دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

اولویت‌بندی زیرحوزه‌های بحرانی از لحاظ فرسایش و رسوب با استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه (WERM) و آنالیز مورفومتری (مطالعه موردی: حوزه آبخیز روضه‌چای، استان آذربایجان غربی)

رئوف مصطفی‌زاده[۱]، خدیجه حاجی[۲]، اباذر اسمعلی‌عوری[۳] و حبیب نظرنژاد[۴]

۱- استادیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
(نویسنده مسوول: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir)
۲- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۳- دانشیار گروه آموزشی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی
۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۲۶ /۹۵/۱۰

چکیده

اولویت‌بندی زیرحوزه‌های بحرانی به‌منظور کنترل رواناب سطحی و فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین راهکارهای افزایش کارآمدی عملیات مدیریت آبخیز و تسهیل دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد. هدف این پژوهش ارزیابی و اولویت‌بندی ۳۰ واحد هیدرولوژیک از نظر خطر فرسایش در حوزه آبخیز روضه‌چای واقع در غرب استان آذربایجان غربی با مساحت ۱۸۶/۴۱ کیلومترمربع، با استفاده از آنالیز مورفومتری و مدل پاسخ فرسایش حوزه (WERM) می‌باشد. به‌منظور محاسبه شاخص (WERM) از نقشه‌های کاربری‌اراضی، شیب، فرسایندگی باران استفاده شد. در آنالیز مورفومتری پارامترهای طول جریان، تراکم زهکشی، طول جریان سطحی، ضریب شکل زیرحوزه‌ها، ضریب گردی، ضریب کشیدگی و ضریب فشردگی (در دو دسته پارامترهای خطی و شکلی) محاسبه شدند. سپس اولویت‌بندی هریک از زیرحوزه‌ها از نظر خطر فرسایش با توجه به مقادیر شاخص (WERM) و میانگین کل پارامترهای مورفومتری تعیین گردید. در نهایت نقشه تلفیقی براساس بالا بودن مقادیر شاخص‌های مذکور به‌عنوان اولویت بالاتر مشخص شد و سپس اولویت نهایی و شرایط بحرانی هر زیرحوزه مشخص گردید. نتایج نشان داد که واحدهای هیدرولوژیکی SUB6، SUB2، IB11، IB3 و IB10 به‌ترتیب با شرایط بحرانی‌تر و اولویت بالاتر در انجام عملیات کنترلی و حفاظتی قرار گرفتند. در مجموع، روش مورد استفاده بر مبنای پاسخ آبخیز در حساسیت به فرسایش، با قابلیت می‌تواند در تعیین اولویت انجام عملیات کنترلی در آبخیز مورد استفاده قرار گیرد. در این راستا، توجه به زیرحوزه‌های دارای شرایط بحرانی براساس شرایط توپوگرافی و مورفومتری حوزه و هم‌چنین عوامل فرسایشی طبیعی و انسانی می‌تواند در برنامه‌ریزی و جلوگیری از هدررفت منابع آب و خاک و پیامدهای فرسایش مؤثر واقع شود.

واژه‌های کلیدی: رتبه‌بندی، زیرحوزه بحرانی، شاخص‌های مورفومتری، کنترل فرسایش، WERM

مقدمه

اجرای عملیات آبخیزداری در کل سطح حوزه آبخیز به‌دلیل کمبود بودجه، زمان و نیروی انسانی امکان‌پذیر نیست، بنابراین عملیات آبخیزداری باید در زیرحوزه‌هایی اجرا شود که اثرگذار بوده و بیش‌تر در معرض خطر هستند. اولویت‌بندی[۱] زیرحوزه‌ها امکان دستیابی به نتیجه مطلوب حاصل از عملیات آبخیزداری را با صرف هزینه و نیروی کم‌تر فراهم می‌نماید (۳۲). فرسایندگی باران به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر فرسایش خاک مطرح است که در قالب شاخص هایی بیان می‌شود (۲۹). حوزه آبخیز یک واحد منحصر به‌فرد برای مدیریت منابع طبیعی و برای دستیابی به توسعه پایدار می‌باشد (۱۵،۲۰). شرط اول کنترل عوامل فرسایشی و بهبود وضعیت بحرانی یک حوزه آبخیز، شناسایی مناطق و زیرحوزه‌های با وضعیت بحرانی‌تر و اولویت‌بندی آن‌ها می‌باشد تا در صورت اجرای عملیات کنترلی، مناطق دارای اولویت‌های بالاتر را بیش‌تر مد نظر قرار داده و برنامه‌های حفاظتی در این قبیل مناطق متمرکز شوند (۸). اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز شامل رتبه‌بندی زیرحوزه‌ها براساس وضعیت و شرایط منابع موجود و شدت فرسایش است که در نهایت منجر به اجرای عملیات حفاظتی و آبخیزداری در زیرحوزه‌های حساس و دارای اولویت‌های بالا می‌شود (۳۰). تقسیم حوزه‌های بزرگ به زیرحوزه‌های متعدد و مطالعه و اولویت‌بندی این زیرحوزه‌ها باعث کاهش زمان و هزینه‌های اجرایی عملیات آبخیزداری و هم‌چنین کارآیی بیش‌تر این طرح‌ها می‌شود (۱۹). اولویت‌بندی براساس فاکتورهای مهم طراحی و توسعه یک حوزه آبخیز از جمله ویژگی‌های فیزیوگرافی، شبکه زهکشی، ژئومورفولوژی، خاک، کاربری اراضی، پوشش زمین و منابع آب موجود در منطقه انجام می‌گیرد (۳). بنابراین مدل WERM یک چهارچوب برای برآورد فرسایش خاک با استفاده از پارامترهای مؤثر شامل (کاربری‌اراضی، شیب، فرسایندگی باران و نوع خاک) می‌باشد، که در سال ۲۰۱۱ توسط پانهلکار و پاور[۲] ارائه گردید. امکان وزن‌دهی طبقات مختلف لایه‌های مؤثر در فرسایش، شرایط استفاده از رویکرد مذکور را در مطالعات ارزیابی فرسایش خاک فراهم نموده است (۲۳). هم‌چنین مطالعه پارامترهای مورفومتری بیان کننده وضعیت حوزه، حساسیت به فرسایش و تعیین شدت فرسایش در منطقه است (۱۳). رفتار حوزه آبخیز با توجه به شاخص‌های مورفومتری برای فاکتورهای ارزیابی حفاظتی متفاوت است و بنابراین منطقه دارای اولویت برای اجرای اقدامات حفاظتی مشخص می‌شود (۲). شناخت

