

نشان داد که زیرحوزه‌های ۱۲، ۲ و ۱ به ترتیب با کسب کمترین امتیازات (۰/۰۹۸، ۰/۰۹۵، ۰/۰۸۸) بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش از خود نشان داده‌اند. به منظور اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها بر اساس پوشش سطحی، درصد هر یک از طبقه‌های پوشش سطحی در هر یک از زیرحوزه‌ها محاسبه شد. بر اساس نتایج حاصل از اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها بر اساس پوشش سطحی، زیرحوزه‌های ۳، ۲ و ۱ با کمترین امتیازات (۰/۲۳۴، ۰/۲۱۳، ۰/۱۶۴) بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش خاک داشته‌اند. نتایج حاصل از تلفیق و میانگین‌گیری حسابی مؤلفه‌های ریخت‌سنجی و پوشش سطحی نشان داد که زیرحوزه‌های ۱۲، ۲ و ۱ با کمترین امتیازات (۰/۱۶۶، ۰/۱۵۴، ۰/۱۲۶) بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش داشته‌اند و به منظور اجرای اقدامات حفاظت آب و خاک باید در اولویت قرار گیرند. به منظور ارزیابی مدل، اقدام به مقایسه آن با روش‌های TOPSIS، VIKOR و SAW با استفاده از شاخص‌های درصد تغییرات و شدت تغییرات گردید. طبق نتایج صحت‌سنجی، روش COPRAS بر اساس مؤلفه‌های ریخت‌شناسی با درصد و شدت تغییرات (۶۰/۶۱ و ۶/۷۳) و بر اساس عامل پوشش سطحی زمین با درصد و شدت تغییرات (۶۲/۳۰ و ۶/۳۱) دارای کارایی و دقت بیشتری نسبت به روش‌های TOPSIS، VIKOR و SAW می‌باشد. عملیات اجرایی توصیه‌شده شامل اقدامات کنترل سیلاب مانند ساخت سدهای کنترلی، تغییر الگوی کاربری اراضی، کشت گیاهان محافظ خاک و کنترل چرای حیوانات هستند.

کلید واژه‌ها: فرسایش‌پذیری، اولویت‌بندی، پوشش سطحی، مورفومتری، مدل کوپراس، حوزه لواسانات

مقدمه

فرسایش خاک به‌عنوان عامل اصلی تخریب زمین، آلودگی منابع آب و خسارات اقتصادی و اکولوژیکی در بسیاری از مناطق جهان شناخته می‌شود [۲۳]. بر اساس گزارش فائو (۲۰۱۵) میانگین جهانی فرسایش خاک به‌وسیله آب در طول یک دهه گذشته ۲۰ تا ۳۰ هزار تن در سال است [۲۷]. نرخ فرسایش خاک به میزان قابل توجهی به وسیله فعالیت‌های انسانی مانند کاربری اراضی و چرای بیش از حد تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳۲]. فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی کند می‌باشد، هر چند در زمان حاضر به شدت افزایش یافته است [۵]. اطلاعات کمی و مکانی در مورد فرسایش خاک در مقیاس منطقه‌ای و محلی می‌تواند

تلفیق تحلیل ریخت‌شناسی و پوشش سطحی به منظور ارزیابی حساسیت فرسایش خاک در حوزه آبخیز لواسانات با روش COPRAS

علیرضا عرب عامری^۱، محمد حسین رامشت^۲، مجتبی یمانی^۳، خلیل رضایی^۴، مسعود سهرابی^۵

تاریخ دریافت ۱۳۹۷/۰۱/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

فرسایش خاک یکی از مهمترین معضلات محیطی در سراسر جهان است که ضرورت دارد ارزیابی حساسیت اراضی به فرسایش برای تعیین اولویت مکانی و نوع اقدامات حفاظت خاک انجام شود. در این پژوهش مؤلفه‌های ریخت‌سنجی حوزه به همراه طبقه‌های پوشش سطحی زمین به منظور ارزیابی حساسیت فرسایش خاک در زیرحوزه‌های لواسانات با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره COPRAS بکار گرفته شد. این روش در عین سادگی، بسیار کاربردی، قدرتمند و انعطاف‌پذیر می‌باشد و برای محاسبه آن نیاز به عملیات پیچیده ریاضی نیست. مدل رقومی ASTER سال ۲۰۰۰ با قدرت تفکیک ۳۰ متر به منظور استخراج شبکه زه‌کشی و داده‌های Landsat8 (OLI/TIRS) سال ۲۰۱۶ با قدرت تفکیک ۳۰ متر به منظور تولید اطلاعات پوشش سطحی استفاده شد. در پژوهش حاضر ۱۵ مؤلفه ریخت‌سنجی با استفاده از شبکه زه‌کشی تولید شده از مدل رقومی ASTER با استفاده از Arc Hydro و ویژگی‌های فیزیوگرافی زیرحوزه‌ها استخراج شد. به منظور تعیین مناسب جهت و انباشتگی جریان، حفره‌های مدل رقومی شناسایی و پر شد. از آستانه سلولی ۱۰۰ به علت دقت بالاتر برای استخراج شبکه زه‌کشی استفاده شد. رتبه‌بندی آبراهه‌ها با روش استرال انجام و طبقه‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوزه‌ها با استفاده از مؤلفه‌های ریخت‌سنجی و روش تصمیم‌گیری چند شاخصه COPRAS

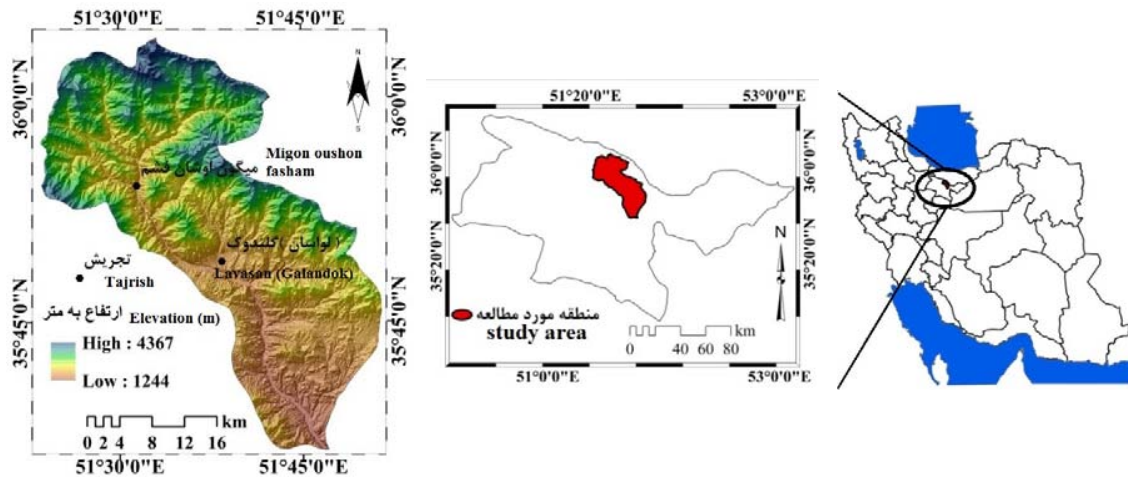
۱- نویسنده مسئول و دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه تربیت مدرس. پست الکترونیک: alireza.ameri91@yahoo.com

۲- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان

۳- استاد ژئومورفولوژی دانشگاه تهران.

۴- استادیار رسوب‌شناسی دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی.

