

تلفیق روش FSM و تحلیل مورفومتری در رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از تکنیک‌های RS و GIS (مطالعه موردی: حوضه اوزرود)

سید محمد موسوی^{۱*}، خلیل غلام‌نیا^۲، محمدرضا ممشلی^۳، شهرام روستایی^۴

۱ و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تبریز

۳. استاد گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی دانشگاه تبریز

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۱۴؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۳۰)

چکیده

یکی از مسائل و مشکلات جدی حوضه‌های آبخیز ایران فرسایش خاک محسوب می‌شود و می‌توان از آن به‌عنوان یکی از موانع مهم برای دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی نام برد. در بیشتر کشورهای جهان به‌دلیل نبود آمار دقیق از میزان فرسایش و رسوب، بهره‌گیری از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب گریزناپذیر است. به‌منظور اعمال مدیریت اثربخش بر عرصه‌های منابع طبیعی به‌خصوص منابع خاک، نیاز است که با استفاده از رتبه‌بندی، زیرحوضه‌ها برای انجام عملیات حفاظتی اولویت‌بندی شوند. در این پژوهش، زیرحوضه‌های حوضه آبخیز اوزرود شامل ۱۷ زیرحوضه، با استفاده از تحلیل مورفومتری و روش FSM مطالعه شده است. در تحلیل مورفومتری از پارامترهای خطی شامل؛ پارامترهای تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، نسبت بافت، طول جریان و فراوانی جریان و همچنین پارامترهای شکلی شامل؛ ضریب کشیدگی، ضریب فشردگی، نسبت گردی، ضریب شکل حوضه و ضریب فرم حوضه استفاده شد. همچنین در روش FSM برای تعیین میزان رسوب سالانه از ۷ پارامتر نمره‌دهی (توپوگرافی، آبکندها، پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، اقلیم و حفاظت خاک) که بدین‌منظور از داده‌های مدل رقومی ارتفاع، تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸، نقشه زمین‌شناسی، داده‌های هواشناسی و بازدیدهای میدانی استفاده شد. نتایج تحلیل‌های صورت‌گرفته نشان داد در روش تحلیل مورفومتری، زیرحوضه B از نظر وضعیت شبکه زهکشی و همچنین در روش FSM از نظر تولید رسوب سالانه زیرحوضه N با تولید بیش از ۶۵۹۳ تن، بحرانی‌ترین زیرحوضه بودند، اما با تلفیق نتایج دو روش در پنج طبقه مشخص شد که زیرحوضه H به اولویت اول در بین زیرحوضه‌ها دست یافت. شایان ذکر است که نتایج این پژوهش می‌تواند راهگشای اهداف توسعه‌ای مدیران بخش‌های کشاورزی و منابع طبیعی باشد.

کلیدواژگان: اوزرود، تحلیل مورفومتری، رتبه‌بندی، روش FSM.

مقدمه

فرسایش پدیده‌ای است که طی آن مواد خاکی توسط عواملی مانند آب، باد و نیروی گرانش انتقال می‌یابند [۱]. در بیشتر کشورهای جهان به دلیل نبود آمار دقیق از میزان فرسایش خاک و تولید رسوب، بهره‌گیری از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب گریزناپذیر است. در حقیقت، یکی از مدل‌های مهم رسوب‌دهی برآورد کمی و رقومی کردن داده‌های به‌دست آمده از رسوب‌دهی است [۲]. به دلیل وسعت زیاد اغلب حوضه‌های آبخیز در ایران، امکان اجرای طرح‌های حفاظتی و آبخیزداری در حوضه آبخیز وجود ندارد. بنابراین، برای افزایش عملکرد طرح‌های آبخیزداری ابتدا باید مناطق بحرانی یک حوضه آبخیز از نظر پتانسیل فرسایش خاک، شناسایی و اولویت‌بندی شوند [۳]. با بررسی‌های انجام‌گرفته مشخص شد که مطالعات زیادی در خصوص مدل‌های برآورد رسوب و وضعیت شبکه زهکشی صورت گرفته که به‌طور اجمالی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: با کاربرد روش‌های نیمه‌کمی و نرخ رسوب مخازن رسوب‌گیر در اسپانیا، عملکرد رسوب را پیش‌بینی کردند و نشان دادند با استفاده از برآورد رسوب سالانه می‌توان برآورد قابل اعتمادی در حوضه‌های کوچک تا متوسط با سطح کمی از داده‌ها انجام داد [۴]. برای پیش‌بینی فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه اسپانیا ۹ مدل نیمه‌کمی را بررسی کردند و گفتند که برای افزایش کارایی مدل‌های نیمه‌کمی باید به داده‌های توپوگرافی با قدرت تفکیک مکانی زیاد و توزیع مناسب تصاویر ماهواره‌ای دسترسی داشت [۵]. در حوضه ویلاپالی هند، به بررسی مورفومتریک حوضه جنوب هند با استفاده از داده‌های سنجنده راداری SRTM و تکنیک GIS پرداختند، نتیجه این مطالعه نشان داد با توجه به پارامترهای مورفومتری قابلیت تخلیه این حوضه بسیار زیاد بوده است و سبب کاهش قابلیت بالقوه آب‌های زیرزمینی شده است [۶].

دارایی و همکارانش در حوضه پل دوآب سازند از تکنیک‌های خوشه‌بندی چندمیانگینی و روش سلسله‌مراتبی با هدف طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها در گروه‌های همگن از ۱۰ پارامتر مورفومتری استفاده کردند که نتایج این مطالعه نشان داد هر دو روش برای خوشه‌بندی زیرحوضه‌ها دقت ۹۵ درصد دارد [۷]. در پژوهشی دیگر با هدف اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها براساس آنالیز مورفومتریک با استفاده از سنجش از دور و GIS در حوضه میزورام کشور هند اقدام کردند. در نهایت، با محاسبه هریک از پارامترهای مورفومتریک، مناطق با اولویت

