

پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش آبی با استفاده از عوامل ژئومورفولوژیکی در حوزه آبخیز عمرآباد ارومیه

رعنا احمدی^۱، حبیب نظرزاد^{۲*}، سعید نجفی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶)

چکیده

توزیع مکانی پدیده‌های فرسایشی و تحلیل حساسیت‌پذیری بخش‌های مختلف حوزه‌های آبخیز به انواع آن، نقش مهمی در برنامه‌ریزی محیطی ایفا می‌کند. به‌طوری که تهیه نقشه حساسیت به انواع فرسایش و شناسایی عوامل مؤثر بر آن، می‌تواند علاوه بر کاهش خطر وقوع انواع پدیده‌های فرسایشی، منجر به ارائه اقدامات مدیریتی لازم برای مناطق مربوطه شود. در این پژوهش، روش آماری دومتغیره برای تحلیل حساسیت‌پذیری پدیده‌های فرسایش سطحی، شیاری، آبراه‌های و کنار آبراه‌های با استفاده از هشت عامل مقاومت سنگ، کاربری و پوشش اراضی، درصد شیب، جهت شیب، انحنای پروفیل دامنه، طول شیب، شاخص قدرت جریان و گروه هیدرولوژیکی خاک در حوزه آبخیز عمرآباد ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در مورد اثر عوامل مختلف مستعدکننده به وقوع فرسایش سطحی، شیاری، آبراه‌های و کنار آبراه‌های، نتایج قابل قبول و دارای روند مشخصی در مورد فرسایش سطحی و شیاری حاصل نشد. اما در مورد فرسایش آبراه‌های و کنار آبراه‌های، هر یک از عوامل، با توجه به طبقات مربوطه، تأثیری مثبت یا منفی در وقوع این نوع از فرسایش دارند و نمی‌توان اثر یک عامل را به‌طور کامل، مثبت یا منفی قلمداد کرد. عواملی چون سنگ‌شناسی، طول شیب، درصد شیب، جهت شیب و *SPI* بیش‌ترین تأثیر مثبت را در وقوع فرسایش آبراه‌های و کنار آبراه‌های دارند. از طرفی، بر اساس واسنجی نقشه حساسیت‌پذیری به فرسایش آبراه‌های و کنار آبراه‌های، در نقشه حساسیت‌پذیری تنها ۲۰ درصد از مساحت مناطق با فرسایش آبراه‌های و کنار آبراه‌های مربوط به واسنجی، در محدوده مناطق با حساسیت خیلی شدید تا شدید قرار گرفتند. این امر به عدم کارایی نقشه حساسیت‌پذیری تولید شده با استفاده از هشت عامل مستعدکننده فوق‌الذکر دلالت دارد و پژوهش در مورد عوامل مهم‌تر و مؤثرتر دیگر در ایجاد پدیده‌های فرسایشی مورد نظر در منطقه مورد مطالعه را مورد تأکید قرار می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: حساسیت‌پذیری به فرسایش، حفاظت خاک، روش آماری دومتغیره، شدت فرسایش

احمدی ر.، نظرزاد ح. و نجفی س. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش آبی با استفاده از عوامل ژئومورفولوژیکی در حوزه آبخیز عمرآباد ارومیه. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۹، شماره ۳. صفحه: ۴۳-۵۶.

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه
 - ۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه (مکاتبه کننده)
 - ۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ارومیه
- * پست الکترونیک: h.nazarnejad@urmia.ac.ir

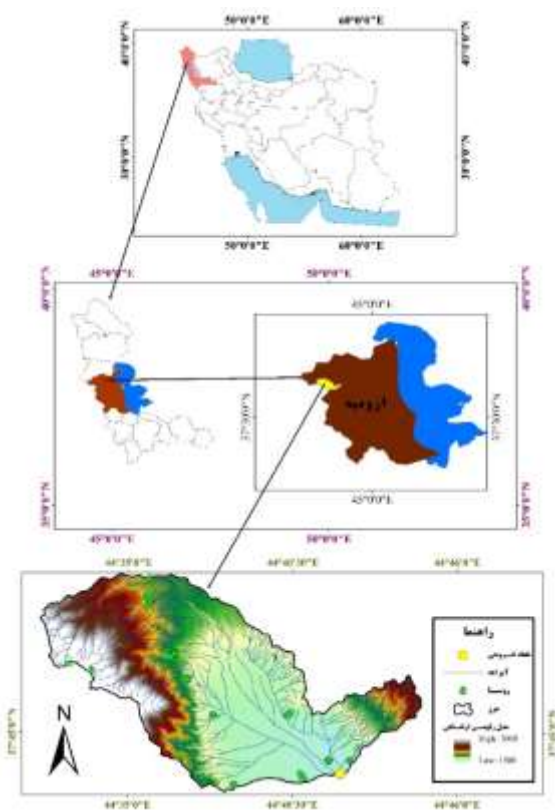
مقدمه

فرسایش خاک یکی از مشکلات اساسی به‌ویژه در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیط‌زیست می‌باشد و به‌عنوان یک پدیده مخرب زیست‌محیطی در بسیاری از مناطق ایران شناخته می‌شود که پیشگیری یا مبارزه با آن، نیازمند شناخت مناطق بحرانی و توسعه انواع مختلف پدیده‌های فرسایش آبی در تخریب زمین و تولید رسوب است (Mehreban *et al.*, 2018). فرسایش آبی به‌عنوان یکی از عوامل اصلی تخریب اراضی در مناطق وسیع، سبب از بین بردن خاک‌های حاصل‌خیز و زمین‌های کشاورزی شده است (Novara *et al.*, 2018)، به‌طوری که حدود ۳۵ میلیون هکتار از اراضی کشور ایران تحت تأثیر فرسایش آبی قرار دارند (Zakerinejad & Maerker, 2015). پدیده‌های فرسایشی از جمله فرسایش‌های سطحی، شیبی، آبکندی و حرکات توده‌ای در بیش از ۱۲۰ میلیون هکتار از مناطق کوهستانی و دشت‌های ایران غالب است (Arabkhedri, 2014). از آنجایی که واحدهای ژئومورفولوژی واحدهای همگن می‌باشند، با توجه به شرایط و عوامل دخیل در آنها، پدیده‌های خاصی از فرسایش به وجود می‌آیند (Gong, 2011). به همین دلیل، شناسایی و طبقه‌بندی انواع مختلف فرسایش و شدت‌های مربوطه در واحدهای کاری حاصل از رویکردهای ژئومورفولوژیکی، یکی از روش‌هایی است که می‌تواند به ارزیابی از وضعیت کنونی و متناسب با آن ارائه روش‌های حفاظتی و مدیریتی برای آینده حوزه‌های آبخیز منجر شود.