۵- کارشناس ارشد عمران، خاک و پی، بخش عمران، گروه خاک و پی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد ارومیه



شکل ۱- نمای کلی حوزه لواسانات

Fig 1. Lavasanat Catchment view

روش‌های قدیمی مانند نقشه‌های توپوگرافی یا با استفاده از روش‌های پیشرفته مانند سنجش از دور و GIS استخراج نمود. مدل‌های رقومی ارتفاعی مهمترین ابزار برای استخراج شبکه‌های زهکشی می‌باشد. در زمینه استفاده از پارامتر مؤلفه‌های ریخت‌سنجی در شناسایی مناطق مستعد فرسایش تاکنون مطالعات زیادی صورت گرفته است به گونه‌ای که می‌توان به آلف و همکاران [۴]، احمد رادر و همکاران [۵] و لانده و همکاران [۱۴] اشاره نمود. در این پژوهش به منظور تجزیه و تحلیل چند معیاره از روش تصمیم‌گیری چند شاخصه کوپراس استفاده شد. تحلیل‌های چند معیاره به‌عنوان شاخه‌ای از تحقیق در عملیات به منظور حل مشکلات پیچیده ایجاد شدند [۱۰]. روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه روش‌های داده‌محورند که در آن یک مشخصه از ویژگی‌های یک پدیده با توجه به روابط درونی آن‌ها با سایر پدیده‌ها مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد [۲۶]. روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه مبنایی برای انتخاب کردن، رتبه‌بندی، غربال‌زنی، اولویت‌بندی و طبقه‌بندی بر اساس گزینه‌های در دسترس می‌باشد که بر اساس شاخص‌های چندگانه، متضاد، وزنی و نامتقارن صورت می‌گیرد [۱۲]. در سال‌های اخیر استفاده از روش کوپراس به دلیل سادگی روش محاسبه، رتبه‌بندی کامل گزینه‌ها، بهره‌گیری همزمان از مدل‌های کمی و کیفی، قابلیت محاسبه معیارهای مثبت و منفی و نیز انطباق بیشتر با واقعیت‌های زمینی افزایش یافته است. فرسایش خاک در حوضه لواسانات که در یک منطقه کوهستانی می‌باشد، علاوه بر تخریب زمین و از بین بردن خاک‌های حاصلخیز باعث برخی خطرات طبیعی دیگر مانند زمین‌لغزش و جریان‌های آوار می‌شود که باعث خسارات جانی و مالی زیادی می‌شود. در این پژوهش با استفاده از مؤلفه‌های ریخت‌سنجی و پوشش سطحی زمین به ارزیابی حساسیت فرسایش در زیرحوضه‌های حوزه آبخیز لواسانات پرداخته شده است و در نهایت از تلفیق و میانگین‌گیری حسابی امتیازات حاصل از مؤلفه‌های ریخت‌سنجی و پوشش سطحی زمین، امتیاز نهایی هر زیرحوضه محاسبه و از لحاظ حساسیت به فرسایش اولویت‌بندی شدند.

به برنامه‌های حفاظتی، کنترل فرسایش و مدیریت محیط کمک کند. شناسایی مناطق حساس به فرسایش و تخمین کمی نرخ فرسایش خاک به منظور طراحی و اجرای مناسب کنترل فرسایش و حفاظت از منابع آب و خاک ضروری است [۵]. علاوه بر این درک فرآیندهای فیزیکی مؤثر در فرسایش خاک نیز در اجرای طرح‌های حفاظت خاک بسیار مؤثر می‌باشد. مدیریت مناسب حوزه آبخیز باعث استفاده پایدار از منابع آب، خاک، جنگل و زمین با حداقل خسارات به محیط طبیعی می‌شود [۲۴]. به منظور مدیریت مناسب حوزه آبخیز و شناسایی مناطق مستعد فرسایش انواع مشخصات حوزه آبخیز مانند کاربری اراضی، پوشش سطحی، خاک، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، مرفومتري، توپوگرافی و مقدار و مدت بارندگی باید مورد مطالعه قرار گیرد [۲۵]. مطالعه این متغیرها در یک منطقه جغرافیایی بزرگ یک فرآیند دشوار و وقت‌گیر است و به اطلاعات دقیق از منطقه نیاز دارد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در زمینه علم و تکنولوژی، با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای و GIS این موضوع می‌تواند بهتر مطالعه و مدیریت شود. تجزیه و تحلیل کمی مؤلفه‌های ریخت‌سنجی در مدیریت حوزه آبخیز که شامل اولویت‌بندی حفاظت آب، خاک و جنگل و مدیریت مناسب آن‌ها می‌باشد بسیار کارآمد می‌باشد. در این پژوهش به منظور اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها و تعیین مناطق مستعد فرسایش از مؤلفه‌های ریخت‌سنجی حوزه آبخیز و اطلاعات پوشش سطحی زمین استفاده شده است [۴]. تحلیل کمی ریخت‌سنجی حوزه آبخیز به منظور فهم فرایندهای هیدرولوژیکی و ریخت‌سنجی بسیار مهم می‌باشند [۲۶]. فهم ویژگی‌های زهکشی حوزه آبخیز در مدیریت منابع آب و خاک و برنامه‌ریزی‌های محیطی بسیار مهم می‌باشد [۳]. مرفومتري شبکه زهکشی نقش مهمی در درک مناسب فرایندهای تشکیل دهنده لندفرم‌ها، خواص فیزیکی خاک و ویژگی‌های فرسایشی آن دارد. مؤلفه‌های ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از شش پارامتر محیط، مساحت، اختلاف ارتفاع، رتبه‌بندی آبراه‌ها، طول حوزه آبخیز و طول جریان محاسبه می‌شود (جدول ۱). شبکه‌های زهکشی حوزه‌ها را می‌توان با استفاده از

حوضه لواسانات در محدوده سیاسی استان تهران واقع شده است. این حوزه با مساحت ۹۹۲/۳۴ کیلومتر مربع و محیط ۵۰۹/۳۶ کیلومتر در محدوده طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۰۳ دقیقه شمالی واقع شده است. حداقل ارتفاع منطقه ۱۲۲۸ و حداکثر آن ۴۳۲۳ متر می‌باشد.

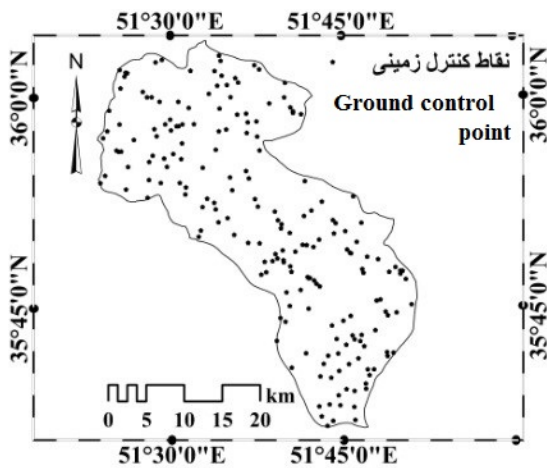
روش تحقیق

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل ۱- مدل رقومی ارتفاع حاصل از ماهواره ASTER^۱ سال ۲۰۰۰ با قدرت تفکیک ۳۰ متر که به منظور استخراج شبکه زهکشی استفاده شده است.

۲- داده‌های Landsat8 (OLI/TIRS) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر (باندهای ۱ تا ۱۱ به جز باندهای ۹) به منظور تولید اطلاعات پوشش سطحی از منطقه مطالعاتی با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر شباهت [۴، ۱۹].

در پژوهش حاضر مؤلفه‌های ریخت‌سنجی با استفاده از زیرحوضه‌های مستخرج از مدل رقومی ASTER با قدرت تفکیک ۳۰ متر استخراج شد [۳، ۵]. به منظور تحلیل کمی حوزه آبخیز لواسانات و ۱۲ زیرحوزه آن از ۱۵ مؤلفه ریخت‌سنجی که شامل مؤلفه‌های خطی، شکلی و توپوگرافی مانند تراکم آبراهه^۲، فراوانی آبراهه^۳، میانگین نسبت انشعاب^۴، نرخ بافت زهکشی^۵، عدد نفوذ^۶، ثابت نگهداشت آبراهه^۷، فاکتور فرم^۸، فاکتور شکل^۹، نسبت کشیدگی^{۱۰}، نسبت فشردگی^{۱۱}، نسبت گردی^{۱۲}، عدد ناهمواری^{۱۳}، ناهمواری حوزه^{۱۴}، نسبت ناهمواری^{۱۵} و شیب^{۱۶} می‌باشد استفاده شد. با استفاده از فرمول‌های ریاضی استاندارد ارائه شده در جدول ۲ و مؤلفه‌های اولیه مساحت، محیط، رتبه‌بندی آبراهه‌ها، طول زیرحوضه‌ها، طول آبراهه‌ها، تعداد آبراهه و داده‌های ارتفاعی مربوط به زیرحوضه‌ها اقدام به محاسبه مؤلفه‌های ریخت‌سنجی شد. ابزار ArcHydro به منظور استخراج شبکه زهکشی از الگوریتم‌هایی استفاده می‌کند که در مقایسه با رویکرد دستی منطقی‌تر، کارآمدتر و سازگارتر است

[۳۲]. مراحل استخراج شبکه زهکشی با استفاده از ابزار ArcHydro قبلاً توسط پژوهشگران زیادی مورد بحث قرار گرفته است [۳۲]. در ابتدا حفره‌های مدل رقومی به منظور تعیین مناسب جهت جریان و انباشتگی جریان شناسایی و پرشد^{۱۷}. شبکه زهکشی در هر یک از زیرحوضه‌ها بر اساس تعداد تجمع سلول‌های جریان بالادست که به هر سلول می‌ریزد، تعریف شد [۲]. در این پژوهش حد آستانه بزرگتر از ۱۰۰ به دلیل تناسب بیشتر با توپوگرافی منطقه به منظور تولید شبکه زهکشی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور رتبه‌بندی آبراهه‌ها، روش استرالر در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. به منظور طبقه‌بندی پوشش سطحی منطقه مطالعاتی از تصاویر Landsat8 در تاریخ (۲۰۱۶/۰۸/۱۹) استفاده شد. طبقه‌بندی به گونه‌ای انجام شد که طبقه‌های تولید شده به طور مستقیم بر روی فرسایش خاک تأثیرگذار باشند. به گونه‌ای که نقشه پوشش سطحی شامل ۶ کلاس کشاورزی، مرتع، برف، زمین بایر، آب و محدوده شهری می‌باشد. نقشه پوشش سطحی تولید شده با استفاده از ۲۰۰ نقطه کنترل زمینی^{۱۸} مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۲).