زیاد، متوسط و کم به‌ترتیب شامل ۹، ۷ و ۶ زیرحوضه رتبه‌بندی شد [۸]. در پژوهشی اقدام به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از آنالیز مورفومتری و تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبخیز تالار استان مازندران کردند. بر مبنای اولویت‌بندی تأثیر دو پارامتر مورفومتری و کاربری اراضی با هم از بین ۲۱ زیرحوضه تالار، ۹ زیرحوضه با ۶۰/۵۶ درصد مساحت در اولویت بسیار زیاد، ۶ زیرحوضه با ۲۵/۲۲ درصد مساحت در اولویت زیاد، ۵ زیرحوضه با ۱۲/۱۹ درصد مساحت در اولویت متوسط و یک زیرحوضه با مساحت ۲/۰۳ درصد مساحت در اولویت کم قرار گرفتند [۹]. همان‌طور که در پژوهش‌های یادشده بیان شد در بیشتر حوضه‌های بدون آمار از روش‌های نیمه‌کمی و یا آنالیز مورفومتری استفاده شد؛ اما حوضه‌ها بدون آمار بودند و در نتیجه با استفاده از تحلیل مورفومتری و روش‌های برآورد رسوب به‌صورت نیمه‌کمی مطالعه شدند. از یک طرف، پارامترهای مورفومتری برای وضعیت حوضه و میزان مساعدبودن شرایط برای فرسایش‌پذیری و تعیین شدت فرسایش و از طرف دیگر، روش‌های نیمه‌کمی برآورد فرسایش اغلب با استفاده از نظر کارشناسی به تشریح وضعیت تولید رسوب در حوضه‌های مختلف می‌پردازند. در این پژوهش با توجه به اینکه حوضه آبخیز اوزرود بدون آمار است و وسعت زیادی نیز دارد با هدف انجام تعیین زیرحوضه‌های دارای شرایط بسیار بحرانی و بحرانی از نظر تولید رسوب و در نهایت رتبه‌بندی زیرحوضه‌ها برای اولویت‌بندی به‌منظور کنترل انواع فرسایش‌های موجود در منطقه و همچنین افزایش بهره‌وری در انجام پروژه‌های آبخیزداری و حفاظت آب و خاک، لازم شد از تلفیق نتایج هر دو روش استفاده شود تا اینکه دقت اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بیشتر شود.

مواد و روش‌ها

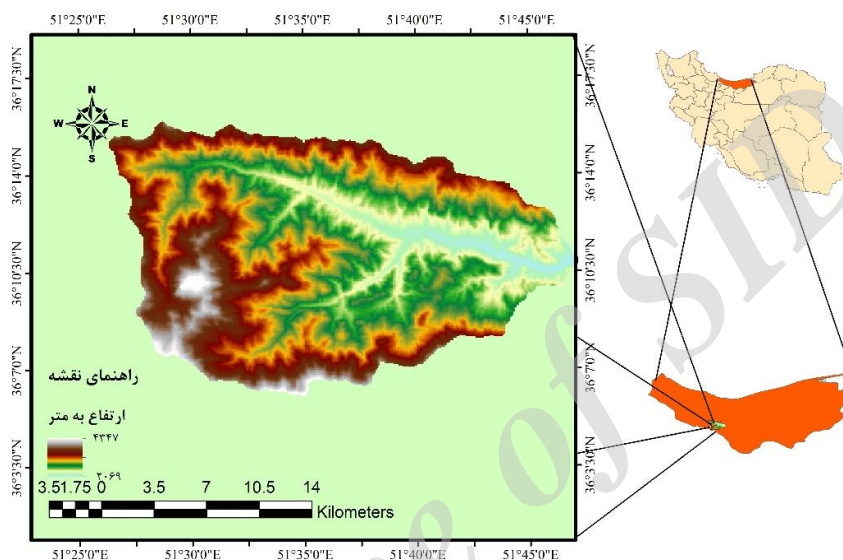
حوضه آبخیز اوزرود در محدوده $51^{\circ}17'47''$ تا $51^{\circ}26'22''$ طول شرقی و $36^{\circ}05'58''$ تا $36^{\circ}15'47''$ عرض شمالی در استان مازندران در جنوب شهرستان نور و در بالادست شهر بلده واقع شده است. مساحت حوضه اوزرود ۳۹۰ کیلومترمربع است و در منطقه کاملاً کوهستانی واقع شده است. میانگین ارتفاع حوضه ۲۹۱۴ متر از سطح آب‌های آزاد است. میانگین بارندگی طبق آمار هفت‌ساله از ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۵ سازمان هواشناسی استان مازندران در ایستگاه بلده ۳۲۰ میلی‌متر و

عامل مؤثر در فرسایش شامل توپوگرافی، میزان آبکندها، پوشش گیاهی، سنگ‌شناسی، شکل حوضه آبخیز اشاره دارد که براساس جدول‌های ۱ و ۲ به آنها امتیازدهی می‌شوند. امتیاز ۱ برای فرسایش‌پذیری کم، امتیاز ۲ مربوط به فرسایش‌پذیری متوسط و امتیاز ۳ مربوط به فرسایش‌پذیری زیاد که برای هر عامل فرسایشی مؤثر در حوضه است [۵].

طبق تقسیم‌بندی اقلیمی فورنیه این منطقه اقلیم خشک است. نقشه موقعیت منطقه مطالعه شده در شکل ۱ نمایش داده شده است.

روش FSM

روش FSM، یک مدل نیمه‌کمی است که برای اولین بار به منظور بررسی میزان فرسایش در کشور اسپانیا برای مناطق با آبکند و آبراهه زیاد ارائه شد که این مدل به پنج



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مطالعه شده

جدول ۱. عوامل مؤثر در روش FSM و امتیازات آنها

| عامل | امتیاز | شرح عامل |
|------------|--------|---|
| توپوگرافی | ۱ | شیب بسیار ملایم و نزدیک رودخانه اصلی، اختلاف ارتفاع ۲۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر |
| | ۲ | شیب ملایم و نزدیک رودخانه اصلی، اختلاف ارتفاع ۲۰۰-۵۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر |
| | ۳ | شیب تند و نزدیک رودخانه اصلی، اختلاف ارتفاع بیش از ۵۰۰ متر در هر ۵ کیلومتر |
| پوشش گیاهی | ۱ | خوب، بیش از ۷۵ درصد از سطح حوضه دارای پوشش گیاهی |
| | ۲ | متوسط، ۲۵-۷۵ درصد از سطح حوضه دارای پوشش گیاهی |
| | ۳ | فقیر، کمتر از ۲۵ درصد از سطح حوضه دارای پوشش گیاهی |
| آبکند | ۱ | بسیار کم یا بدون آبکند |
| | ۲ | کم با عمق قابل مشاهده |
| | ۳ | زیاد با عمق قابل مشاهده |
| سنگ‌شناسی | ۱ | آهک، ماسه‌سنگ یا کنگلومرا، هوازدگی کم |
| | ۲ | نهشته‌های رسوبی نئوژن، گراول و غیره |
| | ۳ | مواد با هوازدگی زیاد، لس یا مارن |
| شکل حوضه | ۱ | کشیده با یک رودخانه اصلی |
| | ۲ | بین دایره‌ای و کشیده، نیمه‌گرد |
| | ۳ | دایره‌ای شکل با چندین رودخانه اصلی |

جدول ۲. تفسیر دو عامل اقلیم و عملیات حفاظتی

| عامل | امتیاز | شرح عامل و چگونگی امتیازدهی |
|-----------|--------|---------------------------------------|
| اقلیم | ۱ | خشک (اندیس فورنیه زیر ۷۵) |
| | ۲ | نیمه‌خشک (اندیس فورنیه بین ۷۵ تا ۱۵۰) |
| | ۳ | مرطوب (اندیس فورنیه بیشتر از ۱۵۰) |
| حفاظت خاک | ۱ | سازه حفاظت خاک زیاد (بیش از ۷۰ درصد) |
| | ۲ | سازه حفاظت خاک متوسط (۳۰-۷۰ درصد) |
| | ۳ | سازه حفاظت خاک کم (کمتر از ۳۰ درصد) |

پارامترهای تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، نسبت بافت، طول جریان و فراوانی جریان هستند [۱۳]. روند تهیه نهایی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از روش‌های FSM و تحلیل مورفومتری در شکل ۲ نشان داده شده است.

