



اولویت‌بندی فرسایش خطی با استفاده از شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز قشلاق-سنندج غرب ایران

هادی نیبری^{۱*}، ممند سالاری^۲، ژیل چارداولی^۳

۱- استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۲- استادیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴

چکیده

مسأله‌ی فرسایش خاک و تخریب زمین یکی از مهم‌ترین مسائل در علوم طبیعی است که ارزیابی پیامدهای زیست‌محیطی و اقتصادی آن به داده‌های کمی نیاز دارد. حوضه‌ی رودخانه قشلاق در استان کردستان برای مطالعه‌ی چنین مخاطره‌ای انتخاب شد زیرا این حوضه در یک اقلیم نیمه‌خشک قرار گرفته و لیتولوژی آن اغلب شیل (سازند سنندج) است. جهت تحقیق در این زمینه شاخه‌های از رودخانه که آبراهه‌های آن‌ها دارای رتبه سه و بیشتر، بر اساس روش استرالر بودند و مستقیماً وارد شاخه اصلی می‌شدند به‌عنوان زیرحوضه برای محاسبه‌ی شاخص‌ها ترسیم گردید. ۴۷ زیرحوضه، محدوده‌ی حوضه‌ی قشلاق را پوشش داد. تعداد ۱۶ شاخص ژئومورفولوژیکی برای تعیین وضعیت فرسایش حوضه محاسبه و به‌عنوان لایه‌ی ورودی در نظر گرفته شد. سپس، نتایج این شاخص‌ها توسط چهار مدل تصمیم چندمعیاره VIKOR، TOPSIS، SAW و CF ادغام گردید. در هر چهار مورد، زیر حوضه‌های شمالی به‌عنوان مناطقی با حساسیت کم و بسیار کم در برابر فرسایش طبقه‌بندی شدند. این حوضه‌ها اغلب دارای سنگ‌های آتشفشانی هستند. در یک دید کلی، طبق هر چهار مدل بکار رفته، زیر حوضه‌های که لیتولوژی غالب آن‌ها شیلی است، در طبقات فرسایشی متوسط تا بسیار زیاد قرار گرفتند. بر این اساس چنین استنباط شد که لیتولوژی تأثیر زیادی بر روی میزان فرسایش در حوضه آبریز قشلاق دارد. همچنین روش VIKOR، به دلیل ضریب تنوع بیشتر، از دقت بیشتری نسبت به بقیه‌ی روش‌ها برخوردار است.

کلمات کلیدی: فرسایش، مورفومتری، مدل‌های چندمتغیره، سنندج، غرب ایران

۱- مقدمه

فرسایش خاک یکی از مخاطرات مهم تهدیدکننده تولید غذا در دنیا محسوب می‌شود (رحمان و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۷۲۴) این مخاطره بر زندگی و دارایی میلیون‌ها نفر در سراسر جهان تأثیر گذاشته که به دلیل خاصیت تشدید شونده و اثرات چندجانبه، به سرطان زمین شهرت یافته است (به نقل از روستایی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۸). به همین خاطر نیاز به شناخت و درک فرایندهای حاکم بر آن، پهنه‌بندی و اولویت‌بندی^۱ مناطق مختلف برای کاهش آن وجود دارد.

یافتن راه‌حل کنترل فرسایش، به داده‌های کمی فرسایش خاک و تعیین مناطق مستعد فرسایش در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی نیاز دارد (الکساکیس و همکاران^۲، ۲۰۱۳: ۱۰۹). به همین خاطر تحقیقات گسترده‌ای توسط محققین در زمینه فرسایش خاک صورت گرفته است که می‌توان به به‌کارگیری روش PSIAC توسط منصوری دانشور و همکاران (۱۳۹۳) در حوضه‌ی طرق، حاصلی و جلیلیان (۱۳۹۳) در حوضه‌ی الشتر و مدل میستر شافر توسط قربانی نژاد و همکاران (۱۳۹۷) در حوضه‌ی کاکارضا در استان لرستان، مدل پاسخ و آنالیز مورفومتری WERM پانهکار و پاور (۲۰۱۱) در هند و مصطفی‌زاده (۱۳۹۶) در حوضه‌ی آبریز روضه‌چای، مدل RUSLE توسط بیوکت و تیفری (۲۰۰۹) و آرمین و همکاران (۱۳۹۹) در حوضه‌ی آبریز سد تنگ سرخ اشاره کرد. اخیراً استفاده از داده‌های مورفومتری برای اولویت‌بندی مناطق و پهنه‌بندی فرسایش بکار می‌رود (فلاح سورکی و همکاران، ۱۳۹۵؛ پروین، ۲۰۱۸؛ ساد هاسیوم و همکاران، ۲۰۲۰). عرب‌عامری (۲۰۱۸) با به‌کارگیری شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی به‌عنوان لایه‌ی ورودی و ادغام آن‌ها به‌وسیله‌ی مدل‌های تاپسیس، ویکتور، SAW و CF به اولویت‌بندی فرسایش در حوضه‌ی قائم‌شهر پرداخت.