شکل ۲- نقاط کنترل زمینی

Fig 2. Ground control points

ضریب کاپا برای نقشه نهایی تولید شده با استفاده از رابطه شماره ۱ محاسبه شد [۱۳]. تخمین دقت نقشه تهیه شده به منظور ارزیابی صحت آن ضروری می‌باشد و ضریب کاپا یکی از شاخص‌های قوی جهت ارزیابی دقت نقشه کاربری تولید شده می‌باشد [۱۸].

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r (X_{ii}) - N \sum_{i=1}^r (X_{i+} \cdot X_{+i})}{N^2} - (1)$$

$$\sum_{i=1}^r (X_{i+} \cdot X_{+i})$$

که در آن \sum تعداد سطرها در ماتریس خطا، X_{ij} : تعداد مشاهده در سطر i و ستون j ، X_{i+} : تعداد کل مشاهده در سطر i ، X_{+i} : تعداد کل مشاهده در ستون i و N تعداد کل مشاهده در ماتریس می‌باشد.

17- Fill sink

18- Grand control point (GCP)

- 1- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
- 2- Drainage density (Dd)
- 3- Stream frequency (Fu)
- 4- Mean Bifurcation ratio (Rbm)
- 5- Texture ratio (T)
- 6- Infiltration number
- 7- Constant of channel maintenance
- 8- Form factor
- 9- Shape factor (Bs)
- 10- Elongation ratio (Re)
- 11- Compactness coefficient (Cc)
- 12- Circularity ratio (Rc)
- 13- Ruggedness number (Rn)
- 14- Basin relief (Bh)
- 15- Relief ratio (Rh)
- 16- Slope

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

که در آن CR نرخ سازگاری، CI ضریب یکنواختی ماتریس مقایسات زوجی می‌باشد که از رابطه ۵ حاصل گردید و RI شاخص سازگاری تصادفی است که از ماتریس مقایسات زوجی که به طور تصادفی تولید شده، حاصل می‌گردد (جدول ۱).

$$CI = \frac{\lambda_{MAX} - n}{n-1} \quad (5)$$

جدول ۱- شاخص‌های تصادفی سازگاری (۳۰)

Table 1. Compatibility random indicators

تعداد معیار	1	2	3	4	5
Number of criteria					
RI	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12
تعداد معیار	6	7	8	9	10
Number of criteria					
RI	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

۳- تشکیل ماتریس وزن دار از طریق رابطه ۶ [۱۵].

$$d_{ij} = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^n x_{ij}} x_{ij} \quad (6)$$

که در آن، q_i : وزن هر معیار و x_{ij} مقدار هر گزینه به ازای هر معیار است (۶).

۴- محاسبه ارزش معیارهای مثبت و منفی از طریق رابطه ۷ (۱۱).

$$S_j^- = \sum_{z_i=-} d_{ij} \quad S_j^+ = \sum_{z_i=+} d_{ij} \quad (7)$$

۷- محاسبه ارزش نهایی هر گزینه از طریق رابطه ۸ (۱۵).

$$Q_j = S_j^+ + \frac{S_{\min} \sum_{j=1}^n S_j^-}{S_j^- \sum_{j=1}^n S_j^-} = S_j^+ + \frac{\sum_{i=1}^n S_j^-}{S_j^- \sum_{i=1}^n S_j^-} \quad (8)$$

که در آن، S_j^+ مقدار جمع جبری معیارهای مثبت برای هر گزینه، S_j^- مقدار جمع جبری معیارهای منفی برای هر گزینه می‌باشد. ابتدا بر S_j^- تقسیم شده و سپس طبق فرمول مقدار Q برای هر گزینه محاسبه می‌گردد. مقدار Q دامنه‌ای بین ۰ و ۱ دارد و هر چه مقدار Q بالاتر باشد بیانگر ارجحیت بالاتر گزینه‌ها می‌باشد [۲]. در نهایت پس از تعیین امتیاز هر یک از زیرمعیارها با استفاده از مولفه‌های ریخت‌شناسی و پوشش سطحی به کمک روش کوپراس، امتیاز و رتبه نهایی هر یک از زیر حوضه‌ها با استفاده از رابطه ۹ محاسبه شد

$$F_w = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (9)$$

که در آن F_w ، امتیاز نهایی هر یک از زیرحوضه‌ها، Q_1 امتیاز هر یک از زیر حوضه‌ها با استفاده از مولفه‌های ریخت‌شناسی با روش کوپراس و Q_2 امتیاز هر یک از زیر حوضه‌ها با استفاده از مؤلفه پوشش سطح زمین با روش کوپراس می‌باشد.

ارزیابی مدل

در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل، از دو شیوه درصد تغییرات

روش کوپراس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری می‌باشد و جهت اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف با استفاده از وزن معیارها به کار می‌رود [۳۱]. این روش برای اولین بار توسط زاواداسکاس و کاکلاسکاس جهت تعیین اولویت‌ها و درجه مؤثر بودن گزینه‌ها توسعه پیدا کرد. این روش برای ارزیابی ارزش هر دو معیار کمینه و بیشینه مورد استفاده قرار می‌گیرد و تأثیر معیارهای کمینه و بیشینه روی ارزیابی نتایج به طور جداگانه در نظر گرفته می‌شود [۳۳]. از مهمترین نقاط قوت این روش می‌توان به ۱- جامع بودن، ملاحظه و مورد توجه قرار دادن معیارها و طبقه‌بندی‌های مهم، ۲- قابل فهم و درک بودن، به کارگیری سیستم‌های ارزش‌دهی مقداری، ۳- سادگی ریاضی، سهولت محاسباتی، ۴- قابلیت اطمینان، سنجش یکسان و قابلیت درک عمیق و دقیق توسط کاربر و ۵- انعطاف‌پذیر بودن اشاره نمود [۳۳]. مراحل انجام روش کوپراس به ترتیب زیر است:

۱- تشکیل ماتریس تصمیم

۲- محاسبه وزن هر یک از معیارها با استفاده از روش AHP: روش AHP یک روش جامع برای حل مشکلات تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. این روش توسط ساعتی در سال ۱۹۸۰ در کتابی با همین عنوان و سپس در کتاب تصمیم‌گیری برای رهبران معرفی شد و یک روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که ماهیت آن، تجزیه یک مسئله به یک سری معیارها و زیرمعیارها در سطح بالا و گزینه‌های تصمیم‌گیری در سطح پایین است و برای ارزیابی عناصر هر سطح از مقایسه زوجی استفاده می‌شود [۳۰]. در این پژوهش به منظور تعیین وزن معیارها از متخصصان خواسته شد که ماتریس‌های مقایسات زوجی را برای تعیین وزن معیارها تکمیل کنند. بدین منظور پرسشنامه تحلیل سلسله مراتبی طراحی و توسط ۱۸ ژئومورفولوژیست و ۱۲ متخصص آبخیزداری پاسخ داده شد. در ابتدا به دلیل ناسازگاری برخی از ماتریس‌های مقایسات زوجی حاصل از نظر خبرگان، نیاز به توزیع مجدد و اصلاح پرسشنامه ایجاد شد تا سازگاری ماتریس‌ها و در نتیجه اعتبار پرسشنامه تایید شود. در مرحله بعد ماتریس‌های مقایسات زوجی با هم ترکیب و ماتریس جامع تشکیل شد و پس از آن وزن هر یک از معیارها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$W_i = \sum_{i=1}^n a_{ij} / n \quad a_{ij} = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

که در آن W_i : وزن هر یک از معیارها، a_{ij} : مقادیر نرمال شده هر یک از درایه‌ها و n : تعداد معیارها می‌باشد. برای محاسبه مقادیر نرمال شده درایه‌ها از رابطه ۳ استفاده گردید:

$$a_{ij} = a_j / \sum_{i=1}^n a_j \quad a_j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

که در آن a_j : مقادیر درایه‌های هر یک از ستون‌ها می‌باشد. به منظور بررسی اعتبار مقایسات زوجی انجام گرفته میان معیارها توسط خبرگان، نرخ سازگاری بین با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید.