محاسبه و نتایج مقادیر FSM و تعیین نرخ فرسایش‌پذیری (SSY)

برای تعیین درجه پوشش گیاهی، به دلیل کوهستانی بودن منطقه و بارش غالب به شکل برف از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ مربوط به تابستان ۲۰۱۶ استفاده شد که طی آن از فاکتور پوشش گیاهی طبق رابطه ۲ استفاده شد [۱۴]. به منظور تعیین امتیاز مربوط به اقلیم از روش فورنیه و با داده‌های آماری هفت‌ساله تهیه‌شده از اداره کل هواشناسی استان مازندران اقدام شد و برای تهیه نقشه شیب منطقه از مدل رقومی ارتفاع استفاده شده است. همچنین برای مشخص کردن میزان حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و روش طبقه‌بندی سنگ‌ها براساس سختی آنها [۱۵] و برای تعیین امتیاز عملیات حفاظت خاک که شامل همه عملیات مکانیکی است و میزان فرسایش آبکنندگی شامل مناطق با آبکند بسیار کم یا بدون آبکند تا مناطق با آبکند زیاد با عمق قابل مشاهده در منطقه است بازدید میدانی انجام گرفته است و موقعیت هر یک از مشاهدات را به وسیله موقعیت‌یاب GPS روی نقشه منطقه مطالعه شده تطبیق داده شد. همچنین برای مشخص کردن امتیاز شکل زیرحوضه که نشان‌دهنده کشیده تا دایره‌ای شکل بودن زیرحوضه‌ها است از روش گراولوس استفاده شد و نتایج در سه طبقه امتیازدهی شدند. در آخر امتیازهای به‌دست‌آمده برای هر زیرحوضه در هم ضرب شد و در فرمول محاسبه نرخ فرسایش‌پذیری (SSY) قرار داده و به صورت تن در کیلومتر مربع در سال مشخص شد.

همچنین مطالعات دقیق‌تر نشان داد دخالت عوامل اقلیمی و حفاظت خاک می‌تواند به برآورد بهتر رسوب‌دهی حوضه کمک کند [۱۰].

در نهایت، امتیازهای به‌دست‌آمده مربوط به هر یک از عوامل در هم ضرب می‌شود و مقدار اندیس نیمه‌کمی (FSM index) به دست می‌آید. سپس با استفاده از مساحت حوضه و اندیس نیمه‌کمی و با بهره‌گیری از رابطه ۱ رسوب ویژه برآورد می‌شود [۴].

$$SSY = 4139(A)^{-0.44} + 7/77FSM\ index - 310/99 \quad (1)$$

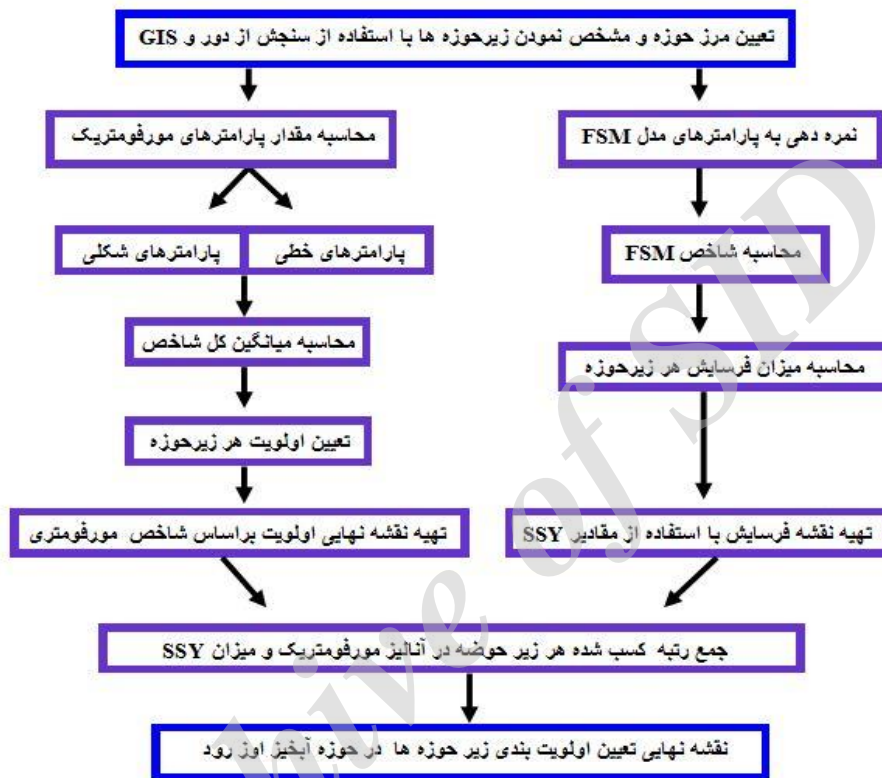
خصوصیات مورفومتری

تحلیل مورفومتری یکی از روش‌های مؤثر برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها است که می‌تواند بیانگر وضعیت شبکه زهکشی حوضه باشد [۱۱]. همچنین این فاکتور یکی از ابزارهای مهم در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بدون نیاز به بررسی نقشه خاک در منطقه است [۱۲]. شکل حوضه بیان‌کننده سیل‌خیزی، زمان تمرکز و الگوی زهکشی، نشان‌دهنده وضعیت زمین‌شناسی و نوع خاک منطقه است. بنابراین، مطالعه پارامترهای مورفومتری بیان‌کننده وضعیت حوضه و میزان مساعده بودن شرایط برای فرسایش‌پذیری و تعیین شدت فرسایش در منطقه است. در پژوهش حاضر ویژگی‌های مورفومتری به دو دسته پارامتر شکلی و خطی تقسیم می‌شوند [۱۱]. در پارامترهای شکلی، پارامترها با فرسایش نسبت عکس دارند و به بیشترین مقدار، بیشترین رتبه و به کمترین مقدار، کمترین رتبه تعلق می‌گیرد. این دسته شامل پارامترهای ضریب کشیدگی، ضریب فشردگی، نسبت گردی، ضریب شکل حوضه و ضریب فرم حوضه هستند. همچنین پارامترهای خطی نسبت مستقیم با فرسایش دارند و به بیشترین مقدار این دسته پارامترها کمترین رتبه و به بیشترین رتبه، کمترین مقدار تعلق می‌گیرد. این گروه شامل