مطالعه‌ی میزان فرسایش و تخریب اراضی، نیازمند داده‌ها و مدل‌هایی است که علیرغم داشتن سرعت زیاد از دقت بالایی برخوردار باشند. شناخت خصوصیات فیزیکی حوضه‌ی آبریز جزو اولین گام در این زمینه است (جلالی و همکاران، ۱۳۹۵: ۶۸). به‌کارگیری ویژگی‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به این هدف کمک می‌کند. این ویژگی‌ها از طریق اندازه‌گیری فاکتورهایی مانند شیب، جهت، ارتفاع، آبراهه‌ها و ... قابل محاسبه است (ماگش و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۱۲). مورفومتری غلبه نیروها را در حوضه نشان می‌دهد (بیسواس، ۲۰۱۴: ۱) و اولین گام است که در بررسی فرسایش و رسوب، مطالعه‌ی سیلاب

1- Prioritization

2- Alexakis & et al.

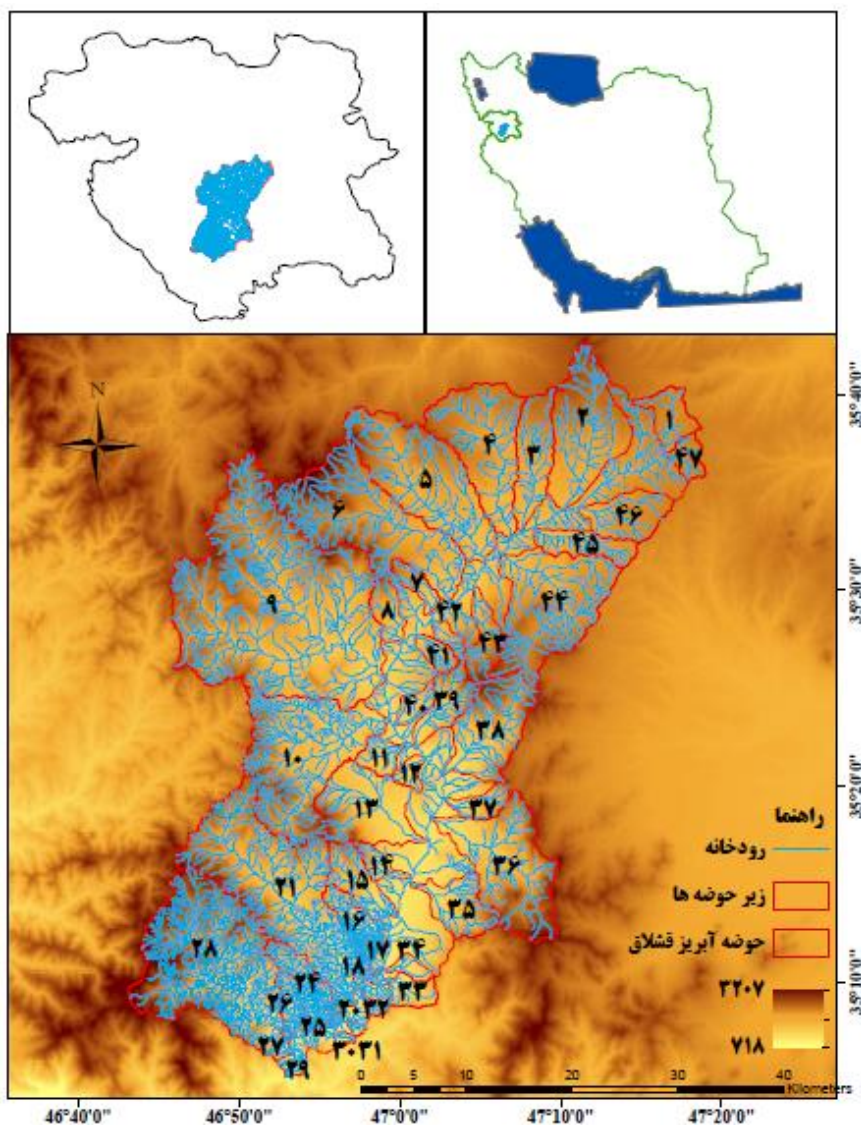
و توسعه‌ی منابع آب و دیگر مسائل حوضه‌ای ضرورت دارد (صمدی و همکاران، ۱۳۹۵:۱۰۹). این شاخص‌ها می‌تواند به‌عنوان یک فاکتور تعیین‌کننده در میزان رسوب زایی حوضه‌ی آبریز مطرح گردند (حیات‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰:۴).