به‌علت اینکه اطلاعات صحیح و قابل قبولی از میزان کمی فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز وجود ندارد، قبل از تهیه نقشه کمی فرسایش خاک، اغلب به برآورد حساسیت یا پتانسیل مناطق مختلف حوضه از نظر شدت فرسایش خاک نیاز است (Abedini & Yaghubnejad Asl, 2017). روش‌های مختلفی برای بررسی حساسیت‌پذیری پدیده‌های ژئومورفولوژیک وجود دارد. با تحلیل‌های آماری براساس روابط بین متغیرهای کنترل‌کننده محیطی و توزیع مکانی پدیده‌های فرسایشی، می‌توان مقادیر احتمالاتی را محاسبه و نقشه حساسیت‌پذیری پدیده‌های فرسایشی را تهیه نمود (Melih *et al.*, 2018, Arabameri *et al.*, 2018, Azareh *et al.*, 2019). همین رابطه کانفورتنی و همکاران (Conforti *et al.*,)

(2011) با استفاده از روش Information value (Infval) در حوزه آبخیز Turbolo ایتالیا به تهیه نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش آبکندی پرداختند. نتایج نشان داد متغیرهای سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و توپوگرافی بیشترین تأثیر را در توسعه و حساسیت‌پذیری فرسایش آبکندی در سطح حوزه آبخیز مورد مطالعه دارند. لوکا و همکاران (Lucà *et al.*, 2011) در ایتالیا به مقایسه حساسیت‌پذیری فرسایش با استفاده از آزمون‌های آماری دو و چند متغیره به این نتیجه رسیدند که روش دو متغیره بیشترین دقت حساسیت را در کلاس‌های حساسیت‌پذیری دارد. ذاکری‌نژاد و مائرکر (Zakerinejad & Maerker, 2015) با هدف شناخت مناطق حساسیت-پذیر فرسایش آبکندی در حوضه مازیجان در جنوب شرقی ایران از سه متغیر شاخص قدرت جریان، درصد شیب و جریان تجمعی استفاده کردند. نتایج حاکی از آن است که شاخص قدرت جریان، مهم‌ترین عامل برای ارزیابی کمی و کیفی پدیده‌های فرسایشی است. کانتی همبران و همکاران (Kanti Hembram *et al.*, 2019) در حوزه آبخیز Jainti در شرق هند با استفاده از روش (Infval) نشان دادند که حوزه آبخیز به شدت حساسیت-پذیر به فرسایش آبکندی بوده است و میزان موفقیت و پیش‌بینی مدل به ترتیب ۷۸٪ و ۷۵٪ است. ابراهیمی و همکاران (Ebrahimi *et al.*, 2018) در حوزه آبخیز سنگانه‌کلات به تهیه نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش آبکندی با استفاده از روش‌های آماری دو متغیره پرداختند. نتایج نشان داد تراکم زهکشی، درصد شیب، فاصله از رودخانه و شاخص رطوبت توپوگرافی مهم‌ترین عوامل مؤثر در پیش‌بینی حساسیت به فرسایش در حوزه آبخیز هستند. در سال‌های اخیر، روش‌های آماری دو و چند متغیره کاربرد زیادی در پهنه‌بندی حساسیت‌پذیری داشته که در این زمینه می‌توان به مطالعات اسماعیلی و شوکتی (Esmaili & Shokati, 2015)، مهربان و همکاران (Mehreban *et al.*, 2018)، امیری و همکاران (Amiri *et al.*, 2019)، عرب‌عامری و همکاران (Arabameri *et al.*, 2019)، در ایران و کانوسنتی و همکاران (Conoscenti *et al.*, 2013)، ژو و همکاران (Zhu *et al.*, 2015)، آنگیلری و همکاران (Angileri *et al.*, 2013)، پروسدوسیمی و همکاران (Prosdocimi *et al.*, 2017)، مللی و همکاران (Melelli *et al.*, 2017)، هالفوم و تشومی (Halefom &)

کاری و متعاقباً نقشه سیمای فرسایش مبتنی بر بازدیدهای مکرر میدانی در حوزه آبخیز مورد مطالعه استخراج شد (Sadeghi, 2005)؛ Sadeghi & Najafi (2013).



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز عمرآباد در استان آذربایجان غربی، ایران

Figure 1. Location of Omarabad watershed in West Azerbaijan province, Iran

وضعیت فرسایش برحسب جمع نمرات هفت عامل به پنج کلاس جزئی (۰-۲۰)، کم (۲۱-۴۰)، متوسط (۴۱-۶۰)، زیاد (۶۱-۸۰) و خیلی زیاد (۸۱-۱۰۰) تقسیم‌بندی و به ترتیب بر اساس شدت فرسایش موجود در هر واحد کاری حروف A تا E اختصاص داده شد که این حروف شدت فرسایش جزئی تا بحرانی در حالت کلی برای هر واحد کاری را بیان می‌کنند. برای هر پدیده فرسایشی (سطحی، شیاری، آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای)، دو زیرنویس عددی اختصاص یافت. به طوری که زیرنویس اول در طبقات یک تا پنج، شدت فرسایش و زیرنویس دوم سطح پوشش هر پدیده فرسایشی در چهار طبقه را نشان می‌دهد. همچنین، موقعیت و سطح پدیده‌های فرسایشی

(Kanti, 2019)؛ Teshome, 2019)، کانتی همبران و همکاران (Kanti, 2019)؛ Hembram et al., 2019)، بلاینه و همکاران (Belayneh, 2019)؛ et al., 2019) در سایر نقاط جهان اشاره کرد. بر همین اساس، هدف از این مطالعه تعیین و بررسی سطح و شدت پدیده‌های فرسایش آبی (سطحی، شیاری، آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای) در رخساره‌های ژئومورفولوژیکی حوزه آبخیز عمرآباد ارومیه و ارائه نقشه حساسیت به فرسایش در بخش‌های مختلف آن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز عمرآباد در شمال غربی ایران، شهرستان ارومیه و در حوزه آبخیز نازلوچای با مساحتی بالغ بر ۱۰۱۵۹ هکتار در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ} 32' 06''$ تا $44^{\circ} 49' 15''$ عرض شمالی و $44^{\circ} 44' 47''$ تا $43^{\circ} 43' 26''$ طول شرقی واقع شده است. کمترین و بیشترین ارتفاع حوزه به ترتیب ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. اقلیم محدوده مطالعاتی بر اساس روش آمبرژه نیمه مرطوب سرد، و متوسط بارندگی سالیانه بر اساس آمار دراز مدت ایستگاه‌های باران‌سنجی محدوده، برابر با ۵۹۰ میلی‌متر برآورد شده است. لیتولوژی غالب شامل سنگ‌های رسوبی، دگرگونی، آتشفشانی و نفوذی از پرکامبرین پسین تا عهد حاضر با روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی رخمون دارند. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

- تهیه نقشه پراکنش پدیده‌های فرسایشی و نقشه لایه-های اطلاعاتی

در ابتدا با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و بازدیدهای میدانی، واحدها و در قالب آن رخساره‌های ژئومورفولوژیکی مشخص شدند. در این مرحله، در هر رخساره ژئومورفولوژی با تلفیق نقشه‌های سنگ‌شناسی، کاربری و درصد شیب، نقشه واحدهای کاری به دست آمد. سپس با استفاده از روش مدیریت اراضی (BLM) و ارزیابی هفت عامل مربوطه (حرکت خاک، وجود لاشبرگ در سطح خاک، وضعیت سنگ‌ها، قطعات سنگی تحکیم یافته، وجود فرسایش شیاری، فرم آبراهه‌ها، و وجود فرسایش آب‌کندی) انواع اشکال فرسایشی در واحدهای