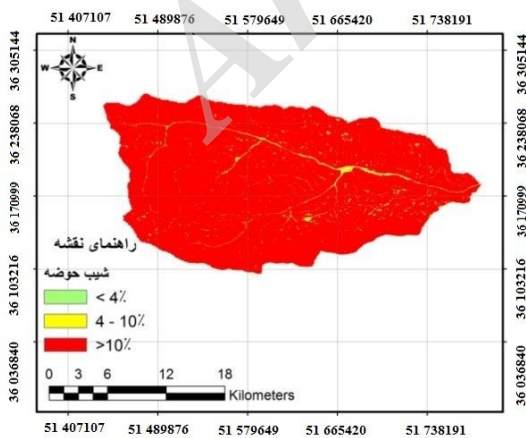
منطقه‌ای^۱ در نرم‌افزار Arc-GIS استفاده شد. در شکل‌های ۳-۸ نقشه‌های تولیدشدهٔ هریک از عوامل نشان داده شده است. همچنین مطابق جدول ۳ مقادیر و امتیازهای مربوط به هریک از عامل‌های FSM، شاخص FSM و نرخ فرسایش‌پذیری (SSY) نشان داده شده است.

$$C = \exp\left(a - \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right) \quad (2)$$

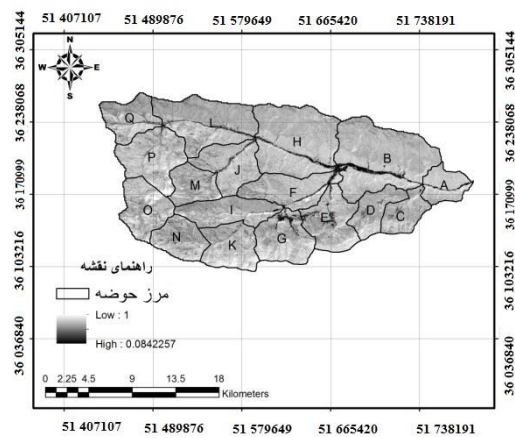
در این فرمول پارامتر a و β به ترتیب برابر ۲ و ۱ هستند و مقادیر به دست آمده باید بین صفر تا یک را در بر گیرند [۱۵]. به منظور محاسبهٔ متوسط شیب و پوشش گیاهی برای هر زیرحوضه، از روش برآورد میانگین



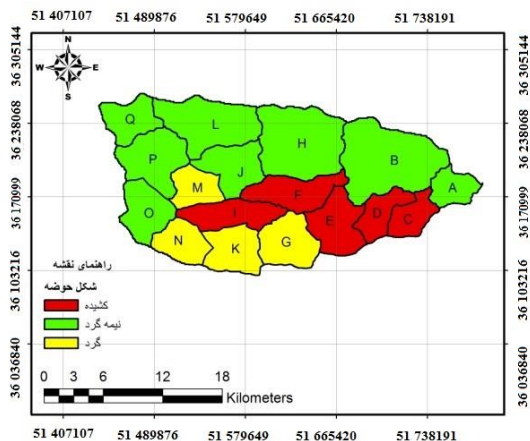
شکل ۲. روند تهیهٔ نقشهٔ نهایی اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها



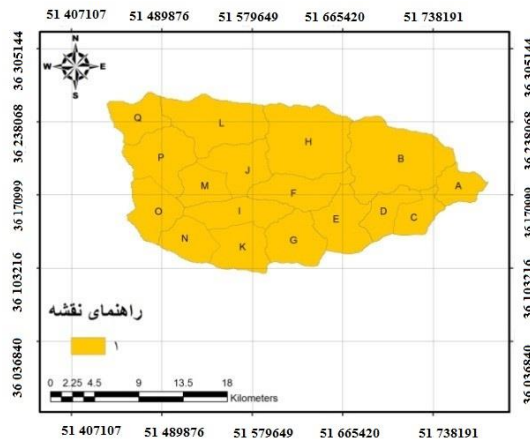
شکل ۴. نقشهٔ امتیازدهی عامل پوشش گیاهی



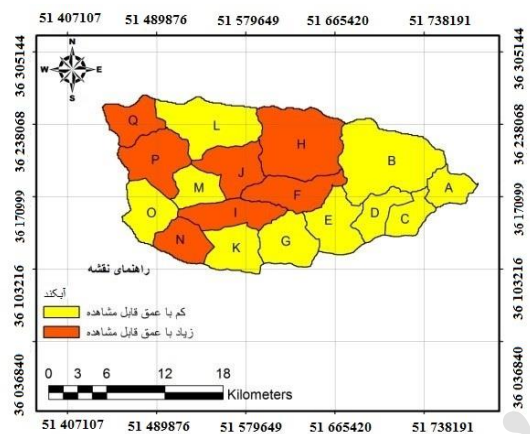
شکل ۳. نقشهٔ امتیازدهی عامل شیب



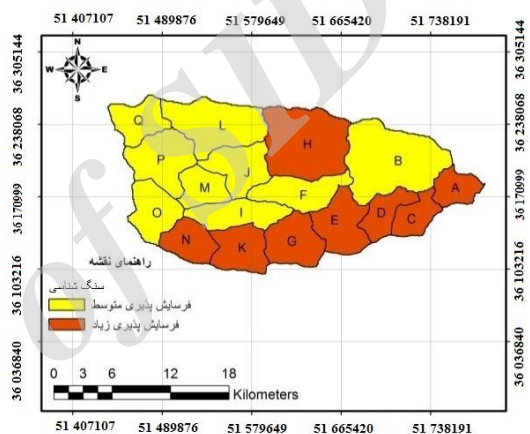
شکل ۶. نقشه امتیازدهی عامل اقلیم



شکل ۵. نقشه امتیازدهی عامل شکل زیرحوضه



شکل ۸. نقشه امتیازدهی آبکند



شکل ۷. نقشه امتیازدهی عامل سنگ شناسی

جدول ۳. مقادیر و امتیازات مربوط به هریک از عوامل FSM، شاخص FSM و نرخ رسوب سالانه (مقادیر SSY برحسب تن است)

| نام حوضه | پوشش گیاهی | آبکند | شکل حوضه | حفاظت خاک | لیتولوژی | اقلیم | شیب | شاخص FSM | نرخ رسوب سالانه SSY |
|----------|------------|-------|----------|-----------|----------|-------|-----|----------|---------------------|
| A | ۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۵۹۸/۶۵ |
| B | ۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲۱۶ | ۲۰۹۴/۴۴ |
| C | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱۰۸ | ۱۸۹۴/۳۸ |
| D | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱۰۸ | ۱۸۵۲/۰۵ |
| E | ۲ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۱۰۸ | ۱۵۸۰/۱۷ |
| F | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۱۶۲ | ۲۰۱۴/۳۵ |
| G | ۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۲۷۷/۵۴ |
| I | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۱۶۲ | ۲۰۵۱/۷ |
| H | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۴۸۶ | ۴۲۳۹/۸۲ |
| J | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۲۸۷/۶۲ |
| K | ۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۳۲۵/۷۸ |
| L | ۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲۱۶ | ۲۲۲۹/۳۲ |
| M | ۳ | ۲ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۵۰۲/۹۲ |
| N | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۳ | ۱ | ۳ | ۷۲۹ | ۶۵۹۲/۵۴ |
| O | ۳ | ۲ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۲۱۶ | ۲۴۸۳/۱۲ |
| P | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۱۸۶/۲۵ |
| Q | ۳ | ۳ | ۲ | ۳ | ۲ | ۱ | ۳ | ۳۲۴ | ۳۴۲۲/۴۱ |