این تحقیق در حوضه سنندج (قشلاق) باهدف استفاده از شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی به‌عنوان لایه‌های ورودی و مدل‌های TOPSIS، VIKOR، SAW، CF برای ادغام لایه‌ها صورت گرفته است تا به اولویت‌بندی زیرحوضه‌های سنندج بر اساس میزان حساسیت به فرسایش بپردازد. اهمیت این مطالعه در آن است که از یک‌سو حوضه‌ی آبریز سنندج فاقد ایستگاه دبی رسوب و داده‌های کافی برای طبقه‌بندی فرسایش است از سوی دیگر انتقال رسوبات به‌صورت ممتد نیست و روش‌های اندازه‌گیری دبی رسوب از دقت کافی برخوردار نیستند تا بتوان بر اساس داده‌های این ایستگاه‌ها قضاوت نمود بنابراین از شاخص‌های ژئومورفیک که حاصل برآیند نیروهای متعدد است و می‌تواند در این زمینه مفید باشند مشروط به اینکه ادغام آن‌ها به‌درستی صورت گیرد، استفاده‌شده است به‌طورکلی مزیت این مطالعه استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژیکی، به‌کارگیری واریانس شاخص‌ها برای وزن شاخص‌ها و نتیجه‌گیری بر اساس چهار مدل هم‌زمان می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

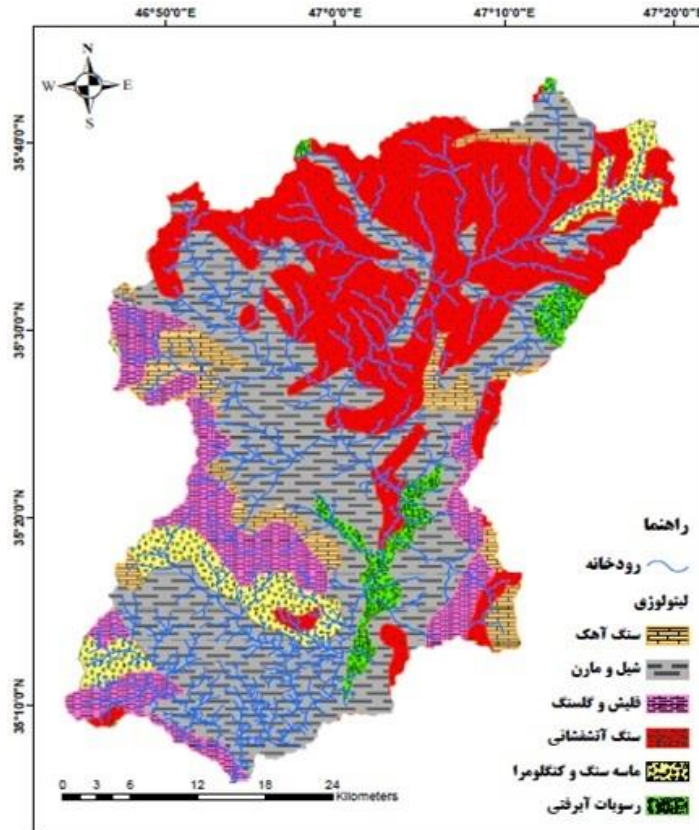
حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی قشلاق، یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین حوضه‌های آبریز استان کردستان است. این حوضه دارای مساحت ۲۰۳۴/۹۶ کیلومترمربع است. از لحاظ موقعیت جغرافیایی (شکل ۱) در عرض جغرافیای ۳۵° ۰۵' تا ۳۵° ۴۲' شمالی و طول جغرافیای ۴۳° ۴۶' تا ۴۷° ۱۲' شرقی واقع شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه و زیر حوضه‌ها؛ اعداد شماره (کد) زیر حوضه است