1 Bureau of Land Management (BLM)

در مرحله آخر، پس از انتقال وزن‌های عددی استخراج شده به لایه‌های مربوط به عوامل مستعد کننده فرسایش، نقشه پهنه‌بندی حساسیت به پدیده‌های فرسایشی مربوطه با روی هم‌اندازی لایه‌های مربوط به وزن عوامل مستعد کننده پدیده‌های فرسایشی تهیه و با استفاده از روش شکست طبیعی^۳، در پنج کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، شدید و خیلی شدید تقسیم‌بندی شدند (Federici *et al.*, 2007; Remondo, 2003; Jenks, 1989). قابل ذکر است که ۷۰ درصد از داده‌های مشاهداتی پراکنش مکانی پدیده‌های فرسایشی برای استخراج ضرایب وزنی و نقشه حساسیت به فرسایش استفاده شد و ۳۰ درصد از داده‌ها نیز به ارزیابی نتایج حاصل اختصاص یافت. شکل (۲) نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

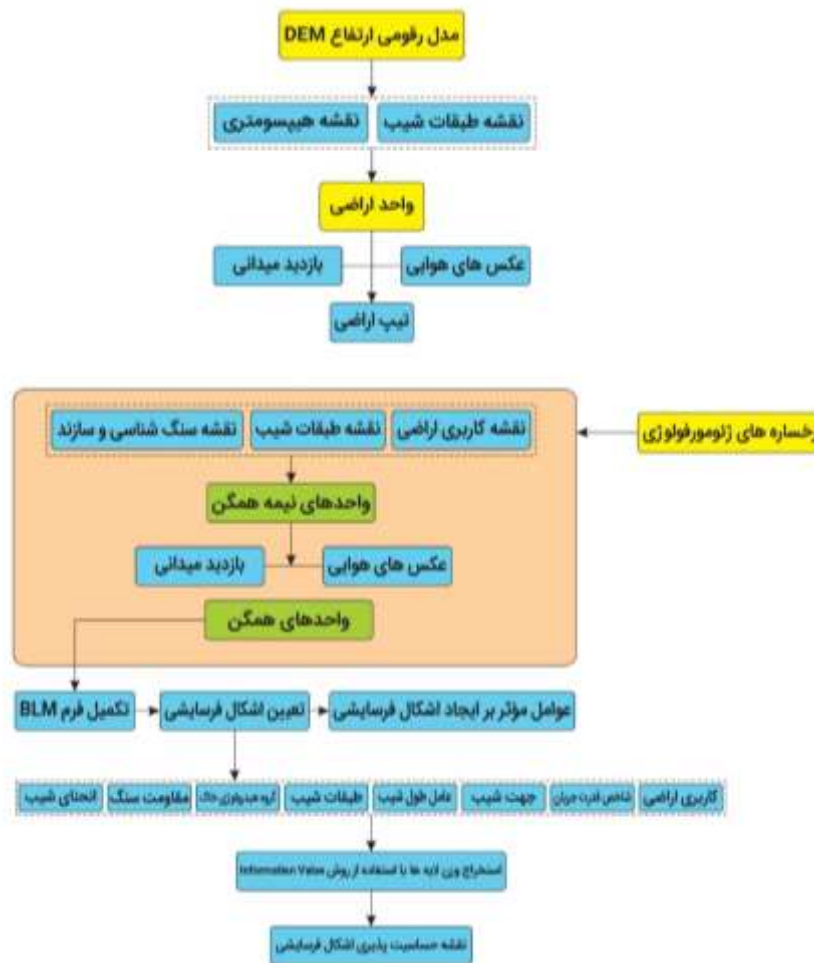
شکلهای ۳ و ۴ به ترتیب پراکنش مکانی پدیده‌های فرسایشی ثبت شده مبتنی بر بازدیدهای مکرر میدانی و نقشه پراکنش و وقوع پدیده‌های فرسایشی سطحی، شیاری، آبراه‌ای و کنارآبراه‌ای را نشان می‌دهند. همان‌طور که از شکل ۴ و کدهای مربوط به شدت و وسعت پدیده‌های فرسایشی مشخص است، حوزه آبخیز عمرآباد از نظر شدت پدیده‌های فرسایشی مد نظر، عموماً در وضعیت فرسایش کم تا متوسط قرار می‌گیرد. این موضوع در وضعیت کلی شدت فرسایش در واحدهای کاری مربوطه نیز به خوبی نمایان است. به طوری که از ۱۲ واحد کاری استخراج شده، ۱۰ واحد کاری در وضعیت فرسایشی ضعیف تا متوسط قرار می‌گیرند که بیان‌گر شرایط نسبتاً پایدار از نظر فرآیندهای فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز مورد مطالعه است که با نتایج و تحلیل‌های ارائه شده از سوی نجفی و صادقی (Najafi & sadeghi, 2013) همخوانی دارد.

مربوطه با استفاده از GPS ثبت و به عنوان لایه مکانی به محیط ArcGIS منتقل شد. از طرفی، درصد شیب، جهت شیب، عامل توپوگرافی (LS)، انحنای پروفیل دامنه و شاخص قدرت جریان (SPI) با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰×۳۰ متر در محیط ArcGIS مورد محاسبه قرار گرفتند و در کنار لایه‌های کاربری اراضی، مقاومت سنگ و گروه هیدرولوژیکی خاک (اخذ شده از اداره کل منابع طبیعی استان آذربایجان غربی)، به عنوان عوامل مستعد کننده در وقوع پدیده‌های فرسایشی مورد مطالعه مد نظر قرار گرفتند (Dube *et al.*, 2014; Gutiérrez *et al.*, 2009). با توجه به اینکه روش آماری دو متغیره Information Value ابزاری ساده در ارزیابی مکانی برای شناسایی روابط احتمالاتی بین متغیرهای مستقل و وابسته بوده و قابلیت ارائه رابطه بین هر عامل مستعد کننده فرسایش و توزیع نواحی مستعد فرسایش را دارد (Rahmati *et al.*, 2016; Bonham-Carter, 1994)، بنابراین با استفاده از روش آماری مذکور، رابطه بین عوامل مستعد کننده وقوع پدیده‌های فرسایشی با تراکم آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت و وزن هر عامل در وقوع فرسایش‌های مربوطه با استفاده از رابطه (۱) استخراج شد. در این رابطه W_i وزن عددی عامل مستعد کننده در طبقه نام، DensClass تراکم پدیده فرسایشی مربوطه در طبقه نام از عامل مستعد کننده، DensMap تراکم پدیده فرسایشی مربوطه در آبخیز مورد مطالعه، N_{pixSi} تعداد پیکسل‌های شامل پدیده فرسایشی مربوطه در طبقه نام از عامل مستعد کننده، N_{pixNi} تعداد پیکسل‌های طبقه نام از عامل مستعد کننده، $\sum N_{pixSi}$ تعداد کل پیکسل‌های شامل پدیده فرسایشی مربوطه و $\sum N_{pixNi}$ تعداد همه پیکسل‌های شامل آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

$$W_i = \ln \frac{DensClas}{DensMap} = \ln \frac{N_{pixSi}/N_{pixNi}}{\sum N_{pixSi}/\sum N_{pixNi}} \quad (1)$$