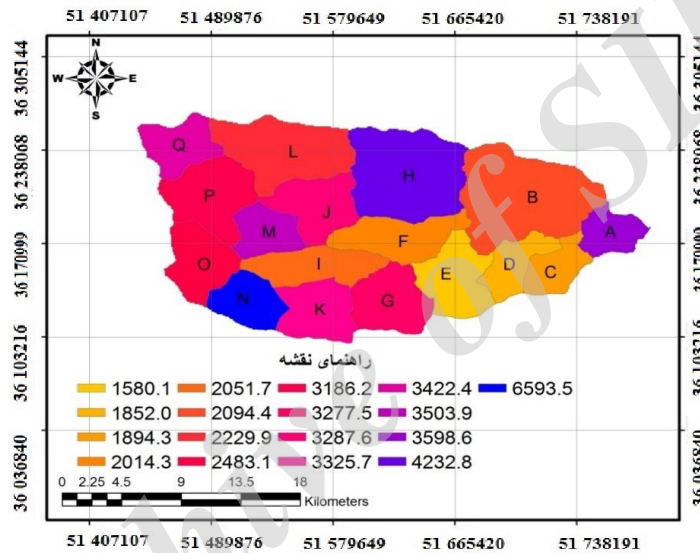
نقشه پایه آن و محاسبه پارامترهای شکلی و خطی در هریک از زیرحوضه‌ها از مدل رقومی ارتفاع استفاده شده است. شبکه زهکشی منطقه با استفاده از الحاقیه Arc-hydro نرم‌افزار Arc-GIS تهیه شده و با استفاده از روش استراهلر مطابق شکل ۱۰ رتبه‌بندی آبراهه استخراج شد. محاسبه همه پارامترهای مورفومتری در نرم‌افزار Arc-GIS انجام شده است. در نهایت، با توجه به وزن محاسبه‌شده هریک از پارامترها، از همه مقادیر به‌دست‌آمده برای هریک از زیرحوضه‌ها همانند رابطه ۳ میانگین کل وزن‌ها حساب شد [۱۳].

برحسب ارقام به‌دست‌آمده زیرحوضه‌های N و H به‌ترتیب با مقادیر ۶۵۹۳/۵۴ و ۴۲۳۲/۸۹ تن در سال با بیشترین نرخ فرسایش‌پذیری و حوضه‌های C، D و E به‌ترتیب با ۱۸۹۴/۳۸، ۱۸۵۲/۰۵ و ۱۵۸۰/۱۷ تن در سال در رده‌های آخر با کمترین نرخ فرسایش‌پذیری هستند. در شکل ۹ موقعیت و میزان فرسایش‌پذیری هریک از زیرحوضه‌ها آورده شده است.

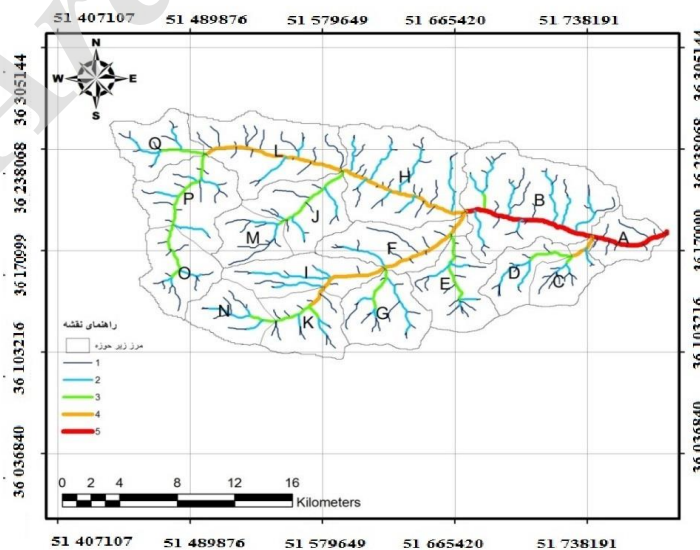
محاسبه و نتایج آنالیز مورفومتری

منطقه مطالعه‌شده شامل ۱۷ زیرحوضه است که برای تهیه

(۳)
$$\text{تعداد کل پارامترها} / (\text{مجموع پارامترهای شکلی}) + (\text{مجموع پارامترهای خطی}) = \text{میانگین کل}$$



شکل ۹. نقشه میزان فرسایش‌پذیری



شکل ۱۰. نقشه رتبه‌بندی آبراهه‌ها به روش استراهلر

اول و دوم و زیرحوضه‌های I و N به ترتیب با میانگین‌های ۱۰/۹۱ و ۱۱/۱۸ در رده‌های آخر اولویت از نظر سیل‌خیزی، زمان تمرکز و الگوی زهکشی قرار می‌گیرند. در شکل ۱۱ موقعیت و رتبه هر یک از زیرحوضه‌ها از نظر تحلیل مورفومتری آورده شده است که حوضه‌های B و H بیان‌کننده بیشترین پتانسیل سیل‌خیزی را دارند و از این‌رو جزء زیرحوضه‌های بحرانی محسوب می‌شوند.

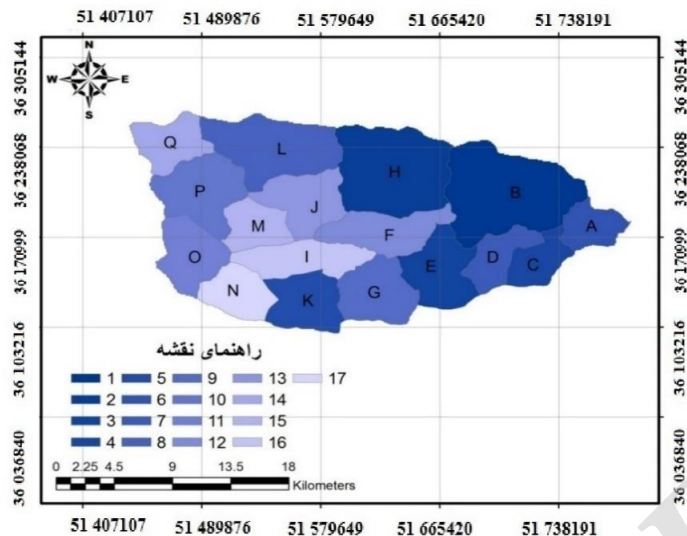
در جدول ۴ همه مقادیر محاسبه‌شده مربوط به پارامترهای مورفومتری قرار داده شده است. بعد از استخراج هر یک از پارامترهای دوگانه مورفومتری یعنی خطی و شکلی (جدول ۳) و میانگین‌گیری از رتبه‌های کسب‌شده هر یک از پارامترها (جدول ۴) زیرحوضه‌ها در اولویت ۱۷ گانه قرار گرفتند که بر این اساس زیرحوضه‌های B و H به ترتیب با میانگین ۶/۲۷ و ۶/۹۱ در اولویت‌های