Figure 1: Location of the study area and the sub-basins; the numbers indicate the codes of sub basins

به لحاظ زمین‌شناسی در این حوضه غلبه با شیل‌های خاکستری تیره (سازند سنندج)، شیست و فیلیت است، به طوری که نزدیک به ۴۰ درصد از این منطقه را این سازند تشکیل می‌دهد. که در قسمت‌های جنوبی و غرب حوضه گسترش یافته‌اند. سپس آندزیت‌ها با ۲۰ درصد، وسعت بیشتری نسبت به سایر سازندها دارند (چارداولی، ۱۴۰۰: ۲۴) که در قسمت‌های شمالی حوضه قرار گرفته‌اند (شکل ۳).



شکل ۲: نقشه‌ی لیتولوژی حوضه‌ی آبریز قشلاق سنندج (منبع: نقشه‌ی زمین‌شناسی سنندج ۱:۱۰۰۰۰۰)

Figure 2: Lithology map of Gheshlugh Watershed, Sanandaj (source: Sanandaj geological map 1: 100000)

۲-۲- روش تحقیق

مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر است:

- ترسیم آبراهه‌ها و طبقه‌بندی آن‌ها با استفاده از روش استرالر و ترسیم زیرحوضه‌ها
- محاسبه شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی به‌عنوان لایه‌ی ورودی به مدل
- محاسبه واریانس شاخص‌ها و به‌کارگیری آن‌ها به‌عنوان وزن لایه در مدل‌ها
- ادغام لایه‌ها با استفاده از مدل‌های SAW، VIKOR، TOPSIS و CF
- صحت‌سنجی مدل‌ها با استفاده از آزمون آماری کالموگروف اسمیرانف و ضریب همبستگی اسپیرمن

۲-۳- شاخص‌های مورفومتریک (لایه‌های ورودی)

تجزیه و تحلیل مورفومتریک بهترین روش برای شناسایی ارتباطات مختلف در حوضه‌های آبریز است. (سوکریستیانتی^۱، ۲۰۱۸: ۱) بر این اساس به محاسبه‌ی شاخص‌های مورفومتری مرتبط با فرسایش که در تحقیقات قبلی از آن‌ها استفاده کرده‌اند، اقدام شد (جدول ۱). برای این کار، ابتدا رتبه‌بندی آبراهه‌ها با استفاده از روش استرال انجام شد. سپس، تمامی آبراهه‌هایی که رتبه‌ی ۳ و بالاتر داشتند و به آبراهه‌ی اصلی وصل شدند، به‌عنوان زیرحوضه در نظر گرفته شد (شکل ۱). شاخص‌های مورفومتری مطابق جدول یک برای آن‌ها محاسبه شد. این شاخص‌ها به‌عنوان لایه‌ی ورودی مدل‌های VIKOR، TOPSIS، SAW و CF مورد استفاده قرار گرفتند. در واقع با این مدل‌ها، شاخص‌ها ادغام شدند.