تعداد زیرحوضه‌هایی که در مقایسه دو روش رتبه آن‌ها یکسان بوده است، N ، تعداد کل زیرحوضه‌ها، ΔI : شدت تغییرات دو روش، $rank\ i\ (r1)$: رتبه زیرحوضه I در روش اول، $rank\ i\ (r2)$: رتبه زیرحوضه I در روش دوم و N : تعداد زیرحوضه‌ها می‌باشد.

نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری و محاسبه مولفه‌های ریخت‌شناسی پایه ۱۲ زیرحوضه مطالعاتی در جدول ۳ و مقادیر مولفه‌های

و شدت تغییرات استفاده شده است. برای محاسبه درصد تغییرات از رابطه (۱۰) و برای محاسبه شدت تغییرات رتبه نیز از رابطه (۱۱) استفاده شده است.

$$\Delta P = \frac{N - N_{constant}}{N} \times 100 \quad (10)$$

$$\Delta I = \frac{\sum_{I=1}^N \frac{rank\ i\ (r1)}{rank\ i\ (r2)}}{N} \quad (11)$$

که در آن ΔP ، درصد تغییرات در مقایسه دو روش، $N_{constant}$

جدول ۲- محاسبه مؤلفه‌های ریخت‌سنجی

Table2. Computation of morphometric parameters

مرجع Reference	توضیحات Description	رابطه Equation	پارامترها Parameters
[28]	میانگین نسبت‌های انشعاب تمامی رده‌ها Mean Bifurcation ratio in total orders	-	میانگین نسبت انشعاب Mean Bifurcation ratio (Rbm)
[9]	Lu. طول تمامی رتبه‌های آبراهه به کیلومتر، A. مساحت حوزه به کیلومتر مربع. Lu = total stream length of all orders (km), A = area of the watershed (km ²)	$D_d = L_u / A$	تراکم آبراهه Drainage density (Dd)
[9]	Nu. تعداد کل رتبه‌های آبراهه، Nu = total no. of streams of all orders	$F_u = N_u / A$	فراوانی آبراهه Stream frequency (Fu)
[9]	P. محیط به کیلومتر (km) P = perimeter (km)	$T = N_u / P$	نرخ بافت زهکشی Texture ratio (T)
[9]	-	$I_f = F_u \times D_d$	عدد نفوذ (Infiltration number)
[9]	-	$C = \frac{A}{\sum_{i=1}^n L_u}$	ثابت نگهداشت آبراهه (Constant of channel maintenance)
[9]	L_b . طول آبراهه به کیلومتر، (km) the basin length	$R_f = A / L_b^2$	فاکتور فرم Form factor
[20]	-	$B_s = L_b^2 / A$	فاکتور شکل Shape factor (Bs)
[29]	-	$R_e = 1.128 \sqrt{A / L_b}$	نسبت کشیدگی Elongation ratio (Re)
[9]	-	$C_c = P / 2\sqrt{\pi A}$	نسبت فشردگی (Cc) Compactness coefficient
[16]	$\pi = 3.14$	$R_c = 4 \times \pi \times A / P^2$	نسبت گردی Circularity ratio (Rc)
[17]	Bh. ناهمواری حوزه به متر (M) basin relief (M) Rn = basin relief (M)	$R_n = D_d \times (B_h / 1000)$	عدد ناهمواری (Rn) Ruggedness number
[9]	h. حداکثر ارتفاع به متر، h1. حداقل ارتفاع به متر H = Maximum height, H1 = minimum height	$B_h = h - h_1$	ناهمواری حوزه Basin relief (Bh)
[29]	-	$R_h = B_h / L_b$	نسبت ناهمواری Relief ratio (Rh)
[11]	که در آن، ΔH اختلاف ارتفاع حوزه می‌باشد. HΔ = basin relief	$sm = \frac{\Delta H}{\sqrt{A}} \times 100$	شیب Slope (S)

ریخت‌شناسی شکلی، خطی و توپوگرافی در جدول ۴ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های ریخت‌سنجی پایه حوزه آبخیز لواسانات نشان داد که بر اساس رتبه‌بندی آبراهه‌ای استرالر، حوزه لواسانات یک حوزه پنج رتبه‌ای است (شکل ۳). بیشترین مساحت مربوط به زیرحوضه شماره یک (۱۸۷/۹۷ کیلومتر مربع) و کمترین آن مربوط به زیرحوضه شماره نه (۱۸/۸۲ کیلومتر مربع) می‌باشد. تعداد کل آبراهه‌های حوزه ۷۱۰ و طول کل آبراهه‌ها ۷۰۲/۶ کیلومتر می‌باشد. تحلیل مؤلفه‌های ریخت‌سنجی نشان داد که مؤلفه‌های فاکتور فرم، فاکتور شکل، ضریب گردی، ضریب فشردگی و ضریب کشیدگی رابطه معکوس با فرسایش دارند و هر چه مقدار این پارامترها برای یک زیرحوضه کمتر باشد، حساسیت پذیری آن حوزه نسبت به فرسایش بیشتر است و در مقابل مؤلفه‌های تراکم آبراهه، فراوانی آبراهه، میانگین نسبت انشعاب، نرخ بافت زهکشی، عدد نفوذ، ثابت نگهداشت آبراهه، عدد ناهمواری، نسبت ناهمواری، شیب و ناهمواری حوزه رابطه مستقیم با فرسایش دارند، به گونه‌ای که هر چه مقدار این پارامترها بیشتر باشد حساسیت پذیری به فرسایش نیز افزایش پیدا می‌کند. این نتایج با نتایج حاصل از تحقیقات عبدالرحمان و همکاران [۱]، عرب عامری و همکاران [۳]، و فرهان و همکاران [۸] مطابقت دارد. پارامتر ضریب نفوذ نیز رابطه مستقیمی با فرسایش دارد. به طور مثال بر اساس پارامتر ضریب فشردگی که یک پارامتر شکلی می‌باشد، زیرحوضه شش با کمترین مقدار (۱/۳۲) بیشترین حساسیت

را به فرسایش داشته و زیرحوضه یک با بیشترین مقدار ضریب فشردگی (۲/۲۹) کمترین حساسیت را به فرسایش از خود نشان داده است. در مقابل بر اساس پارامتر بافت زهکشی که یک پارامتر خطی می‌باشد، زیرحوضه یک با بیشترین مقدار (۲/۱) بیشترین حساسیت را به فرسایش نسبت به دیگر زیرحوضه‌ها از خود نشان داده است و زیرحوضه شش با کمترین مقدار (۰/۷۷) مقاومت بالایی را نسبت به فرسایش داشته است. پس از تحلیل تأثیر مؤلفه‌های ریخت‌سنجی بر فرسایش اقدام به اجرای مدل شد. نتایج حاصل از وزن‌دهی به معیارها با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان داد که مؤلفه‌های نسبت انشعاب، شیب و عدد نفوذ به ترتیب با کسب امتیازات (۰/۱۸۰، ۰/۱۴۸ و ۰/۱۲۳) بیشترین تأثیر را در فرسایش پذیری زیرحوضه‌ها داشته‌اند که با نتایج تحقیقات عبدالرحمان و همکاران [۱]، و فرهان و همکاران [۸] مطابقت دارد و در مقابل مؤلفه‌های ضریب کشیدگی، فاکتور فرم و فاکتور شکل به ترتیب با کسب کمترین امتیازات (۰/۰۱۵، ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱۰) کمترین تأثیر را در فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها داشته است. مؤلفه‌های فراوانی آبراهه، تراکم زهکشی، نسبت ناهمواری، عدد ناهمواری، ثابت نگهداشت آبراهه، ضریب فشردگی، ضریب گردی، بافت زهکشی و ناهمواری نسبی در رده‌های بعدی قرار گرفته‌اند. پس از تعیین وزن معیارها با روش AHP و با استفاده از روابط ۲ تا ۵، اقدام به اجرای مدل COPRAS با استفاده از روابط ۶ تا ۹ و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ حساسیت به فرسایش شد (جدول ۵).