جدول ۴. مقادیر محاسبه‌شده پارامترهای مورفومتری

| نام زیرحوضه | محیط (km) | مساحت (km ²) | ضریب فشردگی | تراکم زهکشی | ضریب گردی | ضریب فرم حوضه | طول مجموع آبراهه | طول جریان | فراوانی جریان | تعداد آبراهه | عامل شکل | ضریب کشیدگی | نسبت انشعاب | نسبت بافت | طول حوضه |
|-------------|-----------|--------------------------|-------------|-------------|-----------|---------------|------------------|-----------|---------------|--------------|----------|-------------|-------------|-----------|----------|
| A | ۱۹/۴۵ | ۱۱/۹۰ | ۱/۵۹ | ۱/۰۴ | -۰/۳۹ | -۰/۴۱ | ۱۲/۳۶ | -۰/۵۲ | ۰/۷۶ | ۹/۰۰ | ۲/۴۱ | ۲/۲۲ | ۸/۰۰ | -۰/۴۱ | ۵/۳۵ |
| B | ۳۹/۸۴ | ۵۲/۰۷ | ۱/۵۶ | ۱/۰۱ | -۰/۴۱ | -۰/۳۴ | ۵۲/۵۰ | -۰/۵۰ | ۰/۸۷ | ۴۵/۰۰ | ۲/۹۵ | ۴/۲۰ | ۸/۵۰ | -۰/۹۰ | ۱۲/۳۸ |
| C | ۱۹/۲۷ | ۱۲/۴۲ | ۱/۵۴ | ۱/۱۴ | -۰/۴۲ | -۰/۴۱ | ۱۴/۰۹ | -۰/۵۷ | ۱/۱۳ | ۱۴/۰۰ | ۲/۴۲ | ۲/۲۶ | ۴/۸۳ | -۰/۵۲ | ۵/۴۸ |
| D | ۲۱/۸۴ | ۱۳/۳۴ | ۱/۶۹ | -۰/۹۸ | -۰/۳۵ | -۰/۴۱ | ۱۳/۱۱ | -۰/۴۹ | -۰/۹۸ | ۱۳/۰۰ | ۲/۴۵ | ۲/۳۳ | ۶/۰۰ | -۰/۴۶ | ۵/۷۱ |
| E | ۲۸/۵۳ | ۲۲/۴۹ | ۱/۷۰ | -۰/۹۹ | -۰/۳۵ | -۰/۳۸ | ۲۲/۳۵ | -۰/۵۰ | ۱/۱۲ | ۲۳/۰۰ | ۲/۶۳ | ۲/۹۲ | ۵/۹۰ | -۰/۶۰ | ۷/۶۸ |
| F | ۲۹/۷۲ | ۲۱/۸۰ | ۱/۸۰ | -۰/۹۵ | -۰/۳۱ | -۰/۳۸ | ۲۰/۶۳ | -۰/۴۷ | ۰/۶۰ | ۱۳/۰۰ | ۲/۶۲ | ۲/۸۸ | ۱۲/۰۰ | -۰/۴۰ | ۷/۵۵ |
| G | ۲۳/۷۵ | ۲۱/۵۹ | ۱/۴۴ | -۰/۹۵ | -۰/۴۸ | -۰/۳۸ | ۲۰/۵۱ | -۰/۴۸ | -۰/۸۳ | ۱۸/۰۰ | ۲/۶۱ | ۲/۸۷ | ۵/۲۵ | -۰/۵۵ | ۷/۵۱ |
| H | ۳۵/۱۴ | ۴۶/۰۳ | ۱/۴۶ | ۱/۰۰ | -۰/۴۷ | -۰/۳۵ | ۴۶/۱۱ | -۰/۵۰ | -۰/۸۵ | ۳۹/۰۰ | ۲/۹۰ | ۳/۹۸ | ۷/۹۳ | -۰/۸۸ | ۱۱/۵۴ |
| I | ۲۵/۷۵ | ۲۰/۱۶ | ۱/۶۲ | -۰/۹۵ | -۰/۳۸ | -۰/۳۹ | ۱۹/۰۵ | -۰/۴۷ | ۰/۷۴ | ۱۵/۰۰ | ۲/۵۹ | ۲/۷۹ | ۵/۱۷ | -۰/۴۳ | ۷/۲۲ |
| J | ۲۵/۶۷ | ۲۱/۱۴ | ۱/۵۸ | -۰/۸۹ | -۰/۴۰ | -۰/۳۸ | ۱۸/۶۹ | -۰/۴۴ | ۰/۸۱ | ۱۷/۰۰ | ۲/۶۱ | ۲/۸۵ | ۵/۸۳ | -۰/۵۱ | ۷/۴۲ |
| K | ۲۱/۲۶ | ۱۹/۵۳ | ۱/۳۶ | -۰/۹۸ | -۰/۵۴ | -۰/۳۹ | ۱۹/۱۱ | -۰/۴۹ | ۱/۰۲ | ۲۰/۰۰ | ۲/۵۸ | ۲/۷۵ | ۵/۹۲ | -۰/۶۱ | ۷/۰۹ |
| L | ۳۳/۵۱ | ۳۵/۳۱ | ۱/۵۹ | -۰/۹۶ | -۰/۳۹ | -۰/۳۶ | ۳۳/۷۵ | -۰/۴۸ | ۰/۶۸ | ۲۴/۰۰ | ۲/۷۹ | ۳/۵۵ | ۷/۵۰ | -۰/۵۴ | ۹/۹۳ |
| M | ۱۸/۷۶ | ۱۳/۹۶ | ۱/۴۲ | -۰/۹۷ | -۰/۵۰ | -۰/۴۱ | ۱۳/۵۲ | -۰/۴۸ | -۰/۷۲ | ۱۰/۰۰ | ۲/۴۶ | ۲/۳۸ | ۴/۵۰ | -۰/۳۷ | ۵/۸۶ |
| N | ۱۸/۲۷ | ۱۵/۴۷ | ۱/۳۱ | -۰/۸۲ | -۰/۵۸ | -۰/۴۰ | ۱۲/۷۰ | -۰/۴۱ | -۰/۸۴ | ۱۳/۰۰ | ۲/۵۰ | ۲/۴۹ | ۴/۵۰ | -۰/۴۹ | ۶/۲۱ |
| O | ۲۲/۸۸ | ۱۹/۶۷ | ۱/۴۶ | -۰/۸۵ | -۰/۴۷ | -۰/۳۹ | ۱۶/۶۱ | -۰/۴۲ | -۰/۸۶ | ۱۷/۰۰ | ۲/۵۸ | ۲/۷۶ | ۵/۸۳ | -۰/۵۷ | ۷/۱۲ |
| P | ۲۸/۲۹ | ۲۶/۴۴ | ۱/۵۵ | -۰/۸۶ | -۰/۴۱ | -۰/۳۷ | ۲۲/۶۰ | -۰/۴۳ | -۰/۸۰ | ۲۱/۰۰ | ۲/۶۹ | ۳/۱۴ | ۶/۰۰ | -۰/۵۷ | ۸/۴۲ |
| Q | ۲۲/۶۱ | ۱۶/۱۸ | ۱/۵۹ | -۰/۸۲ | -۰/۴۰ | -۰/۴۰ | ۱۳/۱۹ | -۰/۴۱ | ۰/۹۳ | ۱۵/۰۰ | ۲/۵۱ | ۲/۵۴ | ۵/۱۷ | -۰/۴۹ | ۶/۳۷ |

