liu G., Xue S., 2010. Soil erodibility, microbial biomass, and physical-chemical property changes during long-term natural vegetation restoration: a case study in the Loess Plateau, China. *Ecological Research* 25(3): 531-541.

## Estimation of Soil Erodibility Factor of USLE Model and its Relation to Landscape Features in some Parts of Nazlou-Chai Basin, Iran

Kamal Khosraviaqdam<sup>1</sup>, Hamid Reza Momtaz<sup>2\*</sup>, Farrokh Asadzadeh<sup>2</sup>

(Received: November 2016

Accepted: December 2017)

### Abstract

Soil erodibility is a dynamic aspect that varies over time and with plough, animals activities and biochemical factors resulting in a major environmental threat to the sustainability and productive capacity of agricultural areas. In Universal Soil Loss Equation (USLE), soil erodibility factor (K-factor), as an effective parameter in water erosion is a function of particle size distribution, organic matter, structure and permeability. In the present study, the spatial distribution of the amount of K-factor was investigated in the Nazlou Chai Watershed in Urmia, West Azerbaijan using geostatistics. Then soil samples were taken from 1 km by 1 km square grid over 64 locations, and the amount of K-factor was calculated through the USLE model. The results showed that K-factor was ranged from 0.029 to 0.079 ( $T h MJ^{-1} mm^{-1}$ ). The spatial variation of K-factor was fairly well fitted to the exponential model and showed a moderate spatial structure. The studied soils were categorized in low and very low erodibility classes. The quantitative amounts of erodibility were categorized based on slope classes and the highest value observed for 5-8% slope that belongs to dry farming land use. Also K-factor showed various values in different hydrological groups, where group A showed the least and group D showed the highest amount. It seems that inappropriate soil management in either hilly areas or dry farming lands is one of the main causes of soil damage and an increase of soil erodibility.

**Keyword:** Geostatistics, Soil Erosion, Soil Hydrological Groups, Mapping

Khosraviaqdam K., Momtaz H.R, and Asadzadeh A. 2019. Estimation of soil erodibility factor of USLE model and its relation to landscape features in some parts of Nazlou-chai basin, Iran. *Applied Soil Research*, 7(1): 31-43.

1- MSc. Graduate, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran.

2- Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University.

\* Corresponding Author Email: [h.momtaz@urmia.ac.ir](mailto:h.momtaz@urmia.ac.ir)