جدول ۳- مؤلفه‌های ریخت‌سنجی پایه در حوزه لواسانات

Table3. Basic morphometric parameters

حد اکثر ارتفاع Max Elevation	حداقل ارتفاع Min Elevation	طول آبراهه Stream Length	طول حوزه Basin Length	تعداد آبراهه of Number Stream	مساحت Area	محیط Perimeter	* زیرحوضه Sub-watershed
2537	1228	150	14.41	141	67.15	187.97	1
2558	1376	69	12.02	63	48.83	93.91	2
3394	1568	87.3	13.34	78	58.65	119.50	3
3701	1570	34.7	11.44	42	44.73	48.80	4
3877	1594	53.3	10.66	49	39.51	67.49	5
2859	1597	16.9	7.66	17	22.06	21.28	6
3270	1643	36.4	9.67	37	33.25	47.24	7
3875	1805	21.9	9.19	28	30.44	37.51	8
3170	1853	13	7.30	16	20.30	18.83	9
3887	1862	61.6	11.57	73	45.60	96.84	10
4003	1945	53.5	10.98	49	41.58	83.44	11
4323	1940	105	13.16	117	57.27	173.27	12

*واحدها به ترتیب محیط به کیلومتر، مساحت به کیلومتر مربع، طول حوزه به کیلومتر، ارتفاع به متر

Units: Area (km²), Perimeter (km²), Basin length (km), Elevation (m)

جدول ۴- مؤلفه‌های ریخت‌سنجی شکلی، خطی و توپوگرافی حوضه لواسانات

Table4. Shape, linear and topographic morphometric parameters

کد حوضه/شاخص Index/watershed code	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Cc	2.29	1.96	2.14	1.87	1.76	1.32	1.61	1.54	1.26	1.89	1.81	2.12
Rc	0.07	0.13	0.11	0.26	0.19	0.59	0.27	0.33	0.67	0.13	0.15	0.07
Bs	1.10	1.54	1.49	2.68	1.68	2.76	1.98	2.25	2.83	1.38	1.44	1.00
Bs	0.61	0.65	0.67	0.37	0.59	0.36	0.51	0.44	0.35	0.72	0.69	1.00
Re	1.07	0.91	0.92	0.69	0.87	0.68	0.80	0.75	0.67	0.96	0.94	1.13
Dd	0.80	0.73	0.73	0.71	0.79	0.79	0.77	0.58	0.69	0.64	0.64	0.61
Fu	0.75	0.67	0.65	0.86	0.73	0.80	0.78	0.75	0.85	0.75	0.59	0.68
T	2.10	1.29	1.33	0.94	1.24	0.77	1.11	0.92	0.79	1.60	1.18	2.04
C	1.25	1.36	1.37	1.41	1.27	1.26	1.30	1.71	1.45	1.57	1.56	1.65
Rbm	12.40	3.60	5.20	4.80	3.40	6.30	11.20	9.30	4.30	7.30	6.40	8.50
If	2.16	0.83	1.16	0.40	0.57	0.13	0.35	0.20	0.09	0.71	0.59	1.38
Rn	1.04	0.87	1.33	1.52	1.80	1.00	1.25	1.21	0.91	1.29	1.32	1.44
S	9.55	12.20	16.70	30.50	27.79	27.36	23.67	33.8	30.3	20.5	22.5	18.1
Rh	0.09	0.10	0.14	0.19	0.21	0.16	0.17	0.23	0.18	0.18	0.19	0.18
Bh	1.31	1.18	1.83	2.13	2.28	1.26	1.63	2.07	1.32	2.03	2.06	2.38

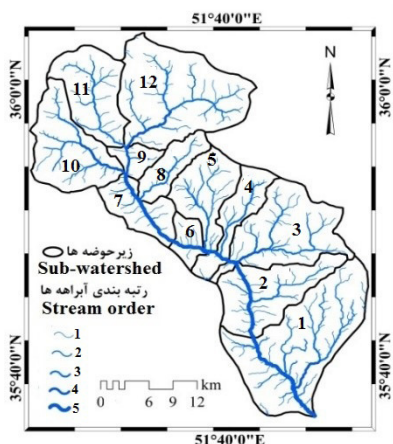
یک از طبقه‌ها برای هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد و درصد هر یک از طبقه‌ها در هر یک از زیرحوضه‌ها محاسبه شد (جدول ۴). هر چه درصد طبقه‌هایی که باعث افزایش فرسایش می‌گردند مانند زمین‌های بایر در یک زیرحوضه بیشتر باشد باعث حساسیت بیشتر آن زیرحوضه به فرسایش می‌گردد و بالعکس. تحلیل طبقه‌های پوشش سطحی در منطقه نشان داد از کل مساحت حوزه، ۵۱/۰ درصد (۵/۱۱ کیلومتر مربع) دارای پوشش آب، ۲/۵۸ درصد (۲۵/۶۱ کیلومتر مربع) دارای پوشش برف، ۷/۶۵ درصد (۷۵/۹۲ کیلومتر مربع) دارای پوشش زمین بایر، ۱/۶۵ درصد (۱۶/۴۲ کیلومتر مربع) دارای پوشش شهر، ۲/۳۳ درصد (۲۳/۱۵ کیلومتر مربع) دارای پوشش زمین کشاورزی و ۸۵/۲۶ درصد (۸۴۶/۰۹ کیلومتر مربع) دارای پوشش سطحی مرتع می‌باشد. نتایج نشان داد که زمین‌های تحت کشت از لحاظ توپوگرافی هموار می‌باشند و در نتیجه آب زمان لازم برای نفوذ را دارد، علاوه بر این در چنین زمین‌هایی لایه بالایی خاک بوسیله ریشه گیاهی به شدت محافظت می‌شود و در نتیجه چنین زمین‌هایی حساسیت کمتری به فرسایش دارند و زیرحوضه‌ای که دارای درصد بالاتری از زمین‌های کشاورزی است حساسیت کمتری به فرسایش دارد و در مقابل زمین‌های بایر مستعد فرسایش آبی و خاکی می‌باشند. نتایج این پژوهش با نتایج حاصل از تحقیقات عرب عامری و همکاران [۳] مطابقت دارد.

کاربری اراضی نیز تأثیر زیادی در الگوی شبکه زه‌کشی داشته و تفاوت پوشش سطحی تأثیر زیادی در حساسیت به فرسایش زیرحوضه‌ها دارد [۴]. علاوه بر این تفاوت در پوشش گیاهی به شدت بر روی رطوبت خاک، نفوذ و تبخیر و تعرق تأثیرگذار می‌باشد [۲۵]. زمینی که بوسیله مواد طبیعی و یا سکونتگاه‌های انسانی غیرقابل نفوذ می‌گردد، به علت تأثیر بر روی فرایند نفوذ آب بر روی تولید رواناب و فرسایش خاک تأثیرگذار است [۷]. درصد بالای پوشش گیاهی و ریشه گیاه به شدت بر روی کاهش شدت فرسایش تأثیرگذار است، علاوه بر این تنه درختان و شاخ و برگ بوته زیرحوضه‌ها از برخورد شدید قطرات باران با زمین جلوگیری نموده و شدت فرسایش را کاهش می‌دهد [۲۵]. در این پژوهش طبقه‌بندی پوشش سطحی بر این اساس انجام شده که طبقه‌های شناسایی شده در منطقه مطالعاتی بر روی فرسایش خاک تأثیر زیادی داشته باشند. طبقه‌های پوشش سطحی تولید شده شامل کشاورزی، مرتع، آب، مناطق سکونتگاهی، زمین بایر و برف می‌باشد (شکل ۴). به‌منظور صحت‌سنجی نقشه تولید شده از ۲۰۰ نقطه کنترل زمینی استفاده شد. مقدار ضریب کاپا ۹۷/۴۳ بدست آمد. دقت طبقه‌بندی به دست آمده کاملاً مناسب بوده و کیفیت ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از پوشش سطحی را بهبود بخشیده است [۳]. به‌منظور بررسی تأثیر پوشش سطحی بر روی فرسایش در ابتدا مقادیر هر

گردی و ...) با کسب کمترین امتیاز (۰/۰۸۸) به عنوان حساس ترین زیرحوضه در مقابل فرسایش خاک شناخته شد و در مقابل زیرحوضه ۵ با بیشترین امتیاز (۰/۱۱۷) بیشترین مقاومت را در مقابل فرسایش از خود نشان داده است. بر اساس پارامتر پوشش سطحی زمین نیز زیرحوضه ۱ با کسب پایین ترین امتیاز (۰/۱۶۴) بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش در مقابل زیرحوضه های دیگر از خود نشان داده است که از دلایل آن می توان به مقادیر بالای زمین های بایر در این زیرحوضه و مقادیر پایین زمین های کشاورزی و مرتع اشاره نمود به طوری که ۲۹/۸۶ درصد از مساحت زیرحوضه را زمین های

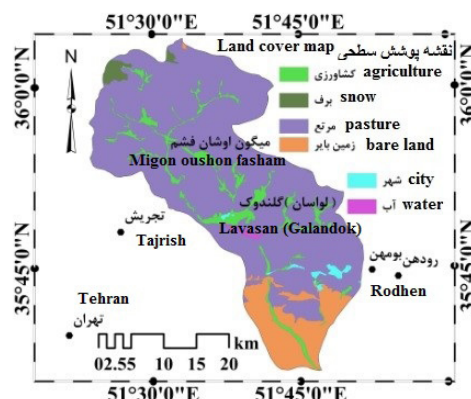
نتیجه تحلیل نقش طبقه های پوشش سطحی در فرسایش و اولویت بندی حساسیت به فرسایش زیرحوضه ها با استفاده از روش کوپراس و درصد هر یک از پوشش های سطحی در جدول ۵ ارائه شده است.