1- Prioritization
2- Panhalkar and Pawar

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

خصوصیات فیزیکی حوزه آبخیز از اولین گام‌های ضروری برای مطالعه هیدرولوژی، فرسایش و رسوب، مطالعه سیلاب و توسعه منابع آب و مدیریت حوزه است (۲۶). تحقیقات متعددی در مورد اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز انجام گرفته است که می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: عبدی (۱)، در مطالعه خود پهنه‌بندی اولویت و پتانسیل شدت فرسایش در اراضی حوزه آبخیز زنجان‌رود با استفاده از GIS را انجام داد و به این نتیجه رسید که با استفاده از روش شاخص فرسایش و ترکیب سه لایه اصلی در فرسایش خاک یعنی شیب، خاک و کاربری‌اراضی در محیط GIS می‌توان نسبت به اولویت‌بندی حساسیت و شدت فرسایش در یک منطقه اقدام نمود. بیوکت و تیفری[2](۵)، در مطالعه خود، ارزیابی خطرات فرسایش خاک و اولویت‌بندی برای عملیات مدیریتی در سطح آبخیز چیمگا[3] در اتیوپی را بررسی نمودند. به‌منظور بررسی خطر فرسایش خاک با استفاده از USLE، از عوامل بارش ماهانه، نقشه خاک، مدل ارتفاعی رقومی ۳۰ متری حاصل از نقشه‌های توپوگرافی، پوشش گیاهی، انواع کاربری‌اراضی و شیب منطقه استفاده شد. نتایج نشان داد که در بالادست، بیش از ۵۸ درصد سطح حوزه در معرض خطر خیلی شدید و هم‌چنین قسمت میانی و پایین‌دست حوزه که در آن اراضی شیب‌دار کشت و یا در معرض چرای بیش‌از حد قرار دارند، دارای خطر شدید فرسایش هستند. حدود ۲۵ درصد از حوزه، فرسایش خاک آن بیش از ۱۲۵ تن در هکتار در سال برآورد شد. در نتیجه ۱۸ واحد هیدرولوژیک حوزه را به شش کلاس اولویت طبقه‌بندی نمودند، در نهایت، با برآورد میزان فرسایش خاک، مناطق مستعد فرسایش شناسایی شد و بیان نمودند که استفاده از روش مذکور می‌تواند در سایر حوزه‌ها براساس نظرات کارشناسی، عملیات حفاظتی و استفاده بهینه از منابع محدود مورد استفاده قرار گیرد. پانهلکار و پاور (۲۳) به اولویت‌بندی توسعه حوزه با استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه (WERM) و GIS در حوزه ودگانگا[4]در هند پرداختند. ایشان پارامترهای مورد استفاده برای روش WERM شامل کاربری‌اراضی، شیب، فرسایندگی باران، نوع خاک را مورد مطالعه قرار دادند، سپس اثر تجمعی عوامل مؤثر بر فرسایش از طریق وزن‌دهی با همدیگر ترکیب و مناطق حساس به فرسایش را مشخص نمودند. نتایج ارزیابی اثر یکپارچه تمام پارامترها با استفاده از روش وزن‌دهی برای تعیین مناطق مختلف حساس به فرسایش خاک نشان داد که حدود ۲۷ درصد منطقه مستعد فرسایش خاک است. بنابراین براساس شاخص یکپارچه (WERM)، طرح حفاظت خاک به‌منظور مدیریت و توسعه حوزه و ارزیابی اولویت‌بندی توصیه شد. جمالی و همکاران (۱۲)، به‌منظور احداث سدهای توریسنگی، زیرحوزه‌ها را براساس تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی کردند. براساس نتایج پژوهش ایشان، فرسایش‌پذیری و سطوح نفوذناپذیر مؤثرترین عوامل در بحرانی بودن زیرحوزه‌هاست. آهر و همکاران (۲)، در پژوهش خود ۹ پارامتر مورفومتریکی حوزه آبخیز پیم‌پالاگون[5] در هند را با روش تحلیل سلسله مراتبی فازی[6] اولویت‌بندی کردند. نتایج ایشان نشان داد که ۶۰/۸۵ درصد حوزه در طبقه متوسط تا خیلی زیاد قرار دارد و نیازمند اقدامات حفاظتی است. خادسی[7] و همکاران (۱۴)، در پژوهش خود، اولویت‌بندی حوزه آبخیز را براساس مطالعات فرسایش خاک با استفاده از RS و GIS مورد مطالعه قرار دادند. ایشان برای برآورد فرسایش خاک و رسوب در اولویت‌بندی حوزه آبخیز، جهت طراحی سازه‌های حفاظت خاک و شناسایی مناطق بحرانی مستعد فرسایش یک حوزه، از معادله جهانی فرسایش خاک و شاخص رسوب، استفاده نمودند. نتایج نشان داد که براساس کلاس فرسایش خاک، حوزه به چهار اولویت، بسیار بالا، بالا، متوسط و پایین طبقه‌بندی شد، در نتیجه حوزه با اولویت بالا نیاز فوری به عملیات حفاظت آب و خاک دارد، در حالی که با اولویت پایین، حوزه دارای پوشش‌گیاهی خوب و میزان فرسایش کم می‌باشد و ممکن است نیاز به عملیات کنترلی و حفاظتی نداشته باشد. ناکوی[8] و همکاران (۲۱)، در پژوهش خود، عملکرد فرسایش خاک با استفاده از شاخص تولید رسوب[9] (SYI) سالانه در نون[10] حوزه نادی، هند را مورد مطالعه قرار دادند، هدف پژوهش شناسایی مناطق بحرانی از لحاظ میزان فرسایش خاک براساس اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها بود. با استفاده از روش شاخص (SYI)، وزن‌دهی پارامترهای خاک، توپوگرافی، فرسایندگی باران و کاربری‌اراضی در ۲۴ واحد هیدرولوژیکی را مورد هم‌پوشانی قرار دادند. مقادیر حداقل و حداکثر شاخص (SYI) محاسبه و به چهار منطقه اولویت طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که حدود ۱۴ درصد مساحت منطقه واقع در سه واحد هیدرولوژیکی دارای اولویت بسیار بالا و حدود ۳۰/۵۷ درصد از منطقه مورد مطالعه تحت مناطق با اولویت بالا قرار دارند که نیازمند عملیات کنترلی و حفاظتی بود و با توجه به زهکشی، شیب و فرسایش خاک منطقه، احداث بندهای اصلاحی در مکان‌هایی از حوزه را پیشنهاد نمودند. از آنجا که داده‌های رسوب در زیرحوزه‌های کوچک در دسترس نمی‌باشد، لذا اولویت‌بندی زیرحوزه‌های واقع در مناطق بالادست حوزه‌های آبخیز برای اهداف مدیریتی دشوار است. اجرای اقدامات آبخیزداری جهت جلوگیری از تخریب مناطق پایین‌دست، نفوذ آب و نیز حفاظت خاک، معمولا در زیرحوزه‌های بالادست آبخیز انجام می‌شود. از طرفی به‌دلیل گستردگی آبخیزهای متأثر از اثرات فرسایش خاک و هم چنین اختصاص اعتبارات بخش اجرا در حوزه‌های زمانی مختلف، امکان انجام اقدامات آبخیزداری در همه مناطق میسر نیست. بنابراین، اولویت‌بندی مناطق از نظر اقدامات مدیریتی می‌تواند رویکردی مؤثر در افزایش اثربخشی اقدامات آبخیزداری در آبخیزهای کشور باشد. لذا مشکل اصلی حوزه آبخیز مورد مطالعه، مدیریت نامناسب کشاورزی خصوصاً در اراضی شخم خورده در جهت شیب و کمبود علوفه در اثر چرای بیش از حد دام در مراتع است. به‌صورتی‌که اختصاص اراضی مناسب به‌منظور افزایش تولید علوفه در آبخیز روضه‌چای، فشار بر مراتع را تا حدی کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش فرسایش خاک خواهد شد. علاوه بر این، تبدیل اراضی کشاورزی به مراتع از مهم‌ترین علائم ناپایداری در منطقه و بروز پدیده فرسایش می‌باشد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر تعیین اولویت هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای با

1- Panhalkar and Pawar 2- Bewket and Teferi 3- Chemoga 4- Vedganga 5- Pimpalgaon
6- Fuzzy Analytical Hierarchy Process 7- Khadse 8- Naqvi 9- Sediment Yield Index 10- Nun

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه[1] و هم‌چنین آنالیز مورفومتری برای شناسایی مناطق بحرانی به‌منظور اجرای عملیات کنترلی و حفاظتی در این مناطق می‌باشد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در حوزه آبخیز روضه چای از زیرحوزه های دریاچه ارومیه که در ۲۰ کیلومتری غرب شهرستان ارومیه و در محدوده جغرافیایی ´۲۷ °۴۴ الی ´۵۵ °۴۴ طول شرقی واقع شده، نیز انجام پذیرفته است. پس از رقومی کردن مرز حوزه در نرم‌افزار ArcGIS10.1، مساحت و محیط کل حوزه به‌ترتیب ۱۸۶/۴۱ کیلومترمربع و ۷۵/۶۶ کیلومتر به‌دست آمد. حداکثر ارتفاع حوزه ۳۵۴۵ متر و حداقل ارتفاع در خروجی برابر ۱۴۷۱ متر از سطح دریا می باشد. طول رودخانه ی اصلی آن ۳۱/۵ کیلومتر است. موقعیت حوزه آبخیز روضه چای به همراه واحدهای هیدرولوژیکی آن در شکل (۱) ارائه شده است. این حوزه در مجموع دارای ۳۰ واحد هیدرولوژیک (۱۸ زیرحوزه مستقل و ۱۲ زیرحوزه غیرمستقل) می‌باشد.

شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز روضه‌چای در ایران و استان آذربایجان غربی و موقعیت واحدهای هیدرولوژیکی

Figure 1. The location of Rozechai watershed and its hydrologic units in West- Azerbaijan province, Iran

روش تحقیق

ارزیابی حساسیت نسبی زیرحوزه‌های مختلف به فرسایش خاک می‌تواند در چهارچوبی با در نظر گرفتن عوامل مؤثر در فرسایش انجام گیرد. در این راستا، رویکرد WERM می‌تواند به‌عنوان فرآیندی مثبت بر شاخص در پیش‌بینی واکنش آبخیز و اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. در روش WERM اثر تجمعی عوامل مؤثر بر فرسایش از طریق وزن‌دهی با همدیگر ترکیب و مناطق حساس به فرسایش را مشخص خواهد نمود (۱۶،۲۳). پارامترهای مورد استفاده برای روش WERM شامل کاربری‌اراضی، شیب، فرسایندگی باران، نوع خاک و خصوصیات مورفومتری به شرح زیر استفاده شد:

1- Watershed Erosion Response Model (WERM)

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

۱-کاربری‌اراضی: نقش بسیار حیاتی در تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری (حساسیت) خاک ایفا می‌کند. زمین تحت پوشش‌گیاهی نسبت به زمین آیش و بایر کم‌تر آسیب‌پذیر است، و جنگل انبوه و علفزار هم مانع از فرسایش خاک می‌باشند (۲۷). در نتیجه اراضی باید به درستی و با در نظر گرفتن توانایی و محدودیت‌های آن استفاده شود در غیر این‌صورت موجب فرسایش شدید خاک خواهد شد (۲۳،۳۱). هم‌چنین نقشه کاربری‌اراضی فعلی (سال ۱۳۹۳)، از اداره منابع‌طبیعی و آبخیزداری استان آذربایجان غربی اخذ و اصلاح به‌روز رسانی آن در محیط Google Earth مشخص و سپس نقشه آن نهایی گردید. بنابراین مقدار پتانسیل فرسایش محاسباتی در هر یک از کاربری‌های اراضی و هم‌چنین با توجه به مطالعات پانهلکار و پاور (۲۳) وزن‌های هر کاربری مشخص گردید، و براساس وزن مناسب به شش کلاس طبقه‌بندی شد (جدول ۱). بدین صورت که برای کاربری‌های اراضی با حداقل و حداکثر میزان فرسایش به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین وزن اختصاص داده شده است.