جدول ۵. مقادیر پارامترهای مورفومتری و اولویت‌بندی هر یک از آنها

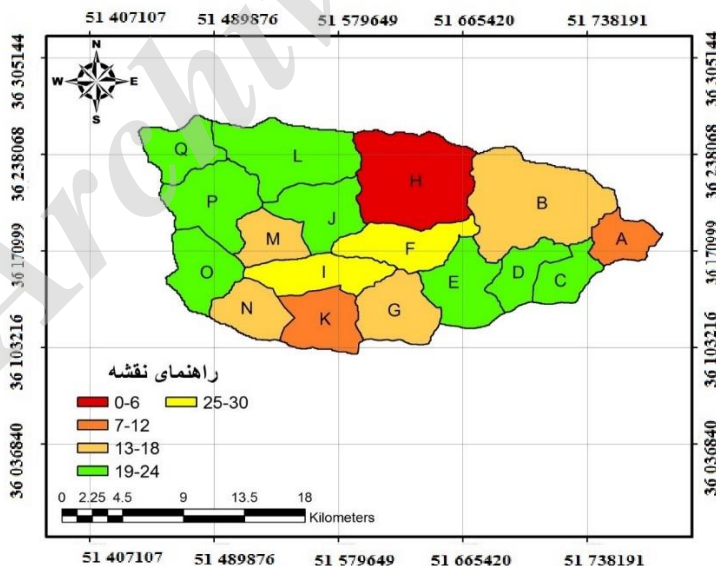
| نام حوضه | میانگین رتبه‌ها | شماره اولویت | نام حوضه | میانگین رتبه‌ها | شماره اولویت |
|----------|-----------------|--------------|----------|-----------------|--------------|
| A | ۸/۰۹ | ۶ | J | ۱۰/۰۹ | ۱۳ |
| B | ۶/۲۷ | ۱ | K | ۷/۰۹ | ۵ |
| C | ۷/۳۶ | ۴ | L | ۹/۱۸ | ۸ |
| D | ۸/۱۸ | ۷ | M | ۱۰/۷۴ | ۱۵ |
| E | ۷/۲۷ | ۳ | N | ۱۱/۱۸ | ۱۷ |
| F | ۱۰/۰۰ | ۱۲ | O | ۹/۳۷ | ۱۱ |
| G | ۶/۳۶ | ۹ | P | ۹/۶۴ | ۱۰ |
| H | ۶/۹۱ | ۲ | Q | ۱۰/۷۳ | ۱۴ |
| I | ۱۰/۹۱ | ۱۶ | | | |



شکل ۱۱. نقشه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با استفاده از تحلیل مورفومتری

جدول ۶. اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌های اوزرود با استفاده از تلفیق دو روش تحلیل مورفومتری و نرخ فرسایش‌پذیری

| نام زیرحوضه‌ها | دسته‌ها | جمع رتبه‌ها با تلفیق دو روش | اولویت‌بندی |
|-----------------|---------|--------------------------------|--------------|
| H | ۰-۶ | ۴ | بسیار بحرانی |
| A,K | ۷-۱۲ | ۱۱، ۹ | بحرانی |
| B,G,M,N | ۱۳-۱۸ | ۱۸، ۱۸، ۱۷، ۱۳ | زیاد |
| C,L,P,E,J,Q,O,D | ۱۹-۲۴ | ۲۳، ۲۱، ۲۰، ۲۰، ۲۰، ۱۹، ۱۹، ۱۹ | متوسط |
| F,I | ۲۵-۳۰ | ۲۹، ۲۶ | کم |



شکل ۱۲. نقشه اولویت‌بندی نهایی

در هر دو روش، در نهایت برای اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها، رتبه هریک از زیرحوضه‌ها در هر دو روش با یکدیگر جمع شد و مجموع اوزان به‌دست‌آمده (جدول ۶) در

نتایج
با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در دو روش تحلیل مورفومتری و نرخ فرسایش‌پذیری هریک از زیرحوضه‌ها و رتبه‌بندی آنها

از نظر فرسایش و تولید رسوب و همچنین با وضعیت شبکه زهکشی سیل خیز هستند و نیاز به توجه جدی تر به مسائل حفاظت خاک و عملیات آبخیزداری دارند. در مجموع با توجه به اینکه اغلب لایه‌های زمین‌شناسی منطقه از نوع مارن است که همراه با بارندگی به شدت آبشویی می‌شود و همچنین پوشش گیاهی مراتع منطقه فقیر است و توپوگرافی آن کوهستانی و همچنین اقتصاد ساکنان این حوضه مبتنی بر دامداری و گلهداری است، پیشنهاد می‌شود طرح‌های مرتعداری برای تقویت پوشش گیاهی با هدف حفاظت از منابع آب و خاک و کاهش میزان فرسایش خاک منطقه به‌طور جدی صورت گیرد و انجام عملیات مکانیکی نیز به‌منظور پایدار کردن آبراهه‌ها و جلوگیری از انتقال مواد فرسایش‌یافته به پایین‌دست با نظر متخصصان امر و تجربیات ساکنان این حوضه انجام شود.

منابع

- [1]. Ahmadi H. Applied geomorphology. Vol1. Water Erosion: Univesity of Tehran Press; 1378.p. 668
- [2]. Amanee M, Najafinejad A. Prioritization of sub-watersheds based on morphometric Analysis, GIS and RS Techniques: Lohandar watershed, Golestan Province. Journal of Watershed Management. 1393;9:1-15. (persian)
- [3]. Darabee H, Soleymane k, Shahedi K, Miryaghoubzadeh M. Classification Sub-basin based on morphometric parameters using cluster analysis in Pole Doab basin. Journal of Soil and Water. 1391;B 22:200-2011. (Persian)
- [4]. De Vente J, Poesen J. Predicting soil erosion and sediment yield at the basin scale: Scale issues and semi-quantitative models. journal earth saience. 2005;71:95-125
- [5]. Hadian amree M.A, Soleymanee K, Habibnejad M. Classification of genetic sensitivity of Rock units to erosion in norroud basin of Haraz. Conference of Engineering Geology and the Environment. 1386;5:1167-1174. (Persian)
- [6]. Haregeweyn N, Poesen J, Nyssen J, Verstraeten G, de Vente J, Govers G, Deckers S, Moeyersons J. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semi-quantitative modeling. Geomorphology. 2005;118:315-331.
- [7]. Javed A, Khanday MY, Ahmed R. Prioritization of watersheds based on morphometric and landuse analysis using RS and GIS techniques. Journal of the Indian society of Remote Sensing. 2009;37:261-274.