طبق نتایج جدول ۶، در اولویت بندی زیرحوضه ها از لحاظ حساسیت به فرسایش بر اساس مؤلفه های ریخت سنجی، زیرحوضه ۱ به دلیل مقادیر بالای مؤلفه های خطی (مانند تراکم زهکشی و فراوانی آبراهه و ...)، توپوگرافی (مانند نسبت ناهمواری و ...) و پایین بودن مقادیر مؤلفه های شکلی (مانند ضریب کشیدگی، ضریب



شکل ۴- نقشه پوشش سطحی

Fig4. Landcover map



شکل ۳- رتبه بندی آبراهه ها

Fig3. Stream order

جدول ۵- مقادیر هر یک از پوشش های سطحی در زیرحوضه ها

Table5. Land cover statistics of mini watersheds.

مرتع Pasture		کشاورزی Agriculture		شهر City		زمین بایر Wasteland		برف Snow		آب Water		زیرحوضه Sub-watershe
درصد %	مساحت Area KM ²	درصد %	مساحت Area KM ²	درصد %	مساحت Area KM ²	درصد %	مساحت Area KM ²	درصد %	مساحت Area KM ²	درصد %	مساحت Area KM ²	
63.1	118.16	0.11	0.21	5.37	10.04	29.8	55.83	0.00	0.00	1.47	2.75	1
83.2	78.19	0.29	0.27	4.34	4.08	12.0	11.35	0.00	0.00	0.02	0.02	2
88.7	18.88	0.97	0.21	6.51	1.39	2.43	0.52	0.00	0.00	1.32	0.28	3
94.7	111.2	3.91	4.59	0.00	0.00	0.63	0.75	0.01	0.01	0.75	0.88	4
98.1	46.34	1.75	0.83	0.00	0.00	0.12	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	5
90.6	44.02	5.86	2.85	0.00	0.00	1.02	0.50	0.18	0.09	2.31	1.12	6
89.8	60.65	6.29	4.24	0.02	0.01	2.76	1.86	0.94	0.63	0.10	0.07	7
92.1	17.36	1.73	0.33	0.00	0.00	6.08	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00	8
86.4	32.44	6.15	2.31	0.83	0.31	4.33	1.62	2.23	0.84	0.00	0.00	9
92.2	89.12	3.03	2.93	0.00	0.00	1.63	1.57	3.11	3.01	0.00	0.00	10
94.2	78.50	3.15	2.63	0.72	0.60	0.07	0.06	1.85	1.54	0.00	0.00	11
87.3	151.1	1.02	1.77	0.00	0.00	0.39	0.68	11.2	19.50	0.00	0.00	12

جدول ۶- اولویت‌بندی حوزه آبخیز برای حساسیت به فرسایش با تلفیق امتیاز مؤلفه‌های ریخت‌شناسی و پوشش سطحی

Table 6. Watershed prioritization for erosion susceptibility using combined method

روش ترکیبی Combined method		پوشش سطحی زمین Landcover				مؤلفه‌های ریخت‌سنجی Morphometric parameters				زیرحوضه Sub-watershed
رتبه rank	Q	رتبه rank	Q	sj+	sj-	رتبه rank	Q	sj+	sj-	
12	0.126	12	0.164	0.164	0.062	12	0.088	0.09	0.005	1
11	0.154	11	0.213	0.213	0.025	11	0.095	0.09	0.004	2
9	0.167	10	0.234	0.232	0.005	9	0.100	0.10	0.003	3
3	0.185	3	0.255	0.248	0.001	3	0.116	0.11	0.002	4
2	0.202	2	0.286	0.249	0.000	1	0.117	0.11	0.002	5
4	0.181	4	0.250	0.246	0.002	5	0.112	0.11	0.002	6
6	0.175	5	0.246	0.244	0.006	8	0.104	0.10	0.002	7
7	0.175	8	0.235	0.234	0.013	4	0.115	0.11	0.002	8
5	0.177	7	0.238	0.237	0.009	2	0.117	0.11	0.002	9
8	0.174	6	0.242	0.240	0.003	7	0.105	0.10	0.003	10
1	0.208	1	0.308	0.246	0.000	6	0.108	0.10	0.003	11
10	0.166	9	0.234	0.224	0.001	10	0.098	0.10	0.003	12

متوسط (۰/۱۴۶ - ۰/۱۸۷) و کم (۰/۱۸۷، ۰/۲۰۸) شد. نتایج حاصل از طبقه‌بندی نشان داد که زیرحوضه ۱ در طبقه حساسیت خیلی زیاد، زیرحوضه‌های ۲ و ۱۲ در طبقه حساسیت زیاد، زیرحوضه‌های ۳، ۱۰، ۸، ۷، ۹، ۶ و ۴ در طبقه حساسیت متوسط و زیرحوضه‌های ۵ و ۱۱ در طبقه حساسیت کم قرار گرفته‌اند (شکل ۶). بر اساس نتایج حاصل از مدل ترکیبی از کل حوزه آبخیز لواسانات به مساحت ۹۹۶/۰۷ کیلومترمربع، ۱۸/۸۷ درصد (۱۸۷/۹۷ کیلومترمربع) در طبقه حساسیت خیلی زیاد، ۲۶/۸۲ درصد (۲۶۷/۱۸ کیلومترمربع) در طبقه حساسیت زیاد، ۳۹/۱۵ درصد (۳۸۹/۹۹ کیلومترمربع) در طبقه حساسیت متوسط و ۱۵/۱۵ درصد (۱۵۰/۹۳ کیلومترمربع) در طبقه حساسیت کم قرار گرفته است. به منظور ارزیابی مدل چند شاخصه کوپراس اقدام به مقایسه آن با روش‌های VIKOR، TOPSIS و SAW گردید. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های مورد استفاده با استفاده از شاخص‌های درصد تغییرات و شدت تغییرات در جداول (۷ و ۸) نشان داده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی روش‌ها با شاخص درصد تغییرات بیانگر این است که روش کوپراس بر اساس مؤلفه‌های ریخت‌شناسی با درصد تغییرات ۶۰/۶۱ و بر اساس عامل پوشش سطحی زمین با درصد تغییرات ۶۲/۳۰ دارای کارایی و دقت

بایر تشکیل داده است و تنها ۰/۱۱ درصد را زمین‌های کشاورزی تشکیل داده است. درصد زمین‌های مرتعی نیز در این زیرحوضه از زیرحوضه‌های دیگر کمتر می‌باشد و در مقابل زیرحوضه ۱۱ با کسب بیشترین امتیاز (۰/۳۰۸) کمترین حساسیت را نسبت به فرسایش از خود نشان داده است که از دلایل آن می‌توان به مقادیر پایین درصد زمین‌های بایر و مقادیر بالای کشاورزی و مرتع اشاره نمود. این زیرحوضه دارای بیشترین درصد مرتع در مقایسه با زیرحوضه‌های دیگر می‌باشد. پس از اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها با استفاده از مؤلفه‌های ریخت‌سنجی و پوشش سطحی، به منظور دستیابی به یک نتیجه مناسب اقدام به تلفیق نتایج گردید. نتایج حاصل از مدل تلفیقی بیانگر این است که زیرحوضه ۱ با کمترین امتیاز (۰/۱۲۶) بیشترین حساسیت را نسبت به فرسایش داشته و زیرحوضه ۱۱ با بیشترین امتیاز (۰/۲۰۸) بیشترین مقاومت را در مقابل فرسایش داشته است. نتایج حاصل از اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیرحوضه‌ها با روش تلفیقی در شکل ۵ نشان داده شده است. پس از اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با روش ترکیبی، با توجه به امتیازات بدست آمده اقدام به طبقه‌بندی آن‌ها از حیث حساسیت به فرسایش در ۴ طبقه خیلی زیاد (۰/۱۲۶ - ۰/۱۴۶)، زیاد (۰/۱۴۶، ۰/۱۶۷)،

می‌باشد. با توجه به مقادیر شاخص‌های درصد تغییرات و شدت تغییرات می‌توان بیان داشت که روش کوپراس با دقت بالاتری نسبت به سه روش دیگر به ارزیابی پارامترها پرداخته است.