جدول ۱- وزن اختصاص داده شده برای کلاس‌های کاربری‌اراضی در حوزه آبخیز روضه‌چای

Table1. The assigned weights to different land use classes in Rozechai watershed

کاربری‌اراضی	مرتع متراکم	مرتع با پوشش متوسط	باغ	مناطق مسکونی	زراعت آبی	زراعت دیم
وزن اختصاص‌یافته	۱	۲	۳	۴	۵	۶

۲- شیب: از ویژگی‌های توپوگرافی که عمدتاً روند فرسایش را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد درجه شیب می‌باشد و در نتیجه در شیب بالاتر فرسایش بیش‌تر است. با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع، ابعاد شبکه‌های شیب در منطقه که ۱۰ متر می‌باشد، محاسبه گردید و این اطلاعات برای ارزیابی آسیب‌پذیری نسبت به فرسایش خاک استفاده شد سپس شیب منطقه براساس وزن مناسب طبق جدول (۲) به هفت کلاس طبقه‌بندی شد (۲۳). در نتیجه مقدار احتمال وقوع فرسایش در شیب‌های کم، اندک و وزن کم‌تری را به خود اختصاص می‌دهد و در خصوص شیب‌های زیاد این قضیه برعکس می‌باشد.

جدول ۲- وزن اختصاص داده شده برای کلاس‌های شیب در حوزه آبخیز روضه‌چای

Table 2. The assigned weights to different slope classes in Rozechai watershed

کلاس شیب	کم	خیلی ملایم	ملایم	متوسط	شدید	تند	خیلی تند
درصد شیب	٪ ۳-۰	٪ ۸-۳	٪ ۱۳-۸	٪ ۱۹-۱۳	٪ ۲۹-۱۹	٪ ۵۱-۲۹	٪ ۵۱ <
وزن اختصاص‌یافته	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷

۳- فرسایندگی باران: عامل فرسایندگی باران ضریبی است که نشان‌دهنده توان فرسایش‌زایی خاک توسط باران است، هم‌چنین رسوب حوزه تحت تأثیر میزان و شدت بارش می‌باشد و مناطق پربارش در مقایسه با مناطق کم‌بارش، از حساسیت بیش‌تری نسبت به فرسایش خاک برخوردار می‌باشند (۱۹). در این تحقیق به دلیل عدم وجود ایستگاه باران‌نگاری، از معادله‌ای که توسط آرنولدز[1] (۴) و رنارد و فریموند[2] (۲۵) ارائه شده است، عامل فرسایندگی باران محاسبه گردید. ابتدا ۸ ایستگاه مناسب از اطراف و داخل مرز حوزه مورد مطالعه را با توجه به دوره آماری مشخص که در جدول (۳) ارائه شد، انتخاب و سپس شاخص اصلاح شده فورنیه (MFI) را برای تمامی ایستگاه‌ها، از رابطه (۱) محاسبه و سپس با جای‌گذاری این شاخص در رابطه (۲) که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده است مقدار فاکتور (R) برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید (۹،۲۸). سپس با ارزیابی شرایط بارندگی، سه کلاس فرسایندگی باران شناسایی و وزن‌های مناسب به هر کلاس طبق جدول (۴) اختصاص داده شد.

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} p_i^2 / p \qquad (۱)$$

$$R - Factor = 0.264 MFI^{1.5} \qquad (۲)$$

در این معادله، MFI شاخص اصلاح شده فورنیه (میلی‌متر)، P_i متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i ام و P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) می‌باشند، و هم‌چنین R عامل فرسایندگی باران بر حسب (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت سال) می‌باشد.

1- Arnoldus

2- Renard and Freimund

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

جدول ۳- محاسبه و برآورد MFI و R برای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوزه آبخیز روضه‌چای

Table 3. The calculated values of Modified Fournier Index and Rainfall erosivity values in related rain gauge stations of Rozechai watershed

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	MFI	R
۱	کمپ ارومیه	۴۵/۰۳	۳۷/۵۳	۷۳	۱۶۶
۲	تپیک	۴۴/۹	۳۷/۶۶	۶۳	۱۳۲
۳	کلهور	۴۴/۸۸	۳۷/۶	۷۷	۱۸۱
۴	رزین	۴۴/۸	۳۷/۶۱	۹۹	۲۶۳
۵	شهرچای	۴۴/۸۶	۳۷/۴۳	۸۲	۱۹۷
۶	مارمیشو	۴۴/۶۳	۳۷/۵۸	۹۲	۲۳۴
۷	تالین	۴۴/۸۵	۳۷/۵۵	۸۳	۲۰۱
۸	چمان	۴۴/۷۸	۳۷/۴۸	۸۴	۲۰۴

جدول۴- وزن اختصاص داده شده برای کلاس فرسایندگی باران در حوزه آبخیز روضه‌چای

Table 4. The assigned weights to different rainfall erosivity classes in Rozechai watershed

کلاس فرسایندگی باران	فرسایندگی باران (میلی‌متر)	وزن‌دهی مناسب
زیاد	> ۲۰۳	۳
متوسط	۱۹۳ -۲۰۳	۲
کم	< ۱۹۳	۱

٤- خصوصیات مورفومتری: آنالیز مورفومتری یکی از روش‌های مؤثر برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها می‌باشد که می‌تواند بیانگر وضعیت شبکه زهکشی حوزه باشد (۱۳). هم‌چنین این فاکتور یکی از ابزارهای مهم در اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها بدون نیاز به بررسی نقشه خاک در منطقه می‌باشد (۲۲). این خصوصیات شامل پارامترهای متعددی است که در تحقیق حاضر پارامترهایی که تأثیر بیش‌تری در اولویت‌بندی و وضعیت فرسایشی دارند انتخاب شدند و سپس مقادیر آن‌ها محاسبه گردید. ویژگی‌های مورفومتری در دو دسته پارامترهای خطی و شکلی تقسیم و مورد تحلیل قرار گرفتند.

٤-۱- پارامترهای خطی: پارامترهای خطی حوزه آبخیز نسبت مستقیم با فرسایش داشته و به بیش‌ترین مقدار این دسته پارامترها کم‌ترین رتبه تعلق می‌گیرد و بیش‌ترین رتبه مربوط به کم‌ترین مقدار می‌باشد. این دسته شامل: تراکم زهکشی[1]، طول جریان[2] و طول جریان سطحی[3] می‌باشند.

۴-۱-۱- تراکم زهکشی: از تقسیم مجموع طول آبراهه‌ها به مساحت آن در هر زیرحوزه تعیین گردید (۱۰، ۲۴). بر این اساس تراکم زهکشی آبراهه با استفاده از رابطه (۳) محاسبه گردید:

$$D_d = \frac{\sum_1^N L}{A} \qquad (۳)$$

که در آن، D_d تراکم زهکشی آبراهه برحسب (کیلومتر بر کیلومترمربع)، L طول هر یک از آبراهه‌های موجود در حوزه (کیلومتر)، N تعداد کل آبراهه در حوزه، A مساحت حوزه آبخیز (کیلومترمربع) است.

۴-۱-۲- طول جریان: از مجموع طول آبراهه‌ها در هر زیرحوزه بر حسب کیلومتر به‌دست آمد (۷،۱۱).

۴-۱-۳- طول جریان سطحی: نصف تراکم زهکشی به‌عنوان طول جریان سطحی برای هر زیرحوزه، براساس رابطه (۴) محاسبه شد (۷، ۱۱).

$$L_0 = \frac{1}{2} D_d \qquad (۴)$$

٤-۲- پارامترهای شکلی: پارامترهای مربوط به واحدهای هیدرولوژیک با فرسایش نسبت عکس داشته و برعکس پارامترهای خطی به بیش‌ترین مقدار بیش‌ترین رتبه و به کم‌ترین مقدار کم‌ترین رتبه تعلق می‌گیرد. این دسته نیز شامل: ضریب کشیدگی[4]، ضریب فشردگی[5]، ضریب گردی[6] و ضریب شکل حوزه[7] می‌باشد.