۵ کلاس با اولویت‌های بسیار بحرانی، بحرانی، زیاد، متوسط و کم طبقه‌بندی شد. برحسب جدول یادشده ملاحظه می‌شود که زیرحوضه H در قالب زیرحوضه‌های با اولویت بسیار بحرانی، زیرحوضه‌های A و K در ردیف زیرحوضه‌های با اولویت بحرانی، زیرحوضه‌های B, G, M و N در ردیف زیرحوضه‌های با اولویت زیاد و زیرحوضه‌های C, D, E, J, L, O, P و Q و همچنین زیرحوضه‌های F و I به ترتیب در ردیف زیرحوضه‌های با اولویت متوسط و کم قرار گرفتند. اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌های حوضه اوزرود و موقعیت جغرافیایی آنها با استفاده از دو روش تحلیل مورفومتری و نرخ فرسایش‌پذیری مطابق شکل ۱۲ آورده شده است.

بحث و ارائه پیشنهادها

این پژوهش با هدف رتبه‌بندی زیرحوضه‌های حوضه آبخیز اوزرود از نظر پتانسیل فرسایش‌پذیری و تولید رسوب با استفاده از تلفیق نتایج روش FSM و تحلیل مورفومتری صورت گرفته است. نتایج رتبه‌بندی در هر یک از این روش‌ها با دیگری متفاوت بوده است. بنابراین، با استفاده از تلفیق نتایج رتبه‌بندی هر دو روش، اولویت‌بندی نهایی زیرحوضه‌ها انجام گرفته است و حوضه‌های در وضعیت بسیار بحرانی تا وضعیت بحرانی کم طبقه‌بندی شدند. نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش با دیگر پژوهش‌های مشابه صورت‌گرفته در داخل و خارج از کشور مطابقت داده شده است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در حوضه ایوانکی با مقایسه دو روش FSM و MPSIAC به این نتیجه رسیدند که برآورد به‌دست‌آمده از روش FSM به عملکرد رسوب سالانه نزدیک‌تر است [۱۶]. با بررسی کارایی روش FSM برای برآورد رسوب‌دهی در سمنان به این نتیجه رسیدند که نتایج برآوردشده به‌وسیله روش FSM واسنجی شده و با مقادیر رسوب‌سنجی بندها تا ۸۴ درصد مطابقت داشته است [۱۷]. در مطالعه‌ای در حوضه آبخیز لهندر استان گلستان با استفاده از تحلیل مورفومتری و با توجه به مقادیر شاخص عملکرد رسوب (SYI) اقدام به اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها کردند [۱۳]. کارایی مدل‌های استفاده‌شده با نتایج مطالعات محققانی مانند [۱۱]، [۱۸] و [۱۹] مطابقت و با نتایج برخی دیگر از محققان مانند [۲۰-۲۲] مغایرت دارد. بنابراین، می‌توان این‌گونه بیان کرد که در حوضه اوزرود سه حوضه H, A و K جزء زیرحوضه‌های بسیار بحرانی و بحرانی

- [8]. Ahmed, F, and Srinivasa Rao K. Prioritization of Sub-watersheds based on Morphometric Analysis using Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. *International Journal of Remote Sensing and GIS*. 2015;4(2):51-65.
- [9]. Fallah M, Mohamadi M, Kavian A. Prioritization sub-basins using morphometric analysis and land use changes in the watershed Talar of Mazandaran. *Ecohydrology*. 1394;2(3):261-74.
- [10]. Kavian A, Asrian R, Nateghee T, Jafarian jolodar Z, Safaree A. Performance assessment models EPM, PSIAC and FSM for estimating sediment yield in pasture land of Sorkhabad basin. *Journal of Geographical space*. 1393;48:57-79(Persian)
- [11]. PEYlaskarian N, Hashemee SA, Shadfar S. Performance evaluation of FSM method to estimate the total Sedimentation in Semnan province. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 1393;1:51-58(Persian)
- [12]. Mohamadiha Sh, Peyrowan HR, Mousavi Harami R, Feiznia S. Evaluation of soil erosion and sediment yield using semi-quantitative models: FSM and MPSIAC in Eivaneki watershed and the sub basins (Southeast of Tehran/Iran). *Journal of American Science*. 2011; 7:234-239
- [13]. Pandey A, Chawdary VM, Mal BC. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and RS. *Water Resource Manage*. 2007;21:729-746
- [14]. Lee R. Chemical weathering, atmospheric and climate, *Annu. Rev. Earth planet Sic*. 2000;28: 611-617
- [15]. De Vente J, Poesen J, Verstraeten G. The application of semi-quantitative methods and reservoir sedimentation rates for the prediction of basin sediment yield in Spain. *journal of hydrology*. 2004;305:63-86
- [16]. Gitas IZ, Douros K, Minakou C, Silleos GN, Karydas CG. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSEL eProceedings*. 2009; 8(1):40-52
- [17]. Pandan RK, Nagarajan R. Prioritization of Sub-basins of Ghataprabha River using Morphometric Parameters. *International Journal of Geomatics and Geosciences*. 2013; 3(3):605-617.
- [18]. Sreedevi PD, Owais S, Khan HH, Ahmed S. Morphometric Analysis of a Watershed of South India Using SRTM Data and GIS. *Journal Geological Society Of India*. 2009;73:543-552
- [19]. Asadi Niloon O, Saghazadh N, Salahshoor Dastgerdy M, Bay M. Morphometric analysis and prioritization of sub-basins using GIS for watershed management activities (case study: Maravehtapeh watershed in Golestan province). *Eco Hydrology*. 1394;2(1):90-103.
- [20]. Jamei M, Akhoond ali AM, Zarei H. Assessment FSM method to estimate sediment behind dams in the region Shayon Dezfool. The second National Conference on Geography and Geology, Tehran, Institute of Information Narkish.
- [21]. Erfanian M, Ghahramani P, Saadat H. Soil erosion potential hazard mapping using fuzzy logic in Gharnaveh watershed in Golestan Province. *Iran-Watershed Management Science & Engineering*. 1391;7(23):43-52.
- [22]. Haravi H, Nazari Samani AA. FSM method of soil erosion and sediment yield (Case Study: Watershed Kan). the first national conference on strategies to achieve sustainable development, Tehran, Interior Ministry.