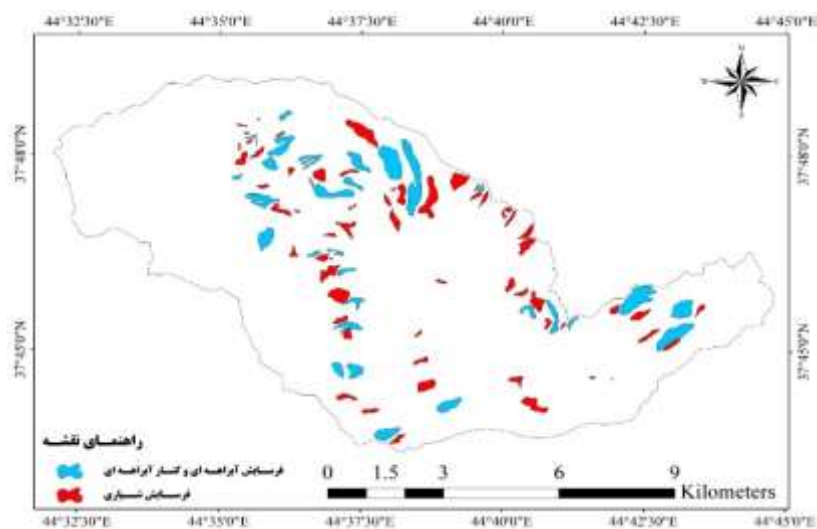
3. Natural Break

1. Global Positioning Systems
2. Stream Power Index



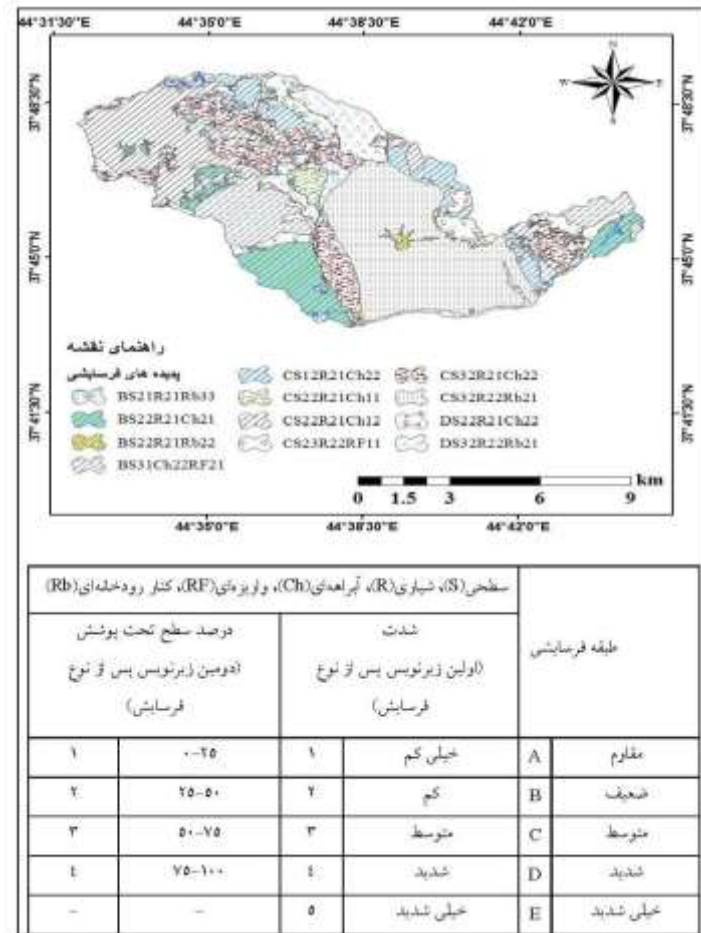
شکل ۲- نمودار جریانی روش تعیین نقشه پراکنش، سطح و شدت وقوع اشکال فرسایشی حوزه آبخیز عمرآباد در استان آذربایجان غربی، ارومیه

Figure 2. A schematic flow chart of applied methods to evaluate soil erosion severity and susceptibility map in Omarabad watershed of the West Azerbaijan Province in Iran



شکل ۳- پدیده‌های فرسایشی ثبت شده مبتنی بر بازدیدهای میدانی برای تهیه نقشه حساسیت پذیری به فرسایش در حوزه آبخیز عمرآباد ارومیه، ایران

Figure 3. Recorded erosion phenomena based on field visits to prepare a map of erosion susceptibility in Omarabad watershed of Urmia, Iran



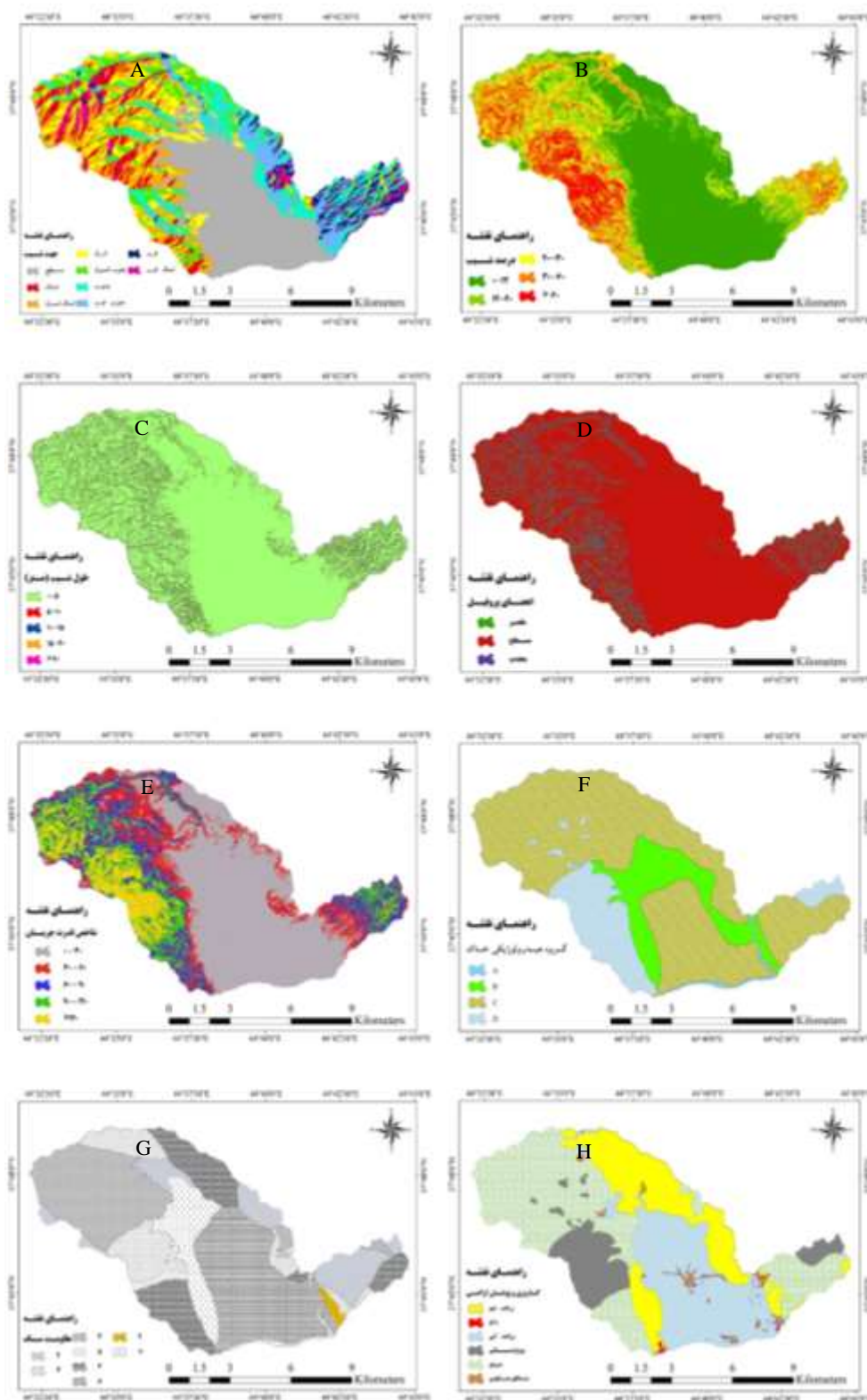
شکل ۴- نقشه پدیده‌های فرسایشی حوزه آبخیز عمرآباد ارومیه
Figure 4. Map of erosion phenomena in Omarabad watershed of Urmia