۴-۲-۱- ضریب کشیدگی: روش محاسبه پارامتر ضریب کشیدگی به شرح رابطه (۵) است:

$$R_e = \frac{2\left(\sqrt{\frac{A}{\pi}}\right)}{L} \qquad (۵)$$

که در آن، A مساحت حوزه آبخیز (کیلومترمربع) و L طول حوزه (کیلومتر) است.

1- Drainage density 2- Stream length 3- Length of overland flow 4- Elongation ratio
5- Compactness coefficient 6- Circularity ratio 7- Form factor

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

۴-۲-۲- ضریب فشردگی: این ضریب عبارت است از نسبت محیط حوزه به محیط یک دایره فرضی که مساحتی برابر مساحت حوزه داشته باشد و از طریق رابطه (۶) محاسبه می‌شود (۱۷).

$$C_C = 0.28 \times \left(\frac{P}{\sqrt{A}}\right) \quad (۶)$$

که در آن، P محیط حوزه (کیلومتر) و A مساحت حوزه (کیلومترمربع) می‌باشد. این ضریب برای حوزه‌های گرد نزدیک به ۱ و برای حوزه‌های کشیده بیش از ۱ (حدود ۱/۵ تا ۲/۵) است.

۴-۲-۳- ضریب گردی: برای محاسبه ضریب گردی حوزه آبخیز از رابطه (۷) استفاده شد (۱۷).

$$R_C = 12.56 \times \left(\frac{A}{P^2}\right) \quad (۵)$$

که در آن، P محیط حوزه (کیلومتر) و A مساحت حوزه (کیلومترمربع) می‌باشد.

۴-۲-۴- ضریب شکل حوزه: مقدار عددی ضریب شکل براساس رابطه (۸) به‌دست آمد (۱۰،۲۴).

$$R_F = \frac{A}{L^2} \quad (۸)$$

که در آن، L طول حوزه (کیلومتر) و A مساحت حوزه (کیلومترمربع) می‌باشد.

بعد از محاسبه پارامترها و تعیین وزن آن‌ها در هر یک از زیرحوزه‌ها، میانگین کل وزن‌ها در هر زیرحوزه مطابق رابطه (۹) محاسبه شد.

(۹) تعداد کل پارامترها / (جمع وزن پارامترهای شکلی + جمع وزن پارامترهای خطی) = میانگین کل

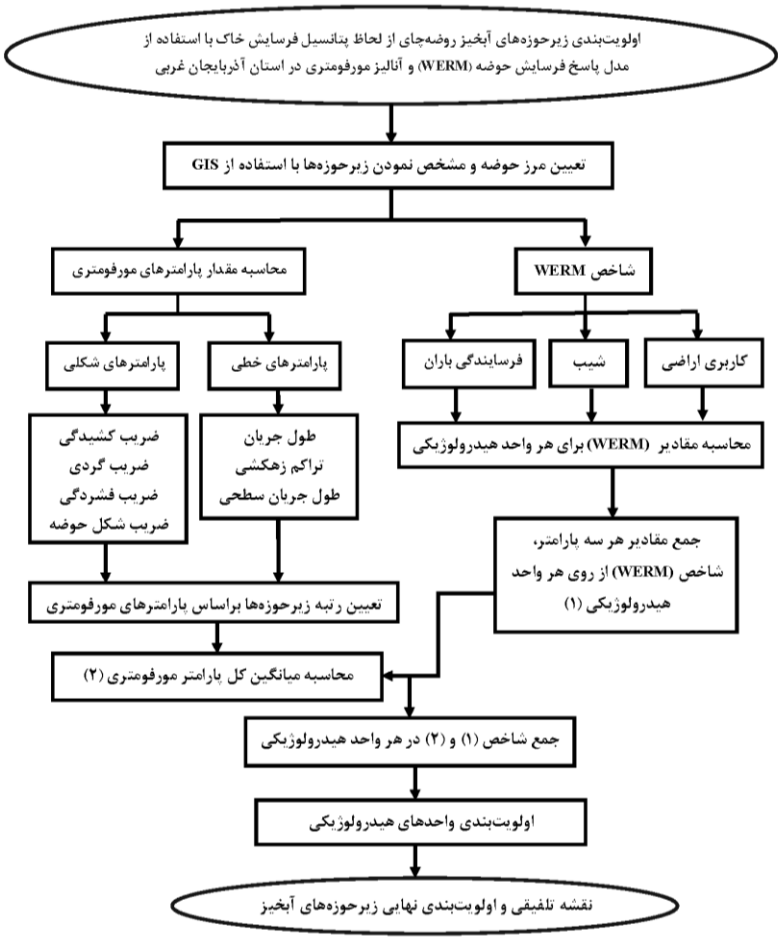
با محاسبه میانگین رتبه‌های داده شده به هر دسته از خصوصیات مورفومتری، زیرحوزه‌ها با توجه به جدول (۵) در هفت دسته قرار می‌گیرند. در نهایت کم‌ترین میانگین دارای اولویت اول، و بیش‌ترین میانگین دارای کم‌ترین اولویت خواهد بود (۶،۱۸).

جدول ۵- تعیین کلاس پارامترهای مورفومتری با توجه به میانگین آن‌ها

Table 5. Determining the classes of morphometric parameters based on their mean values

اولویت	مقادیر میانگین
بحرانی	< ۱۰
بسیار زیاد تا بحرانی	۱۰/۱-۱۲
زیاد تا بسیار زیاد	۱۲/۱-۱۴
متوسط تا زیاد	۱۴/۱-۱۶
کم تا متوسط	۱۶/۱-۱۸
خیلی کم تا کم	۱۸/۱-۲۰
خیلی کم	> ۲۰

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018



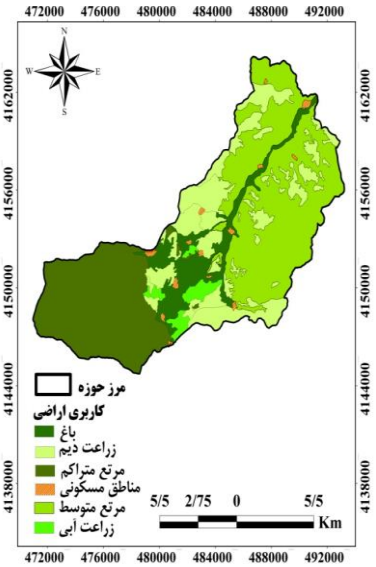
شکل ۲- نمودار جریانی اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها با استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه (WERM) و آنالیز مورفومتری

Figure 2. The flowchart of sub-watersheds prioritization using Watershed Erosion Response Model (WERM) and morphometric analysis

نتایج و بحث

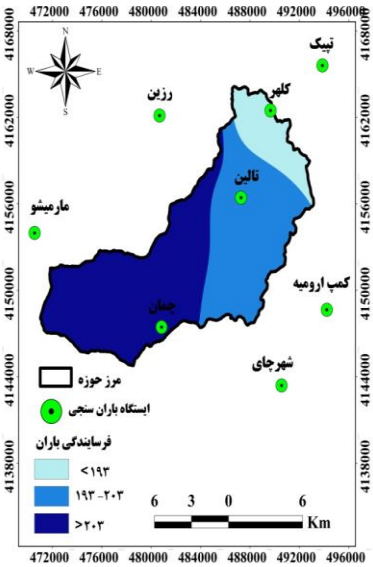
نقشه کاربری‌اراضی برای حوزه آبخیز روضه‌چای در محیط Google Earth مشخص و نقشه آن به شکل (۳) ارائه شده است. نقشه عامل فرسایندگی باران هم با استفاده از معادله فورنیه اصلاح شده که توسط رنارد و فریموند در سال ۱۹۹۴ (۲۵) ارائه شده است، محاسبه گردید. سپس از روش وزن‌دهی عکس فاصله در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.1 به‌صورت شکل (۴) درون‌یابی شد. از نقشه توپوگرافی و DEM منطقه برای ایجاد نقشه درصد شیب که به‌صورت شکل (۵) می‌باشد، استفاده‌شد.

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018



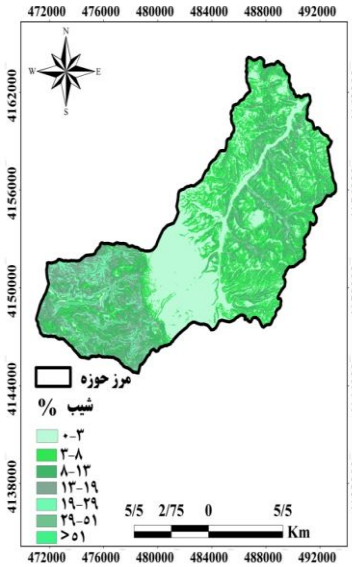
شکل۳- نقشه کاربری‌اراضی حوزه آبخیز روضه‌چای

Figure 3. The land use map of the Rozechai watershed



شکل ۴- نقشه فرسایندگی باران حوزه آبخیز روضه‌چای

Figure 4. The rainfall erosivity map of the Rozechai watershed



شکل۵- نقشه شیب حوزه آبخیز روضه‌چای

Figure 5. The slope classes of the Rozechai watershed

اعداد محاسبه شده شاخص (WERM) و پارامترهای مورفومتری در جدول (۶) نشان داده شده که از طریق روابط ارائه شده در بخش روش تحقیق و نرم‌افزار ArcGIS به‌دست آمده است. مقادیر عددی ارائه شده، نشان‌دهنده وزن پارامتر مورد نظر در هر زیرحوزه می‌باشد.