بحث و نتیجه‌گیری

اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز از حیث حساسیت به فرسایش به‌عنوان یکی از مهمترین ابعاد برنامه‌ریزی و توسعه منابع طبیعی برای اقدامات حفاظت از منابع آب و خاک می‌باشد. پژوهش حاضر نشان داد که استفاده از داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌ای به همراه

بیشتری نسبت به روش‌های VIKOR، TOPSIS و SAW با درصد تغییرات (۶۴/۳۸ و ۶۵/۷۷، ۶۳/۶۹) و (۶۳/۱۹ و ۶۳/۱۹، ۶۵/۷۷) به ترتیب بر اساس مؤلفه‌های ریخت‌شناسی و پوشش سطحی زمین می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از ارزیابی شاخص شدت تغییرات نشان داد که روش کوپراس بر اساس مؤلفه‌های ریخت‌شناسی و پوشش سطحی زمین به ترتیب با شدت تغییرات ۶/۷۳ و ۶/۳۱ دارای دقت بیشتری نسبت به روش‌های VIKOR، TOPSIS و SAW با شدت تغییرات (۵/۴۵، ۵/۱ و ۵/۱۴) و (۵/۴۹ و ۵/۳۱، ۵/۰۹) به ترتیب بر اساس مؤلفه‌های ریخت‌شناسی و پوشش سطحی زمین

جدول ۷- مقدار درصد تغییرات بین روش‌ها

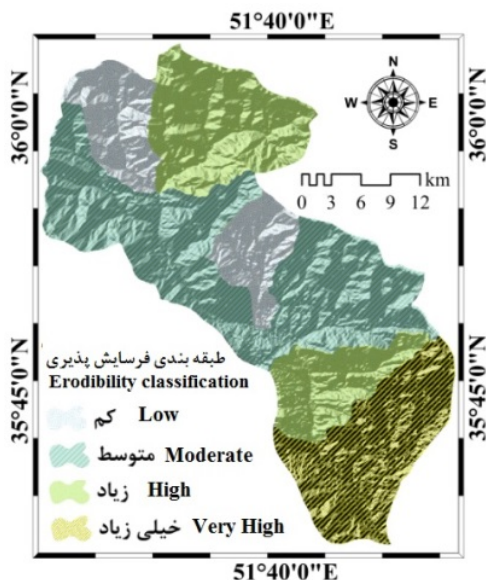
Table7. The percentage of changes between the methods

مؤلفه‌های ریخت‌شناسی Morphological Parameters	VIKOR	COPRAS	TOPSIS	SAW	جمع تغییرات Total changes
VIKOR	0	88.88	80.55	83.33	63.19
COPRAS	80.55	85.33	0	80.55	61.60
TOPSIS	88.88	0	85.33	88.88	65.77
SAW	83.33	88.88	80.55	0	63.19
پوشش سطحی زمین Land surface cover	VIKOR	COPRAS	TOPSIS	SAW	جمع تغییرات Total changes
VIKOR	85.33	0	88.88	88.88	65.77
COPRAS	0	85.33	80.55	83.33	62.30
TOPSIS	80.55	88.88	0	85.33	63.69
SAW	83.33	88.88	85.33	0	64.38

جدول ۸- مقدار شدت تغییرات بین روش‌ها

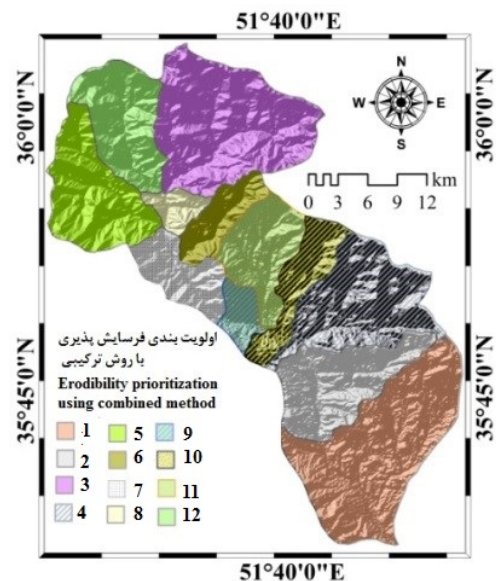
Table8. The intensity changes between methods

مؤلفه‌های ریخت‌شناسی Morphological Parameters	VIKOR	COPRAS	TOPSIS	SAW	جمع تغییرات Total changes
VIKOR	1	1.95	1.07	1.08	5.1
COPRAS	1.95	1	1.72	1.40	6.73
TOPSIS	1.07	1.72	1	1.66	5.45
SAW	1.08	1.40	1.66	1	5.14
پوشش سطحی زمین Land surface cover	VIKOR	COPRAS	TOPSIS	SAW	جمع تغییرات Total changes
VIKOR	1	1.66	1.25	1.40	5.31
COPRAS	1.66	1	1.70	1.95	6.31
TOPSIS	1.25	1.70	1	1.14	5.09
SAW	1.40	1.95	1.14	1	5.49



شکل ۶- طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها با روش تلفیقی

Fig6. Classification of sub watersheds using combined method



شکل ۵- اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها با روش تلفیقی

Fig5. Prioritization of sub watersheds using combined method

منابع

1. Abdul Rahaman, S. Abdul Ajeez, S. Aruchamy, S. and Jegankumar, R. 2015. Prioritization of Sub Watersheds Based on Morphometric Characteristics Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System—A Study of Kallar Watershed. Tamil Nadu. Aquatic Procedia. 4: 1322-1330.
2. Antucheviciene, J. Zakarevicius, A. and Zavadkas, E. K. 2011. Measuring Congruence of Ranking Results Applying Particular MCDM Methods. Informatica. 22(3): 319-338.
3. Arabameri, A.R., Pourghasemi, H.R., Artemi, C. 2018. Erodibility prioritization of sub-watersheds using morphometric parameters analysis and its mapping: A comparison among TOPSIS, VIKOR, SAW, and CF multi-criteria decision making models, Science of The Total Environment, 613. 1385-1400.
4. Altaf, S. Meraj, G. and Romshoo, S.A. 2014. Morphometry and land cover based multi criteria analysis for assessing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan, Watershed Environmental Monitoring Assessment. 186: 8391-8412.
5. Ahmad Rather, M. Satish Kumar, J. Farooq, M. and Rashid, H. 2017. Assessing the influence of watershed

تحلیل‌های چند معیاره در محیط نرم‌افزار ArcGIS به منظور ارزیابی حساسیت فرسایش خاک در زیرحوضه‌های لواسانات دارای دقت و کارایی بالاتری نسبت به رویکردهای سنتی می‌باشد و در زمینه اولویت‌بندی زیرحوضه‌های حساس به فرسایش در زمینه حفاظت از منابع آب و خاک می‌تواند به برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیران کمک شایانی نماید. طبق نتایج استفاده از رویکرد ترکیبی مؤلفه‌های ریخت‌سنجی و پوشش سطحی دارای دقت بالایی در شناسایی مناطق مستعد فرسایش می‌باشد. در حوزه لواسانات با توجه به شرایط توپوگرافی و مورفولوژیکی و همچنین عوامل طبیعی و انسانی به منظور جلوگیری از هدر رفت منابع آب و خاک در اثر فرسایش شدید، باید به زیرحوضه‌های دارای شرایط بحرانی توجه ویژه نمود. پیشنهاد می‌گردد که اقدامات حفاظت از منابع آب و خاک در زیرحوضه شماره یک که در طبقه حساسیت به فرسایش خیلی زیاد قرار گرفته است بلافاصله توسط مسئولان و برنامه‌ریزان اجرایی گردد. با توجه به بحرانی بودن وضعیت در این زیرحوضه و همچنین شرایط توپوگرافی و اقلیمی آن، پیشنهاد می‌گردد اقدامات بیولوژیکی و مکانیکی به صورت همزمان انجام گیرد، همچنین در این مناطق قبل از انجام هر گونه عملیات حفاظتی باید از نظرات و پیشنهادات افراد متخصص و همچنین تجارب افراد بومی استفاده نمود. اقدامات پیشنهادی شامل تغییر الگوی کاربری اراضی و تبدیل زمین‌های بایر به مرتع و کاشت گیاهان سازگار با منطقه، کشت تناوبی گیاهان، جلوگیری از چرای بیش از حد در منطقه، اقدامات کنترل سیلاب مانند ساخت سدهای کنترلی و احیای اراضی در مسیل‌ها و دره‌ها می‌باشد.