ملاحظه‌ای در سطح حوزه آبخیز وجود دارد که خود سبب مقاومت‌های متفاوت در برابر فرسایش در بخش‌های مختلف آبخیز شده است. اما آنچه مهم‌تر به نظر می‌آید، قرار گرفتن مخروط افکنه و پادگانه‌های آبرفتی با مقاومت بسیار ضعیف (کد ۸ در شکل ۵(G)) در کنار رسوبات بستر رودخانه‌ای با حساسیت بسیار به فرسایش (کد ۱۰ در شکل ۵(G)) در بخش‌های مرکزی و کم شیب حوزه آبخیز است که این بخش را با توجه به در دسترس بودن و کاربری زراعت آبی و دیم، بسیار مستعد به فرسایش کرده است. جدول ۱ وزن‌های محاسبه شده از رابطه (۱) برای عوامل مستعد کننده وقوع پدیده‌های فرسایشی آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای را نشان می‌دهد. این وزن‌ها برای فرسایش سطحی و شیبی نیز محاسبه شد. اما از آنجایی که منجر به نتایج قابل قبول از نظر تعیین نقشه حساسیت‌پذیری به وقوع این دو نوع فرسایش نشد، بنابراین از ارائه نتایج صرف نظر شد. بر اساس نتایج، از میان واحدهای سنگی

شکل ۵ نقشه‌های مربوط به محاسبه و تعیین عوامل مستعد کننده هشت‌گانه (درصد شیب، جهت شیب، عامل توپوگرافی، انحنای پروفیل دامنه، شاخص قدرت جریان، کاربری اراضی، مقاومت سنگ و گروه هیدرولوژیکی خاک) در وقوع پدیده‌های فرسایشی را نشان می‌دهند. مطابق با نتایج فوق و با استفاده از رابطه (۱)، وزن استخراج شده برای هر کدام از عوامل در وقوع فرسایش‌های مد نظر نیز در جدول ۱ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۵(B) مشخص است، مناطق پرشیب حوزه آبخیز در بخش‌های غربی و جنوب غربی قرار گرفته است و این در حالی است که مناطق با شیب صفر تا ۱۲ درصد، با مساحت ۴۸۰۰ هکتاری بیش‌ترین مساحت را داشته و مناطق مرکزی، شمالی و جنوبی را دربر گرفته است. بر اساس شکل ۵(F)، گروه هیدرولوژیکی C با مساحتی بالغ بر ۶۹ درصد از کل آبخیز گسترده‌ترین گروه هیدرولوژیکی در منطقه مورد مطالعه است. از نظر سنگ‌شناسی نیز تنوع قابل

افتاده است و در کلاس ۳۰-۰ شاخص SPI دارای کمترین ضریب وزنی بوده و تعداد کمتری آبراهه در این کلاس مشاهده می‌شود. دیوب و همکاران (Dube *et al.*, 2014) نیز بیان کردند با افزایش مقادیر شاخص SPI، احتمال وقوع فرسایش افزایش یافته است. طول شیب عامل دیگر در توسعه و گسترش فرسایش آبراهه‌ای در منطقه می‌باشد. به طوری که طول شیب بیش از ۲۰ متر با ضریب وزنی ۰/۴۸ بیشترین تأثیر را دارد و به طور کلی طول شیب‌های بیش از ۵ متر اثر مثبتی بر وقوع فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای دارند و با افزایش این عامل، مقادیر وزنی محاسبه شده نیز افزایش می‌یابد. به عنوان یک جمع‌بندی کلی در مورد اثر عوامل مختلف مستعد کننده به وقوع فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای که در این مقاله مورد بررسی گرفته‌اند، می‌توان اظهار داشت هر یک از عوامل بسته به طبقات مربوطه، تأثیری مثبت یا منفی در وقوع این نوع از فرسایش دارند و نمی‌توان اثر یک عامل را به طور کامل، مثبت یا منفی قلمداد کرد. اما می‌توان اشاره کرد که از میان آن‌ها، عواملی چون سنگ‌شناسی، طول شیب، درصد شیب، جهت شیب و SPI بیشترین تأثیر مثبت در وقوع فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای را دارند. شکل ۶ نقشه حساسیت به فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای در حوزه آبخیز مورد مطالعه را نشان می‌دهد که در پنج طبقه تقسیم‌بندی شده است. همچنین، سطح تحت پوشش هر طبقه مربوط به حساسیت در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۲، در حدود ۹/۵۵ درصد از مساحت حوضه عمرآباد، حساسیت‌پذیری به فرسایش آبراهه‌ای و کنار رودخانه‌ای در حد خیلی شدید دارند. همچنین، تقریباً ۴۱ درصد از سطح آبخیز در طبقه حساسیت شدید به فرسایش مربوطه قرار می‌گیرد. مناطق با حساسیت خیلی کم، کم و متوسط نسبت به وقوع فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای نیز به ترتیب سطحی برابر با ۲۴/۶، ۴/۶ و ۲۰/۲ درصد از سطح آبخیز را به خود اختصاص می‌دهند.

موجود در حوزه آبخیز، سازندهای کنگلومرایی و مخروط افکنه و پادگانه‌های آبرفتی، تأثیری در ایجاد فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای ندارند. واحد سنگ‌شناسی آهک و دولومیت با مقدار وزنی ۰/۶۰، مؤثرترین واحد سنگی در ایجاد و گسترش فرسایش آبراهه‌ای می‌باشد که علت آن می‌تواند به وجود آهک و دولومیت در این واحد سنگی در مناطق شمالی آبخیز مربوط باشد که مستقیماً بر روی ماسه سنگ‌های سازند درود قرار گرفته است. بر اساس اوزان ارائه شده در جدول ۱، می‌توان گفت از نظر کاربری اراضی نیز کاربری‌های باغ، مسکونی و زراعت آبی تأثیری در وقوع فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای ندارند. شیب‌های ۱۲ تا ۲۰، ۲۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۶۰ درصد بیشترین وزن و تأثیر را در ایجاد و گسترش فرسایش آبراهه‌ای دارند. همچنین، تمام جهات شیب به غیر از جهت جنوبی و بخش‌های مسطح، در ایجاد و تشکیل فرسایش آبراهه‌ای مؤثر می‌باشند. با این توضیح که بیشترین جهات مؤثر در ایجاد و تشکیل آبراهه‌های مشاهداتی به ترتیب در مناطق شمال و شمال‌شرق، غرب، شرق و شمال‌غرب، جنوب شرق و جنوب‌غرب مشاهده می‌شوند که با نتایج بیاتی خطیبی و همکاران (Bayati Khatibi *et al.*, 2006) و ابوالفتحی و کیانی (Abolfathi & Kiani, 2007) همخوانی دارد. برای این عامل، کمترین و بیشترین ضرایب وزن‌های محاسباتی به ترتیب برابر با ۰/۹۰- و ۰/۴۴ در جهت‌های مسطح و شمال می‌باشند. گروه هیدرولوژیکی D با بافت رسی و با ضریب وزنی ۰/۶۲ درصد بیشترین میزان تأثیر در فرسایش آبراهه‌ای منطقه را دارد. مقادیر حداقل و حداکثر ضرایب وزن‌های به دست آمده برای عامل انحنای پروفیل، به ترتیب برابر ۰/۰۶- و ۰/۳۱ درصد می‌باشند، با این تفسیر که شیب‌های محدب و مقعر به ترتیب با وزن ۰/۳۱ و ۰/۳۰ تقریباً نقش یکسانی در وقوع فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای دارند. یک همبستگی قوی بین فرآیندهای فرسایش آبراهه‌ای و مناطقی با مقدار بالای SPI وجود دارد. کلاس SPI با مقادیر >120 دارای بیشترین ضریب وزنی می‌باشد و تعداد بیشتری آبراهه در مناطقی با SPI بالای ۱۲۰ اتفاق