جدول ۶- مقادیر شاخص (WERM) و پارامترهای مورفومتری زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای

Table 6. The values of WERM index and morphometric parameters of the Rozechai sub-watersheds

واحد هیدرولوژیکی	شاخص (WERM)			پارامترهای مورفومتری						
				پارامتر خطی			پارامتر شکلی			
	کاربری‌اراضی	شیب	فرسایندگی باران	طول جریان	تراکم زهکشی	طول جریان سطحی	ضریب فشردگی	ضریب گردی	ضریب کشیدگی	ضریب شکل حوضه
IB1	۲/۷۴	۲/۰۳	۱	۸/۵۵	۳/۱۲	۱/۵۶	۱/۷۵	۰/۳۲	۰/۵۷	۰/۲۵
IB2	۲/۲۷	۱/۸۳	۱	۵/۵۱	۳/۳۳	۱/۶۷	۱/۲	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۵۴
IB3	۳/۳۲	۲/۱۱	۱	۵/۴۲	۱/۶۹	۰/۸۵	۱/۵۲	۰/۴۳	۰/۶۵	۰/۳۳
IB4	۲/۱۱	۲/۳۹	۱/۸۱	۹/۳۱	۲/۶۸	۱/۳۴	۱/۱۵	۰/۷۵	۰/۶۹	۰/۳۷
IB5	۲/۵۲	۲/۳۷	۲	۹/۳۱	۳/۵	۱/۷۵	۱/۵۱	۰/۴۳	۰/۶۶	۰/۳۴
IB6	۲/۲۲	۱/۹۱	۲	۹/۰۳	۳/۲۲	۱/۶۱	۱/۶۶	۰/۳۶	۰/۵۶	۰/۲۴
IB7	۲/۲۹	۱/۶۵	۲	۳/۹۲	۳/۴۹	۱/۷۵	۱/۲۸	۰/۶	۰/۹۴	۰/۷
IB8	۲/۹۸	۲/۰۷	۲/۰۱	۱۰/۱	۳	۱/۵	۱/۲۸	۰/۶	۰/۹۳	۰/۶۸
IB9	۲/۵۳	۲/۲۹	۲/۲۱	۶/۰۳	۲/۸۹	۱/۴۵	۱/۱۵	۰/۷۵	۱/۰۵	۰/۸۶
IB10	۲/۹۱	۱/۷	۲/۴۳	۵/۷۴	۲/۴	۱/۲	۱/۳۴	۰/۵۵	۰/۷۹	۰/۴۹
IB11	۳/۴۶	۱/۸۸	۲/۴۶	۷/۲۷	۲/۸۸	۱/۴۴	۱/۲۴	۰/۶۴	۱/۱۲	۰/۹۹
IB12	۳/۲۲	۱/۷۳	۳	۲۶/۳۸	۲/۷۵	۱/۳۸	۱/۷۵	۰/۳۲	۰/۴۴	۰/۱۵
SUB1	۳/۰۹	۲/۰۲	۱	۱۸/۲۹	۱/۶۲	۰/۸۱	۱/۳۸	۰/۵۲	۰/۶۱	۰/۲۹
SUB2	۳/۶۱	۲/۱۲	۱/۶۴	۱۶/۸۲	۱/۵۹	۰/۸	۱/۲۳	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۳۴
SUB3	۲/۲۶	۱/۸۸	۲	۶/۴۲	۲/۸۲	۱/۴۱	۱/۶۴	۰/۳۶	۰/۴۵	۰/۱۶
SUB4	۳/۴۹	۱/۸۷	۲/۴۲	۹/۳۱	۲/۶۸	۱/۳۴	۱/۴۸	۰/۴۵	۰/۵۵	۰/۲۴
SUB5	۴/۱۲	۱/۹۴	۲/۷۱	۱۷/۱۴	۲/۱۵	۱/۰۸	۱/۳۱	۰/۵۸	۰/۷۵	۰/۴۴
SUB6	۵/۸۱	۱/۵	۲/۹۹	۱۵/۲۲	۱/۷۹	۰/۹	۱/۲۳	۰/۶۵	۰/۷۹	۰/۴۹
SUB7	۲/۷۲	۲/۱۹	۱/۲۵	۲۳/۴۷	۱/۶۱	۰/۸۱	۱/۶	۰/۳۹	۰/۵۱	۰/۲۱
SUB8	۲/۶۱	۲/۴۶	۱/۶۶	۱۰/۱۲	۱/۶۸	۰/۸۴	۱/۵۴	۰/۴۱	۰/۴۹	۰/۱۹
SUB9	۳/۱۲	۲/۳۵	۲	۱۸/۷۴	۱/۷۳	۰/۸۷	۱/۴۲	۰/۴۹	۰/۵۳	۰/۲۲
SUB10	۳/۶۵	۲/۲۹	۲	۱۰/۸۱	۱/۶۲	۰/۸۱	۱/۵۵	۰/۴۱	۰/۴۸	۰/۱۸
SUB11	۲/۱۶	۲/۵۴	۲	۵۴/۳۶	۱/۷۱	۰/۸۶	۱/۴۵	۰/۴۷	۰/۶۴	۰/۳۲
SUB12	۳/۳۳	۲/۰۱	۲	۸/۵	۱/۶۶	۰/۸۳	۱/۴	۰/۵	۰/۵۴	۰/۲۳
SUB13	۲/۱۴	۲/۳۷	۲	۲۰/۴۲	۱/۵۸	۰/۷۹	۱/۳۸	۰/۵۲	۰/۶	۰/۲۸
SUB14	۳/۹	۱/۷۲	۲/۲۷	۸۲/۳۲	۱/۹۱	۰/۹۶	۱/۴۵	۰/۴۷	۰/۹۱	۰/۶۵
SUB15	۲/۲۷	۲/۲	۳	۱۴/۳۸	۱/۶۹	۰/۸۵	۱/۸۲	۰/۳	۰/۴	۰/۱۳
SUB16	۱/۲۴	۳/۳۴	۳	۸۲/۲۶	۱/۸۶	۰/۹۳	۱/۴۹	۰/۴۴	۰/۵۴	۰/۲۳
SUB17	۲/۳۶	۲/۶۵	۳	۲۳/۲۸	۲/۲۱	۱/۱۱	۱/۶۵	۰/۲۶	۰/۴۳	۰/۱۴
SUB18	۲/۰۲	۲/۹۷	۲/۹۹	۶۱/۰۵	۱/۸۹	۰/۹۵	۱/۸۶	۰/۲۹	۰/۴	۰/۱۲

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

وزن یا رتبه پارامترهای مورفومتری در زیرحوزه‌ها در جدول (۷) ارائه شده است. این اعداد نشان‌دهنده اولویت‌بندی زیرحوزها نسبت به همدیگر در هر پارامتر است. عدد ۱ اولویت اول (اولویت بالا از نظر فرسایش) و عدد ۳۰ اولویت نهایی (اولویت پایین از نظر فرسایش) را برای اقدامات آبخیزداری نشان می‌دهد. این اولویت‌بندی براساس اعداد جدول (۶) به‌دست آمد.

جدول ۷- رتبه‌ی زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای براساس پارامترهای مورفومتری

Table 7. The prioritization of Rozechai sub-watersheds based on morphometric parameters