An assessment of sustainable housing affordability using a multiple criteria decision making method. *Omega*. 2(3): 2-10.

16. Miller, V. 1953. A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee. Project NR 389-402, Technical Report 3, Columbia University, Department of Geology, ONR, New York.

17. Moore, I.D. Grayson, R.B. and Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrol Process*. 5 (1): 3-30.

18. Murtaza, K. O. and Romshoo, S. A. 2014. Determining the suitability and accuracy of various statistical algorithms for satellite data classification. *International Journal Geomat Geoscience*. 4(4): 585-599.

19. Mortan, J.C. 2007. Image analysis, classification and change detection in remote sensing, with algorithms for ENVI/IDL. CRC press, Taylor & Francis Group.

20. NookaRatnam, K. Srivastava, Y.K. Venkateshwara Rao, V. Amminedu, E. and Murthy, K.S.R. 2005. Check Dam Positioning by Prioritization of Micro-Watersheds Using SYI Model and Morphometric Analysis—Remote Sensing and GIS Perspective. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 33: 25-38.

21. Nautiyal, M.D. 1994. Morphometric analysis of drainage basin, district Dehradun, Uttar Pradesh. *J. Indian Soc. Remote Sensing*. 22 (4): 252-262.

22. O'Callaghan, J. F. and Mark, D. M. 1984. The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision Graphics and Image Processing*. 28: 323-344.

23. Obaid, H.A. and Shahid, S. 2017. Soil erosion susceptibility of Johor River basin. *water and environmental*. 4: 1-6.

24. Rashid, M. Lone, M. and Romshoo, S.A. 2011. Geospatial tools for assessing land degradation in Budgam district, Kashmir Himalayas, India. *J Earth Syst Sci*. 120 (3): 423-434.

25. Romshoo, S.A. Bhat, S.A. and Rashid, I. 2012. Geoinformatics for assessing the morphometric control on hydrological response at watershed scale in the

characteristics on soil erosion susceptibility of Jhelum basin in Kashmir Himalayas. *Arab J Geosci*. 10: 59.

6. Chatterjee, P .V. Manikrao, A. and Shankar, C. 2011. Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods. *Materials and Design*. 32: 851-860.

7. Dams, J. Dujardina, J. Reggersa, R. Bashira, I. Cantersb, F. and Batelaana, O. 2013. Mapping impervious surface change from remote sensing for hydrological modelling. *J Hydrol*. 485: 84-94.

8. Farhan, Y. and Anaba, O. 2016. A Remote Sensing and GIS Approach for Prioritization of Wadi Shueib Mini-Watersheds (Central Jordan) Based on Morphometric and Soil Erosion Susceptibility Analysis. *Journal of Geographic Information System*. 8: 1-19.

9. Horton, R. 1945. Erosional Development of Streams and their Drainage Basins: Hydrological Approach to Quantitative Morphology. *Geological Society of America Bulletin*. 56: 275-370.

10. Jato-Espino, D. Castillo-Lopez, E. Rodriguez-Hernandez, J. and Canteras-Jordana, J. C. 2014. A Review of Application of Multi-Criteria Decision Making Methods in Construction. *Automation in Construction*. 45: 151-162.

11. Kumar Dey, P. Nath Ghosh, D. and Chand Mondal, A. 2011. A MCDM Approach for Evaluating Bowlers Performance in IPL. *Journal of Emerging Trends in Computing and Information Sciences*. 2: 563-573.

12. Latinopoulos, D. and Kechagia, K. 2015. A GIS-based Multi-Criteria Evaluation for Wind Farm Site Selection. A Regional Scale Application in Greece. *Renewable Energy*. 78: 550-560.

13. Lo, C. P. and Yeung, A. K.W. 2002. Concepts and Techniques of Geographic Information System. New Jersey: Pearson Education Inc.

14. Londhe, S. Nathawat, M. S. and Subudhi, A. P. 2010. Erosion susceptibility zoning and prioritization of mini watersheds using Geomatics approach. *International Journal Geomat Geoscience*. 1(3): 511-528.

15. Mulliner, E. Smallbone, K. and Maliene, V. 2012.

31. Valentinas, P. 2011. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*. 22 (2): 134-146.
32. Youssef, A.M. and Pradhan, B. 2011. Flash flood risk estimation along the St. Katherine road, southern Sinai. Egypt us IS baseing Gd morphometry and satellite imagery. *Environ Earth Sci*. 62 (3): 611-623.
33. Zavadskas, E.K. Kaklauskas, A. Peldschus, F. and Turskis, Z. 2008. Multi-attribute assessment of road design solutions by using the COPRAS method. *Baltic Journal of Road Bridge Engineering*. 2:195-203.
- Upper Indus basin. *J Earth Syst Sci*. 121 (3): 659-686.
26. Rikalovic, A. Cosic, I. and Lazarevic, D. 2014. GIS-based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection. *Procedia Engineering*. 69: 1054-1063.
27. Status of the World's Soil Resources (SWSR)- Main Report, 2015.
28. Strahler, A. 1957. Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*. 38: 913-920
29. Schumm, S. 1956. Evolution of Drainage Systems and Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of America Bulletin*. 67: 597-646.
30. Tolga, Ethem. Demircan, Murat Levent. and Kahraman, Cengiz. 2005. Operating system selection using fuzzy replacement analysis and analytic hierarchy process. *Production Economics*, 97 (1): 89-117.

Combination of Morphological and Land Cover Analysis for Assessment of Soil Erosion Susceptibility Using COPRAS Model in Lavasanat Watershed

A. Arabameri¹, M.H. Ramesht², M. Yamani³ K. Rezaei⁴, M. Sohrabi⁵

Received:15-04-2018

Accepted:23-07-2018

Abstract

Soil erosion is one of the most important environmental problems of worldwide. It is necessary to assess the susceptibility of the land to erosion to determine the spatial priority and type of soil conservation measures. In the present study, morphometric parameters have been combined with land cover classes to assess soil erosion susceptibility of sub-watersheds of Lavasanat watershed using COPRAS multi criteria decision making method. This method is simple, very practical, powerful and flexible, although it does not require complex math operations. The data used in this study included Advanced Space borne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) data (2000), with 30 m spatial resolution for drainage generation; and Landsat8 (OLI/TIRS) data (2016), with 30 m spatial resolution (band 1 to 11 expect band 3) to generate land cover information of the study area. Morphometric parameters obtained using ASTER DEM with Arc Hydro package. At first, for proper determination of flow direction and flow accumulation, DEM sinks identified and filled. We used a critical threshold 100 because of high precision, for defining streams. Strahler's scheme for stream ordering has been used. The sub-watershed erosion prioritization by using morphometric parameters and COPRAS multi attribute decision making method showed that sub-watersheds 12, 2 and 1 have the highest susceptibility to erosion with the lowest scores (0.098, 0.095, 0.088). In order to prioritize sub-watersheds based on surface coverage, the percentage of each surface coverage class in each sub-watershed was calculated. Based on the results of sub-watershed prioritization based on surface coverage, sub-watersheds 3, 2 and 1 with the lowest scores (0.234, 0.221, and 0.164) have the most susceptibility to soil erosion and must be taken up for implementation of soil and water conservation measures. In order to evaluate the model, we compared it with TOPSIS, VIKOR and SAW methods using the percentage of changes and intensity of changes. According to the validation results, COPRAS method based on morphological components with percentage and intensity of changes (60.61 and 6.73), and based on the land surface cover factor with the percentage and intensity of changes (62.30 and 6.31) has more efficiency and accuracy than the TOPSIS, VIKOR and SAW methods. Recommended operations include flood control measures such as construction of controlling dams, land use change, the cultivation of plants protects the soil and controls the grazing of animals.

Keywords: *Erodibility, Prioritization, Land cover, Morphometric, COPRAS model, Lavasanat watershed.*

1. Corresponding author and Ph.D of Geomorphology, Tarbiat Modares University. E-mail: alireza.ameri91@yahoo.com

2. Professor of physical geography, Tehran university

3. Professor of physical geography, Tehran university

4. Assistant Professor of sedimentology, Geology Department, Kharazmi University

5. M.Sc. department of civil engineering, urmia branch, islamic azad university, urmia