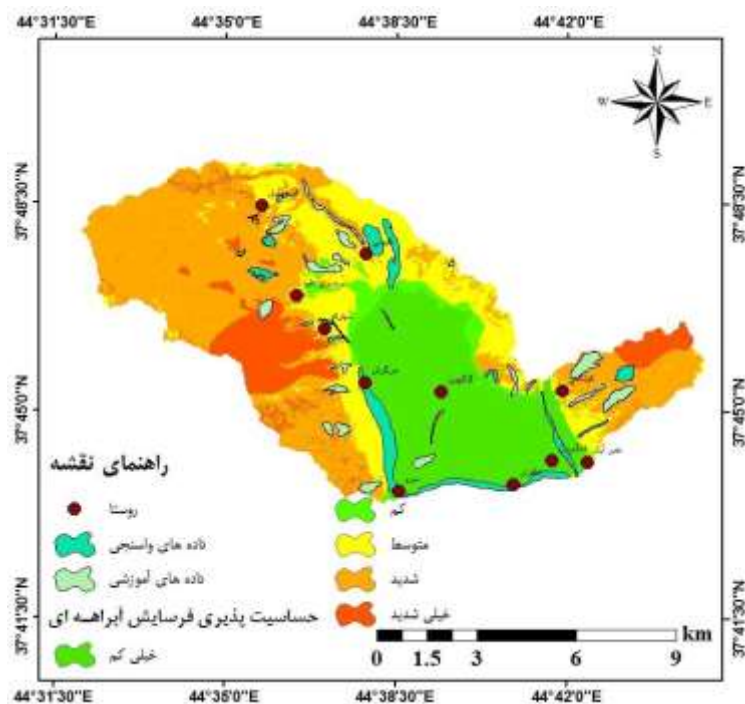


شکل ۵- نقشه‌های عوامل مستعد به فرسایش: (A) جهت شیب؛ (B) شیب؛ (C) طول شیب؛ (D) انحنای پروفیل دامنه؛ (E) شاخص قدرت جریان؛ (F) گروه هیدرولوژیکی خاک؛ (G) مقاومت سنگ در برابر فرسایش؛ (H) کاربری راضی.

Figure 4. Erosion-prone maps: (A) Slope aspect; (B) Slope; (C) Slope length; (D) Plan curvature; (E) Stream Power index; (F) Soil Hydrologic group; (G) Erodibility rates of geological formations; (H) Land use.

جدول ۱- مقادیر وزن‌دهی شده (Wi) توزیع برای هر کلاس فاکتورهای مستعد فرسایش آبراهه‌ای و کنار رودخانه‌ای
 Table 1. Weighted values (Wi) distribution for each class of factors prone to Stream and Streambank Erosion

Factor	NpixNi	NpixSi	Dens Class	Information value (Wi)
Lithology				
(Qal-Qf)	1148.3	267.6	0.2	0.1
(gn-gr)	1194.9	382.3	0.3	0.4
(gr2-pr)	1300.7	508.4	0.3	0.6
(CM-Ag-Use-Klu-CMv.s)	2210.6	588.6	0.2	0.2
(Ec)	94.1	2.7	0.0	0.2
(Es.m-Qv-Pschk-Pd)	1514.0	228.9	-0.0	-1.8
(Qt2)	2666.2	1.9	0.3	-0.2
(QF)	75.7	24.1		-5.5
				0.4
Land use				
Range Land	155.4	41.1	0.2	0.2
Agriculture	111.3	1.5	0.0	0.2
Out Crop	46.2	19.1	0.4	-2.6
Garden	1.5	0.1	0.0	0.7
Urban	4.0	0.4	0.1	-1.1
Dry farming	87.6	17.7	0.2	-0.6
				0.0
Slope				
0-12	4689.8	494.4	0.1	0.2
12-20	1824.3	484.8	0.2	-0.6
20-30	1515.9	400.0	0.2	0.2
30-60	1473.1	387.4	0.2	0.2
>60	1129.8	237.1	0.2	0.2
				0.0
Aspect				
Flat	3115.3	230.0	0.0	0.3
North	679.2	208.2	0.3	-0.9
North East	1300.9	371.6	0.2	0.4
East	1166.8	318.2	0.2	0.3
South East	1029.3	258.2	0.2	0.3
South	1173.6	218.7	0.1	0.2
South West	828.6	163.8	0.1	-0.0
West	459.0	126.1	0.2	0.0
North West	405.8	109.6	0.2	0.3
				0.3
Plan Curvature				
Concave	695.3	186.8	0.2	0.3
Flat	8570.3	1576.8	0.1	-0.0
Convex	893.3	240.8	0.2	0.3
SPI				
0-30	4884.2	543.6	0.13	0.3
30-60	1614.9	452.1	0.3	-0.6
60-90	1360.0	362.1	0.3	0.36
90-120	1207.8	316.5	0.3	0.3
>120	1091.9	330.6	0.33	0.3
				0.43
LS				
0-5	9958.7	1949.1	0.2	0.3
5-10	95.9	27.7	0.3	-0.0
10-15	95.9	13.4	0.2	0.4
15-20	53.5	8.7	0.3	0.2
20-30	32.3	5.9	0.3	0.3
>30	18.4			0.5
Soil Hydrologic Group				
A	97.1	0	0	0
B	1562.7	194.8	0.1	-0.4
C	6888.3	1215.1	0.2	-0.1
D	1610.9	595.0	0.4	0.6
Total	Den Map= 0.2	$\sum NpixSi = 2005.0$	$\sum NpixNi = 10158.9$	



شکل ۶- نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش آبراهه‌ای و کنار رودخانه‌ای حوزه آبخیز عمرآباد
Figure 4. Susceptibility map of Channel and Riverbank erosion in Omarabad watershed