واحد هیدرولوژیکی	پارامترهای مورفومتری						
	پارامتر خطی			پارامتر شکلی			
	طول جریان	تراکم زهکشی	طول جریان سطحی	ضریب فشردگی	ضریب گردی	ضریب کشیدگی	ضریب شکل حوزه
IB1	۲۲	۵	۵	۲۸	۳	۱۴	۱۴
IB2	۲۸	۳	۳	۳	۲۸	۲۵	۲۵
IB3	۲۹	۲۲	۲۲	۲۰	۱۱	۱۸	۱۸
IB4	۱۸	۱۲	۱۲	۱	۲۹	۲۱	۲۱
IB5	۱۹	۱	۱	۱۹	۱۲	۱۹	۱۹
IB6	۲۱	۴	۴	۲۶	۵	۱۳	۱۳
IB7	۳۰	۲	۲	۷	۲۴	۲۸	۲۸
IB8	۱۷	۶	۶	۶	۲۵	۲۷	۲۷
IB9	۲۶	۷	۷	۲	۳۰	۲۹	۲۹
IB10	۲۷	۱۳	۱۳	۱۰	۲۱	۲۳	۲۳
IB11	۲۴	۸	۸	۵	۲۶	۳۰	۳۰
IB12	۵	۱۰	۱۰	۲۷	۴	۴	۴
SUB1	۱۰	۲۷	۲۷	۱۱	۲۰	۱۶	۱۶
SUB2	۱۲	۲۹	۲۹	۹	۲۲	۲۰	۲۰
SUB3	۲۵	۹	۹	۲۴	۷	۵	۵
SUB4	۲۰	۱۱	۱۱	۱۷	۱۴	۱۲	۱۲
SUB5	۱۱	۱۵	۱۵	۸	۲۳	۲۲	۲۲
SUB6	۱۳	۱۹	۱۹	۴	۲۷	۲۴	۲۴
SUB7	۶	۲۸	۲۸	۲۳	۸	۸	۸
SUB8	۱۶	۲۴	۲۴	۲۱	۱۰	۷	۷
SUB9	۹	۲۰	۲۰	۱۴	۱۷	۹	۹
SUB10	۱۵	۲۶	۲۶	۲۲	۹	۶	۶
SUB11	۴	۲۱	۲۱	۱۵	۱۶	۱۷	۱۷
SUB12	۲۳	۲۵	۲۵	۱۳	۱۸	۱۱	۱۱
SUB13	۸	۳۰	۳۰	۱۲	۱۹	۱۵	۱۵
SUB14	۱	۱۶	۱۶	۱۶	۱۵	۲۶	۲۶
SUB15	۱۴	۲۳	۲۳	۲۹	۲	۲	۲
SUB16	۲	۱۸	۱۸	۱۸	۱۳	۱۰	۱۰
SUB17	۷	۱۴	۱۴	۲۵	۶	۳	۳
SUB18	۳	۱۷	۱۷	۳۰	۱	۱	۱

جمع شاخص (WERM) و میانگین پارامترهای خطی و شکلی در زیرحوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در جدول (۸) نشان داده شده است. در ادامه با استفاده از میانگین به‌دست آمده، زیرحوزه‌ها اولویت‌بندی شدند.

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

جدول ۸- اولویت نهایی براساس شاخص (WERM) و میانگین پارامترهای مورفومتری زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای

Table 8. The final prioritization of Rozechai sub-watersheds based on WERM index and mean value of morphometric parameters

واحد هیدرولوژیکی	مساحت (کیلومتر مربع)	محیط (کیلومتر)	جمع شاخص (WERM) (۱)	میانگین رتبه‌های پارامتر مورفومتری (۲)	جمع (۱) و (۲)	اولویت نهایی
IB1	۲/۵۴	۹/۹۶	۵/۷۷	۱۳/۰۰	۱۸/۷۷	۲۵
IB2	۰/۵۹	۳/۲۹	۵/۱	۱۶/۴۳	۲۱/۵۳	۲۰
IB3	۱/۷۳	۷/۱۲	۶/۴۳	۲۰/۰۰	۲۶/۴۳	۴
IB4	۱/۲۵	۴/۵۸	۶/۳۱	۱۶/۲۹	۲۲/۶۰	۱۵
IB5	۲/۴۶	۸/۴۶	۶/۸۹	۱۲/۸۶	۱۹/۷۵	۲۴
IB6	۰/۷۲	۵/۰۵	۶/۱۳	۱۲/۲۹	۱۸/۴۲	۲۶
IB7	۰/۴۵	۳/۰۶	۵/۹۴	۱۷/۲۹	۲۳/۲۳	۱۴
IB8	۲/۵۲	۷/۲۴	۷/۰۶	۱۶/۲۹	۲۳/۳۵	۱۳
IB9	۱/۲۴	۴/۵۶	۷/۰۳	۱۸/۵۷	۲۵/۶۰	۶
IB10	۰/۷۵	۴/۱۵	۷/۰۴	۱۸/۵۷	۲۵/۶۱	۵
IB11	۱/۳۱	۵/۰۷	۷/۸	۱۸/۷۱	۲۶/۵۱	۳
IB12	۱۱/۱۹	۲۰/۸۸	۷/۹۵	۹/۱۴	۱۷/۰۹	۳۰
SUB1	۷/۵۷	۱۳/۵۴	۶/۱۱	۱۸/۱۴	۲۴/۲۵	۱۱
SUB2	۶/۵۸	۱۲/۱۵	۷/۳۷	۲۰/۱۴	۲۷/۵۱	۲
SUB3	۱/۳۶	۶/۸۴	۶/۱۴	۱۲/۰۰	۱۸/۱۴	۲۸
SUB4	۲/۱۵	۷/۷۴	۷/۷۸	۱۳/۸۶	۲۱/۶۴	۱۹
SUB5	۴/۸۸	۱۰/۳۲	۸/۷۷	۱۶/۵۷	۲۵/۳۴	۷
SUB6	۶/۹۶	۱۱/۵۵	۱۰/	۱۸/۵۷	۲۸/۸۷	۱
SUB7	۷/۴۱	۱۵/۵۱	۶/۱۶	۱۵/۵۷	۲۱/۷۳	۱۸
SUB8	۳/۰۶	۹/۶۵	۶/۷۳	۱۵/۵۷	۲۲/۳۰	۱۷
SUB9	۵/۳۱	۱۱/۷۰	۷/۴۷	۱۴/۰۰	۲۱/۴۷	۲۱
SUB10	۲/۹۷	۹/۵۲	۷/۹۴	۱۵/۷۱	۲۳/۶۵	۱۲
SUB11	۱۴/۱۲	۱۹/۴۵	۶/۷	۱۵/۸۶	۲۲/۵۶	۱۶
SUB12	۲/۹۴	۸/۵۶	۷/۳۴	۱۸/۰۰	۲۵/۳۴	۸
SUB13	۵/۹۴	۱۲/۰۲	۶/۵۱	۱۸/۴۳	۲۴/۹۴	۹
SUB14	۲۵/۸۱	۲۶/۳۵	۷/۸۹	۱۶/۵۷	۲۴/۴۶	۱۰
SUB15	۵/۳۰	۱۴/۹۷	۷/۴۷	۱۳/۵۷	۲۱/۰۴	۲۲
SUB16	۲۷/۱۷	۲۷/۷۰	۷/۵۸	۱۲/۷۱	۲۰/۲۹	۲۳
SUB17	۶/۴۵	۱۴/۹۳	۸/۰۱	۱۰/۲۹	۱۸/۳۰	۲۷
SUB18	۲۳/۶۸	۳۲/۳۰	۷/۹۸	۱۰/۰۰	۱۷/۹۸	۲۹

براساس جدول (۶)، ابتدا میانگین (کاربری‌اراضی، شیب و فرسایندگی باران) برای تمام واحدهای هیدرولوژیکی منطقه محاسبه و سپس از مجموع میانگین پارامترهای مذکور، شاخص (WERM) ارائه شده، با توجه به جدول (۸) به‌دست آمد. هم‌چنین میانگین پارامترهای مورفومتری خطی (تراکم زهکشی، طول جریان و طول جریان سطحی) و شکلی (ضریب کشیدگی، ضریب فشردگی، ضریب گردی و ضریب شکل حوزه) براساس رابطه (۹)، نشان داد که زیرحوزه‌های (SUB7 و SUB8)، (IB4 و IB8)، (SUB5 و SUB14) و هم‌چنین (IB9، IB10 و SUB6) به‌ترتیب برابر ۱۵/۵۷، ۱۶/۲۹، ۱۶/۵۷ و ۱۸/۵۷ هستند که اولویت هر کدام از زیرحوزه‌ها نسبت به یکدیگر با توجه به شدت فرسایش تعیین شد، زیرا مقادیر بیش‌تر فرسایش نشان‌دهنده حساس بودن شرایط منطقه است. نتایج اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها از نظر شرایط وقوع فرسایش در جدول (۹) ارائه شده است.

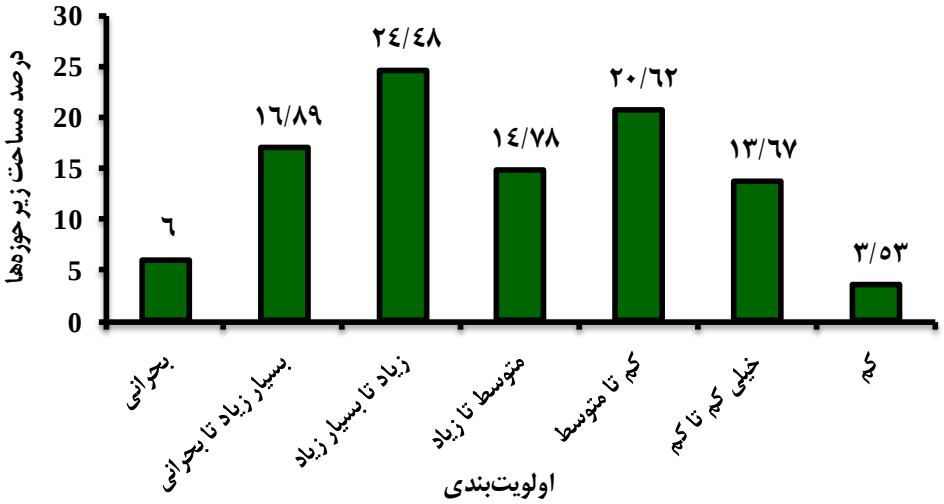
Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

جدول ۹- تعداد زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای براساس اولویت‌بندی

Table 9. The different prioritized group of sub-watersheds, Rozechai

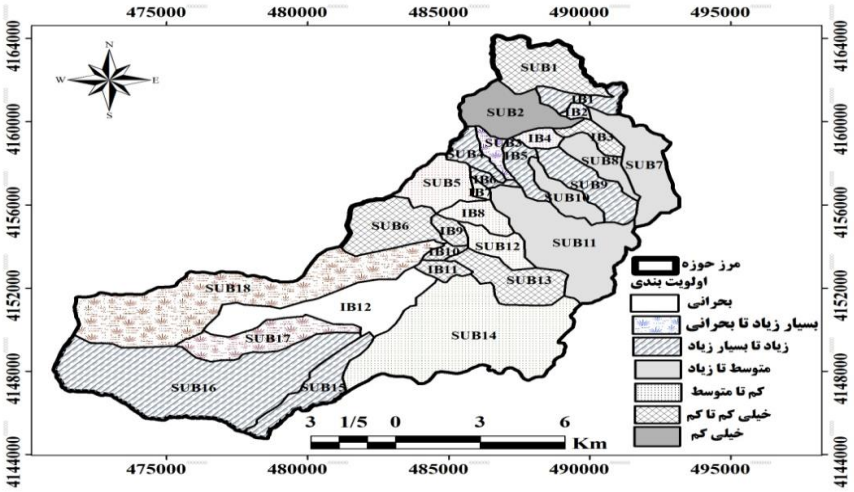
اولویت	تعداد زیرحوزه‌ها	زیرحوزه
بحرانی	۱	IB12
بسیار زیاد تا بحرانی	۳	SUB3,SUB17,SUB18
زیاد تا بسیار زیاد	۷	IB1,IB5,IB6,IB9,SUB4,SUB9,SUB15
متوسط تا زیاد	۴	SUB7,SUB8,SUB10,SUB11
کم تا متوسط	۷	IB2,IB4,IB7,IB8,SUB5,SUB12,SUB14
خیلی کم تا کم	۷	IB3,IB9,IB10,IB11,SUB1,SUB2,SUB6,SUB13
خیلی کم	۱	SUB2

براساس اطلاعات جدول (۹) که درصد و تعداد طبقات را نشان می‌دهد، بیش‌ترین تعداد زیرحوزه‌ها در سه طبقه قرار دارند که بیش‌ترین درصد زیرحوزه (۷ زیرحوزه با ۲۴/۴۸ درصد) براساس شکل (۶) ارائه شده، در اولویت زیاد تا بسیار زیاد می‌باشد. به‌طور کلی ۱۵ زیرحوزه (کم تا متوسط، خیلی کم تا کم و خیلی کم) وضعیت مناسب و ۱۵ زیرحوزه بعدی (بحرانی، بسیار زیاد تا بحرانی و زیاد تا بسیار زیاد) در اولویت اول اقدامات آبخیزداری قرار می‌گیرند. بر این اساس، شکل (۷) اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها را در هفت طبقه براساس جدول (۹) نشان می‌دهد.



شکل ۶- اولویت‌بندی درصد مساحت زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای براساس آنالیز مورفومتری

Figure 6. The prioritization of percent area of Rozechai sub-watersheds based on morphometric analysis

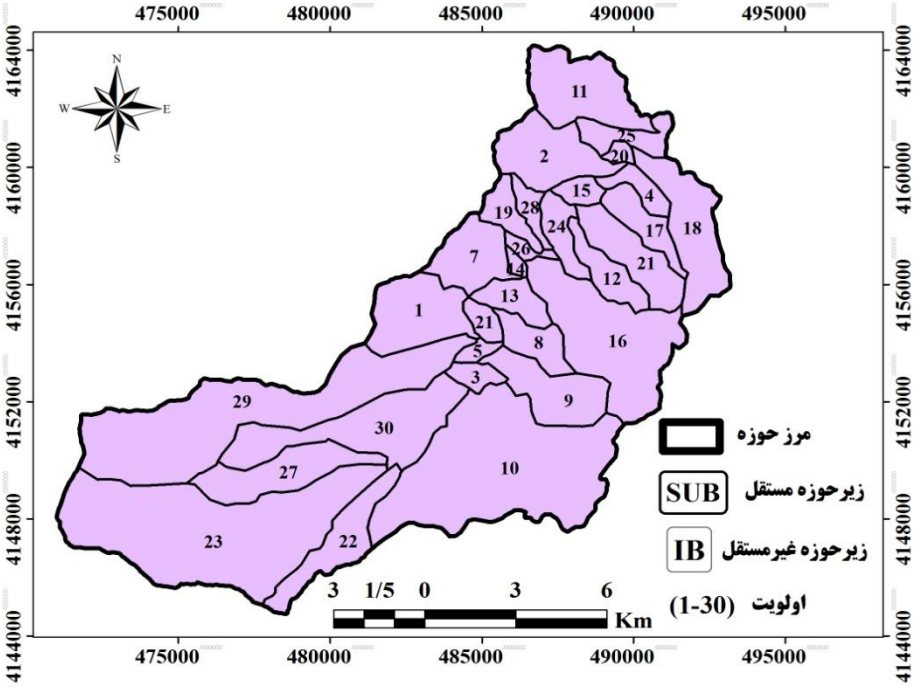


شکل ۷- اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای براساس آنالیز مورفومتری

Figure 7. The prioritization of Rozechai sub-watersheds based on morphometric analysis

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیکی براساس آنالیز مورفومتری در شکل (۷) نشان‌دهنده این است که، (IB12) با ۶ درصد مساحت دارای مقدار فرسایش بیش‌تر و در نتیجه زیرحوزه غیرمستقل دارای وضعیت بحرانی‌تر و اولویت بالاتر می‌باشد و بیانگر این است که شرایط واحد هیدرولوژیکی (IB12) بیش‌تر دارای باغ، شیب متوسط و هم‌چنین فرسایندگی باران زیاد، در منطقه می‌باشد.



شکل ۸- نقشه تلفیقی و اولویت‌بندی نهایی زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای
Figure 8. The final integrated prioritization of Rozechai sub-watersheds

براساس نتایج ارائه شده در شکل (۸)، زیرحوزه‌های مورد مطالعه در ۳۰ اولویت قرار گرفته و عدد یک دارای بیش‌ترین اولویت و بحرانی‌ترین شرایط و در مقابل طبقه ۳۰ دارای اولویت پایین و بهترین شرایط را نسبت به سایر زیرحوزه‌ها دارا می‌باشد. واحدهای هیدرولوژیکی SUB6، SUB2، IB11، IB3 و IB10 به‌ترتیب دارای شرایط بحرانی و اولویت بالاتر می‌باشند، که شرایط منطقه براساس ۵ واحد هیدرولوژیکی مذکور، بیش‌تر شامل باغ و مرتع متوسط، شیب متوسط و هم‌چنین فرسایندگی زیاد باران است، در نتیجه وجه مشترک آن‌ها را می‌توان به عامل توپوگرافی نسبت داد، که نیازمند انجام عملیات کنترلی و حفاظتی هستند. در این خصوص نتایج تحقیق در استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه به‌منظور تعیین مناطق بحرانی و اولویت‌بندی مناطق به‌منظور کنترل فرسایش با نتایج عبدی (۱)، بیوکت و تیفری (۵)، پانهلکار و پاور (۲۳)، آهر و همکاران (۲)، ناکوی و همکاران (۲۱) در یک راستا است. انجام اقدامات حفاظتی براساس اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها باعث افزایش تاثیر اقدامات مدیریتی در آبخیز شده و نیز برنامه‌ریزی در تخصیص زمان و بودجه برای عملیات کنترلی را تسهیل می‌نماید. پژوهش حاضر با هدف تعیین اولویت زیرحوزه‌های آبخیز روضه‌چای از نظر وقوع فرسایش با استفاده از مدل پاسخ فرسایش حوزه (WERM) و تحلیل مورفومتری آبخیز انجام شد. پس می‌توان بیان نمود که در حوزه آبخیز روضه‌چای با توجه به شرایط توپوگرافی و مورفولوژیکی حوزه و هم‌چنین عوامل فرسایشی طبیعی و انسانی، امکان تعیین زیرحوزه‌های دارای شرایط بحرانی‌تر وجود خواهد داشت. نکته قابل توجه این است که ممکن است نتایج اولویت‌بندی در استفاده از شاخص‌های مورفومتری و شاخص‌های مربوط به کاربری، شیب و بارش متفاوت و یا در یک راستا باشد، ولی رویکرد تلفیقی مورد استفاده در تحقیق حاضر مزایای هر دو روش را با هم ترکیب نموده و نتایج قابل قبول‌تری ارائه خواهد داد. علاوه بر این، شیوه وزن‌دهی و نیز وزن هر کدام از شاخص‌ها می‌تواند براساس شرایط منطقه مورد مطالعه و نیز نظرات کارشناسی متفاوت باشد، که یکی از مزایای رویکرد مورد استفاده می‌باشد. با توجه به سهل‌الوصول بودن پارامترهای مورد استفاده در پژوهش حاضر، امکان اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها با روش مذکور در اکثر آبخیزهای فاقد آمار کشور وجود دارد. نتایج اولویت‌بندی می‌تواند در تعیین نوع عملیات مناسب برای کنترل فرسایش مورد استفاده قرار گیرد.