جدول ۲- مساحت مناطق حساسیت‌پذیری به فرسایش

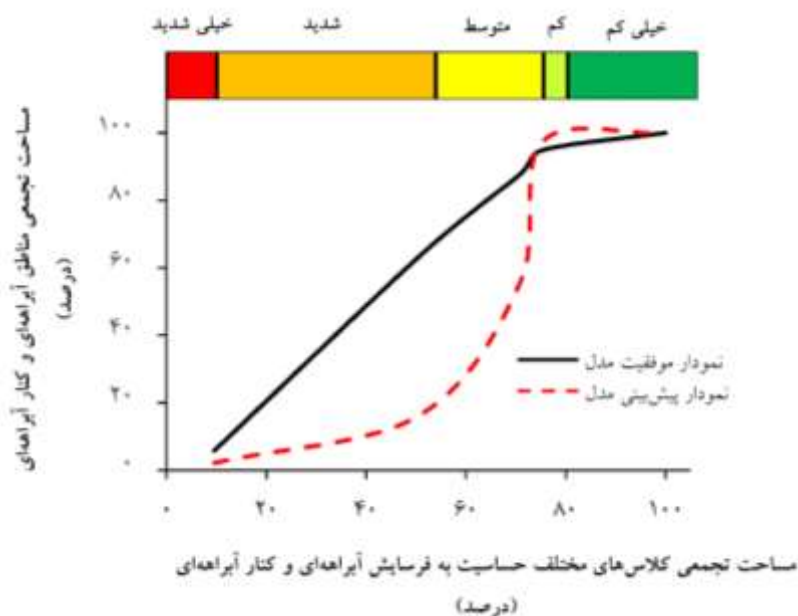
Table 2. Area of areas susceptible to erosion

Erosion susceptibility map classes	Area (%)
Very Low	24.6
Low	4.6
Moderate	20.2
High	41.0
Very High	9.6

پیش‌بینی، تنها ۲۰ درصد از مساحت مناطق با فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای مربوط به واسنجی در محدوده مناطق با حساسیت خیلی شدید تا شدید در نقشه حساسیت‌پذیری به فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای قرار می‌گیرند. این امر در واقع به عدم کارایی نقشه حساسیت‌پذیری تولید شده با استفاده از هشت عامل مستعد کننده مورد استفاده دلالت دارد و استفاده و کنکاش در مورد عوامل مهم‌تر و مؤثرتر دیگر را مورد تأکید قرار می‌دهد.

واسنجی نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش آبراهه‌ای و کنار آبراهه‌ای

برای ارزیابی کارایی مدل و نقشه حساسیت‌پذیری فرسایش آبراهه‌ای و کنار رودخانه‌ای، از ۳۸ پلی‌گون شامل ۲۶ و ۱۲ پلی‌گون انتخاب شده به صورت تصادفی، برای واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. این امر کارایی و سودمندی نقشه حساسیت‌پذیری تولید شده را با استفاده از دو نمودار موفقیت و پیش‌بینی مدل در شکل ۷ مورد بررسی قرار می‌دهد. به طوری که بر اساس نمودار



شکل ۷- موفقیت مدل با استفاده از داده‌های آموزشی فرسایش آبراه‌های و کنار رودخانه‌ای
Figure 5. Success of the model using Channel and Riverbank erosion training data

در بخش‌های قابل توجهی از حوزه آبخیز مورد مطالعه، تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی دیم با شخم در جهت شیب صورت پذیرفته است که این اراضی با توجه به رهاشدگی بعد از چند سال کشت دیم در زمره مناطق با فرسایش شیاری قلمداد شدند که همین امر سبب به نتیجه نرسیدن تولید نقشه حساسیت‌پذیری در این رابطه شد. در مورد نقشه حساسیت‌پذیری به فرسایش آبراه‌های و کنار آبراه‌های، هر چند وضعیت نقشه تولید شده نسبت به موارد قبلی بهبود یافته‌تر بود، اما از نظر آماری این نقشه نیز قابلیت اتکا نداشت. صرفاً با این مطالعه و عدم بررسی عوامل مستعد کننده دیگر، نمی‌توان اظهار نظر دقیق‌تر علمی در مورد دلایل این نتیجه ذکر کرد و تنها می‌توان جهت روشن‌تر شدن ابهامات به دخیل کردن توأمان سایر عوامل موثر دیگر در مطالعات پیش‌رو تاکید کرد.

نتیجه‌گیری کلی

در این مطالعه با توجه به این که منطقه مورد مطالعه متأثر از پدیده‌های فرسایشی چون سطحی، شیاری، آبراه‌های و کنار آبراه‌های می‌باشد، تأثیر عوامل ژئومورفولوژیکی در ایجاد پدیده‌های فرسایشی ذکر شده و امکان تولید نقشه حساسیت‌پذیری به فرسایش‌های مربوطه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نهایی نشان داد که نقشه‌های حساسیت‌پذیری تولید شده در مورد پدیده‌های فرسایشی مذکور با استفاده از ۸ عامل مستعدکننده مقاومت سنگ، کاربری و پوشش اراضی، درصد شیب، جهت شیب، انحنای پروفیل دامنه، طول شیب، شاخص قدرت جریان و گروه هیدرولوژیکی خاک، کارایی لازم را ندارند. در مورد فرسایش سطحی و شیاری دلیل عدم کارایی نقشه حساسیت‌پذیری تولید شده را می‌توان به متأثر بودن اکثریت سطح حوزه آبخیز از فرسایش سطحی فارغ از برخی عوامل مستعد کننده فوق‌الذکر دانست. همچنین،

References

- Abedini M., and Yaghubnejad Asl N. 2017. Assessment and zoning of the soil erosion risk in Balekhli river watershed of Yamci dam, using fuzzy model. *Quantitative geomorphological Research*, 6(1):137-155. (In Persian)
- Abolfathi D., and Kiani M. 2007. Soil erosion and sedimentation rate equivalent to flood rate in Farsban Watershed using GIS. *Applied Research in Geographical Sciences*, 7(20): 158-172. (In Persian)