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

منابع

1. Abdi, P. 2013. Zoning priorities and potential erosion of landuse in the Zanjanrood watershed by using GIS. National Geomatics Conference, Tehran, 1-7 (In Persian).
2. Aher, P.D., J. Adinarayana and S.D. Gorantivar. 2013. Prioritization of Watersheds using multi-criteria evaluation through fuzzy analytical hierarchy process. Agricultural Engineering, 15(1): 11-18.
3. Amani, M. and A. Najafinejad. 2014. Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis, GIS and RS Techniques: Lohandar Watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management Research, 5(9): 1-15 (In Persian).
4. Arnoldus, H.M.J. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation, In: De Boodt, Assessment of Erosion, Chichester, New York, pp: 127-132.
5. Bewket, W. and E. Teferi. 2009. Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: Case study in the Chemoga Watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. Land Degradation and Development, 20: 609-622.
6. Chandniha, S.K. and M.L. Kansal. 2014. Prioritization of sub-watersheds based on morphometric analysis using geospatial technique in Piperiya watershed, India. Applied Water Science, pp:1-10.
7. Gajbhiye, S., S.K., Mishra and A. Pandey. 2014. Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis: an RS and GIS perspective. Applied Water Science, 4: 51-61.
8. Gajbhiye, S., S.K. Sharma and C. Meshram. 2014. Prioritization of watershed through sediment yield index using RS and GIS approach. International Journal of Science and Technology, 6(7): 47-60.
9. Hakimkhani, Sh., M.H. Mahdian and M. Arabkhedri. 2007. Mapping rainfall erosivity for Namak lake basin, Journal of the Iranian Natural Research, 60(3): 713-726 (In Persian).
10. Horton, R.E. 1932. Drainage basin characteristics. Transaction American Geophysics Union, 13(1): 350-361.
11. Horton, R.E. 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to quantitative morphology. Bulletin of the Geological Society of America, 56: 275-370.
12. Jamali, A., J. Ghodusi and M. Farah Bakhsh. 2011. Spatial multi criteria analysis techniques in order to watershed prioritizing for gabion check dams building. Journal Research and Development, 1(90):1- 10.
13. Javed, A., M.Y. Khanday and R. Ahmed. 2009. Prioritization of Sub-watersheds based on morphometric and land use analysis using Remote Sensing and GIS Techniques. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 37: 261-274.
14. Khadse, G.K., R. Vijay and P.K. Labhasetwar. 2015. Prioritization of catchments based on soil erosion using Remote Sensing and GIS. Environmental Monitoring and Assessment, 187-333.
15. Khan, M.A., V.P. Gupta and P.C. Moharana. 2001. Watershed prioritization using RS and GIS: a case study from Guhiya, India. Journal of Arid Environments, 49: 456-475.
16. Laflen, J.M. 1991. WERM a next generation of erosion prediction technology. Journal of Soil and Water Conservation, 46: 34-38.
17. Mahdavi, M. 2001. Applied hydrology. 2nd vol University of Tehran Press, 441 pp (In Persian).
18. Manjunath, H. and T.S. Suresh. 2014. Morphometric and land use/ land cover based sub-watershed prioritiziation of Torehalla using Remote Sensing and GIS. International Journal of Applied and Natural Sciences (IJANS), 1(3): 41-48.
19. Mostafazadeh, R. 2008. Simulating the hydrological effects of checkdams to evaluate structural management scenarios for flood control in Jafar-Abad watershed, Golestan Province-Iran. M.Sc. Thesis in Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources, 124 pp (In Persian).
20. Mostafazadeh, R., S.H.R. Sadeghi and A. Sadoddin. 2015. Analysis of storm-wise sedimentgraphs and rating loops in Galazchai Watershed, West-Azarbaijan. Journal of Water and Soil Conservation, 21(5): 175-191 (In Persian).
21. Naqvi, H.R., A.S.M. Abdul Athick, H.A. Ganaie and M.A. Siddiqui. 2015. Soil erosion planning using sediment yield index method in the Nun Nadi watershed, India. International Soil and Water Conservation Research, 3(2): 86-96.
22. Pandey, A., V.M. Chawdary and B.C. Mal. 2007. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and RS. Water Resource Management, 21: 729-746.
23. Panhalkar, S. and C.T. Pawar. 2011. Watershed development prioritization by applying WERM Model and GIS Techniques in Vedganga basin (India). Journal of Agricultural and Biological Science, 6(10): 38-44.
24. Pawar-Patil, V.S. and S.P. Mali. 2013. Watershed charachterization and prioritization of Tulasi subwatershed: a Geospatial approach. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, 2(6): 2182-2189.
25. Renard, K.G. and J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, National Agricultural Library. Journal of Hydrology, 157: 287-306.
26. Sadeghi, S.H.R. and R. Mostafazadeh. 2016. Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales. Environmental Earth Sciences, 75(9): 843.
27. Sadoddin, A., V.B. Sheikh, R. Mostafazadeh and M.GH. Halili. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian Watershed, Iran. International Journal of Plan Production, 4(1): 51-62.
28. Shabani, M. 2011. Evaluation of geostatistical methods for rainfall erosivity, Watershed Engineering and Management, 3(3): 168-177 (In Persian).

29. Sokouti, R., D. NikKami and E. Brooshke. 2017. Study of rain erosivity index of West Azarbaijan province for rain iso-erosive mapping. Journal of Watershed Management Research, 8(15): 36-44 (In Persian).
30. Suresh, M., S. Sudhakar, K.N. Tiwari and V.M. Chawdary. 2005. Prioritization of watershed using morphometric parameters and assessment of surface water potential using RS. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 32: 11.
31. Talebikhiavi, H., M. Zabihi and R. Mostafazadeh. 2017. Effects of land-use management scenarios on soil erosion rate using GIS and USLE model in Yamchi dam watershed, Ardabil. Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources), 21(2): 221-234 (In Persian).
32. Tali-Khoshk, S., M. Mohseni Saravi, M. Vafakhah and Sh. Khalighi-Sigarodi. 2015. Comparison of Neuro-fuzzy and SCS methods in sub-watersheds prioritization for watershed measures (Case study: Taleghan watershed). Range and Watershed Management, 68(2): 213-225.

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018

Prioritization the Critical Sub-Watersheds based on Soil Erosion and Sediment using Watershed Erosion Response Model (WERM) and Morphometric Analysis (Case study: Rozechai Watershed, West Azerbaijan Province)

Raoof Mostafazadeh[1], Khadijeh Haji[2], Abazar Esmali-Ouri[3] and Habib Nazarnejad[4]

1- Assistant Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, (Corresponding author: raoofmostafazadeh@uma.ac.ir)

2- M.Sc. Student of Watershed Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

3- Associate Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili

4- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Urmia University

Received: May 14, 2016 Accepted: January 15, 2017

Abstract

Prioritization of critical sub-watershed is an important procedure to control runoff and erosion phenomenon and considered as effective way in management of watersheds and achieving sustainable development. The main aim of this study is assessing the soil erosion-prone areas and prioritization of 30 hydrologic response unit of Rozehchai Watershed that located in West Azerbaijan province (186.41 km^2) using Morphometric Analysis and Watershed Erosion Response Model (WERM). The WERM index has been calculated using landuse, slope, and rainfall maps. The sub-watershed-related morphometric indices were used under the two categories of linear and shape parameters (e.g. Stream length, Drainage density, Length of overland flow, Form factor, Circularity coefficient, Elongation coefficient and Compactness coefficient). The priorities of sub-watersheds with respect to erosion rate were determined using the values of WERM model and the total mean of morphometric parameters values. Finally, the integrated map was obtained according to the highest values of calculated indices and the critical condition of each sub-watershed was determined based on the final values of assigned scores. The results showed that the SUB6, SUB2, IB11, IB3 and IB10 sub-watersheds had critical condition and are ranked as high priority areas, respectively. These areas require immediate practical and the control and protection. In addition, the used method based on watershed response and sensitivity to soil erosion can be used as effective tools in prioritization of watershed for implementation of soil erosion control measures. In this regard, defined critical sub-watersheds based on topographic and morphometric indices along with natural and anthropogenic factors can be considered in the planning of soil erosion control in watersheds and soil and water conservation programs.

Keywords: Prioritization, Critical sub-watershed, Morphometric indices, Erosion control, WERM model

Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir at 13:48 +0330 on Saturday February 24th 2018