- Amiri M., Pourghasemi HR., Ghanbarian GA., and Afzali SF. 2019. Assessment of the importance of gully erosion effective factors using Boruta algorithm and its spatial modeling and mapping using three machine learning algorithms. *Geoderma*, 340: 55-69.
- Angileri SE., Conoscenti C., Hochschild V., Märker M., Rotigliano E., and Agnesi V. 2016. Water erosion susceptibility mapping by applying stochastic gradient treeboost to the imera Meridionale River basin (Sicily, Italy). *Geomorphology*, 262: 61-76.
- Arabkhedri M. 2014. A Review on major water erosion factors in Iran. *Journal of land Management*, 2(1): 17-26. (In Persian)
- Arabameri AR., Pradhan B., Pourghasemi HR., Rezaei K., and Kerle N. 2018. Spatial modelling of gully erosion using GIS and R programing: a comparison among three data mining algorithms. *Applied Sciences*, 8(8): 1-22.
- Arabameri AR., Pradhan B., and Rezaei K. 2019. Spatial prediction of gully erosion using ALOS PALSAR data and ensemble bivariate and data mining models. *Geosciences Journal*, 23(4):669-686.
- Azareh A., Rahmati O., Rafiei-Sardooi E., Sankey JB., Lee S., Shahabi H. and Ahmad BB. 2019. Modelling gully-erosion susceptibility in a semi-arid region, Iran: Investigation of applicability of certainty factor and maximum entropy models. *Science of the Total Environment*, 655:684-696.
- Bayati Khatibi M., Karami F., and Mokhtari D. 2006. Investigation and analysis of Stream erosion based on geomorphological evidences using quantitative and classical methods. *Human Sciences Modarres*, 10(2): 83-1010. (In Persian)
- Belayneh M., Yirgu T., and Tsegaye D. 2019. Potential soil erosion estimation and area prioritization for better conservation planning in Gumara watershed using RUSLE and GIS techniques. *Environmental Systems Research*, 8(1): 20.
- Bonham-Carter G.F. 1994. Geographic information systems for geoscientists-modeling with GIS. *Computer methods in the geoscientists*, 13: 398p.
- Conforti M., Aucelli PP., Robustelli G., and Scarciglia F. 2011. Geomorphology and GIS analysis for mapping gully erosion susceptibility in the Turbolo stream catchment (Northern Calabria, Italy). *Natural hazards*, 56(3): 881-898.
- Conoscenti C., Agnesi V., Angileri S., Cappadonia C., Rotigliano E., and Märker M. 2013. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling: a test in Sicily, Italy. *Environmental Earth Sciences*, 70(3): 1179-1195.
- Dube F., Nhapi I., Murwira A., Gumindoga W., Goldin J. and Mashauri DA. 2014. Potential of weight of evidence modelling for gully erosion hazard assessment in Mbire District-Zimbabwe. *Physics and chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 67: 145-152.
- Ebrahimi M., Amir Ahmadi A., and Zangeneh Asadi M A. 2018. Comparison of gully erosion susceptibility mapping using weight of evidence and frequency ratio models at sanganeh Kalat Basin. *Geographical Researches*, 32 (4) :105-126. (In Persian)
- Esmaili R., and Shokati R. 2015. Evaluation of Gully erosion susceptibility using logistic regression, in SalavatAbad, Kordestan Province. *Arid Regions Geographic Studies*, 5(20): 91-104. (In Persian)
- Gong JG., Jia YW., Zhou ZH., Wang Y., Wang WL. and Peng H. 2011. An experimental study on dynamic processes of ephemeral gully erosion in loess landscapes. *Geomorphology*, 125 (1): 201-213.
- Gutiérrez Á.G., Schnabel S., and Contador J.F.L. 2009. Using and comparing two nonparametric methods (CART and MARS) to model the potential distribution of gullies. *Ecological Modelling*, 220(24): 3630-3637.
- Halefom, A., and Teshome A. 2019. Modelling and mapping of erosion potentiality watersheds using AHP and GIS technique: a case study of Alamata Watershed, South Tigray, Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(3):819-831.
- Jenks GF. 1989. Geographic logic in line generalization. *Cartographica*, 26(1):27-42.
- Kanti Hembram T., Paul GC., and Saha S. 2019. Spatial prediction of susceptibility to gully erosion in Jainti River basin, Eastern India: a comparison of information value and logistic regression models. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5(2): 689-708.

- Lucà F., Conforti M. and Robustelli G. 2011. Comparison of GIS-based gullying susceptibility mapping using bivariate and multivariate statistics: Northern Calabria, South Italy. *Geomorphology*, 134(3-4): 297-308.
- Mehreban M., Golkarian A., and Khosravi Kh. 2018. Assessment of sensitivity to Gully erosion using maximum entropy model (Case study: Shorluq region of Khorasan Razavi province) 3rd National Conference on Soil Conservation and Watershed Management, 18-19 June, Tehran (In Persian)
- Melelli L., Vergari F., Liucci L., and Del Monte M. 2017. Geomorphodiversity index: Quantifying the diversity of landforms and physical landscape. *Science of the Total Environment*, 584: 701-714.
- Meliho M., Khattabi A., and Mhammdi N. 2018. A GIS-based approach for gully erosion susceptibility modelling using bivariate statistics methods in the Ourika watershed, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 77(18):655.
- Najafi S., and Sadeghi S.H.R. 2013. Comparative study of applying soil erosion mapping, fingerprinting and field measurement techniques in estimation of sediment sources. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 5 (3): 165-178 (In Persian)
- Novara A., Pisciotta A., Minacapilli M., Maltese A., Capodici F., Cerdà A. and Gristina L. 2018. The impact of soil erosion on soil fertility and vine vigor. A multidisciplinary approach based on field, laboratory and remote sensing approaches. *Science of the Total Environment*, 622:474-480.
- Prosdocimi M., Burguet M., Di Prima S., Sofia G., Terol E., Comino JR., and Tarolli P. 2017. Rainfall simulation and Structure-from-Motion photogrammetry for the analysis of soil water erosion in Mediterranean vineyards. *Science of the Total Environment*, 574: 204-215.
- Rahmati O., Pourghasemi HR. and Zeinivand H. 2016. Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golestan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1):42-70.
- Zakerinejad R., and Maerker M. 2015. An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran. *Natural Hazards*, 79(1): 25-50.
- Zhu B., Yu J., Rioual P., Gao Y., Zhang Y., and Min L. 2015. Geomorphoclimatic characteristics and landform information in the Ejina Basin, Northwest China. *Environmental Earth Sciences*, 73(11): 7547-7560.

Water Erosion Susceptibility Mapping Using Geomorphological Factors in Omarabad Watershed of Urmia

Rana Ahmadi¹, Habib Nazarnejad^{2*}, Saeed Najafi³

(Received: October 2020 Accepted: April 2021)

Abstract

Spatial distribution of erosion phenomena and susceptibility analysis of different parts of watersheds to their types, plays an important role in environmental planning, so that the preparation of susceptibility maps to types of erosion and identification of factors affecting it, can Reducing the risk of various erosive phenomena will lead to providing the necessary management measures for the relevant areas. In this research, a bivariate statistical method was investigated for analyzing the susceptibility of Surface, Rill, Channel and Riverbank erosion phenomena using eight factors of rock resistance, land use and land cover, slope percentage, slope aspect, plan curvature, slope length, stream power index and soil hydrologic group in Omarabad watershed of Urmia. The results showed that regarding the effect of various factors predisposing to the occurrence of Surface, Rill, Channel and Streambank erosion, acceptable results with a clear trend in surface and rill erosion were not obtained, However, in the case of channel and streambank erosion, each of the factors, according to the relevant classes, has a positive or negative effect on the occurrence of this type of erosion and the effect of one factor cannot be considered as complete, positive or negative. factors such as lithology, slope length, slope percentage, slope aspect and SPI have the most positive effect on the occurrence of Channel and Streambank erosion. On the other hand, according to the calibration of the susceptibility map to Channel and Streambank erosion, only 20% of the area with Channel and Streambank erosion related to calibration were in the range of areas with very high to severe sensitivity in the susceptibility map. This indicates the inefficiency of the susceptibility map produced using the above eight predisposing factors and emphasizes the research on other more important and effective factors in creating the desired erosion phenomena in the study area.

Keywords: Susceptibility to erosion, Soil conservation, bivariate statistical method, Erosion intensity

Ahmadi R., Nazarnejad H., and Najafi S. 2021. Water erosion susceptibility mapping using geomorphological factors in Omarabad watershed of Urmia. *Applied Soil Research*. 9(3): 43-56.

1. MSc student, Department of Range and Watershed Management, Urmia University

2. Associate Professor, Department of Range and Watershed Management, Urmia University

3. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Urmia University

* Corresponding Author Email: h.nazarnejad@urmia.ac.ir