جدول (۱): شاخص‌های مورفومتریک، فرمول محاسبه، رابطه‌ی هر شاخص با فرسایش و منابعی که از این شاخص‌ها استفاده کردند را نشان می‌دهد علامت + نشانه‌ی رابطه‌ی مستقیم شاخص و علامت - نشانه رابطه معکوس شاخص با فرسایش است
Table (1): Shows the morphometric indices, the calculation formula, the relationship of each index with erosion and the sources that used these indices the + symbols indicate positive correlation and the - symbols show negative correlation

ردیف	شاخص‌ها	فرمول محاسبه	رابطه	منبع
۱	تراکم زهکش Dd	$Dd = \frac{Lu}{A}$	+	Horton (1932) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۲۰)
۲	فراوانی جریان Fu	$Fu = \frac{Nu}{A}$	+	Horton (1932) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۲۰)
۳	نسبت انشعاب Rbm	$Rbm = \frac{Nu}{n+1}$	+	Strahler (1957)
۴	نسبت بافت T	$T = \frac{Nu}{P}$	+	Horton (1945) Smith(1950)
۵	ثابت نگهداری کانال C	$C = \frac{1}{Dd}$	-	Horton (1945) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)
۶	طول جریان سطحی Lo	$Lo = \frac{1}{2Dd}$	-	Horton (1932, 1945)
۷	عدد نفوذ If	$If = Fu \times Dd$	+	Strahler(1952)
۸	ضریب کشیدگی Re	$Re = 2\sqrt{(A/Pi)/Lb}$	-	Schumn (1954) Dar et al(2013)
۹	ضریب گردی Rc	$Rc = 4 \times \pi \times A/P^2$	+	Strahler (1964) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)

ادامه‌ی جدول (۱):
Continues Table (1):

ردیف	شاخص‌ها	فرمول محاسبه	رابطه	منبع
۱۰	ضریب فرم Rf	A مساحت حوضه Lb طول حوضه	$Rf = \frac{A}{Lb^2}$	Horton (1945)
۱۱	شکل حوضه Fr	A مساحت حوضه Lb طول حوضه	$Fr = \frac{Lb^2}{A}$	Natnam et al. (2005) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)
۱۲	ضریب فشردگی Cc	A، مساحت حوضه و P محیط حوضه	$Cc = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$	Horton (1945) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)
۱۳	شاخص ناهمواری حوضه Bh	H max بیشترین ارتفاع حوضه و H min کمترین ارتفاع حوضه‌ی آبریز	$Bh = H_{max} - H_{min}$	Horton (1945) Schumm(1956)
۱۴	عدد ناهمواری Rn	Bh شاخص ناهمواری حوضه	$Rn = Dd \times \left(\frac{Bh}{1000}\right)$	Moore et al. (1991) عرب‌عامری و همکاران (۲۰۱۸)
۱۵	نسبت ناهمواری Rh	Bh شاخص ناهمواری حوضه Lb طول حوضه	$Rh = \left(\frac{Bh}{Lb}\right)/1000$	Schumm (1954)
۱۶	شیب S	Bh شاخص ناهمواری حوضه، A، مساحت حوضه	$S = \left(\frac{Bh}{\sqrt{A}}\right) \times 100$	Strahler (1957) Mesa(2006)

۲-۴- روش‌های ادغام شاخص‌ها

برای ادغام لایه‌ها توسط مدل‌های تاپسیس، ویکور و SAW مراحل انجام کار در ابتدا یکسان و به‌صورت زیر است:

۱. تنظیم ماتریسی که ستون‌های آن را معیارها و سطرهای آن را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند.

۲. تبدیل داده‌های کیفی به کمی (نرمال‌سازی)

۳. بی‌بعدسازی و بی‌مقیاس کردن ماتریس فوق

۴. ایجاد ماتریس بی‌بعد وزن‌دار

در این مرحله وزن‌های کارشناسی در داده‌های ماتریس بی‌بعد ضرب می‌گردند.

بعدازاین که داده‌ها به‌صورت مراحل فوق آماده شدند در مدل‌های مذکور بکار گرفته شدند.

۲-۵- مدل تاپسیس (TOPSIS)

تاپسیس یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این روش، m گزینه به‌وسیله‌ی n معیار ارزیابی می‌شود. در این تحقیق گزینه‌ها میزان حساسیت به فرسایش و معیارها شاخص‌ها هستند. داده‌های آماده‌شده طبق مراحل قبل، برای استخراج ایده آل‌های مثبت و منفی بکار می‌روند.

بیشترین فاصله به عنوان ایده آل مثبت و کمترین فاصله به عنوان ایده آل منفی در نظر گرفته می شود. فاصله‌ی هر یک از معیارهای منفی و مثبت به ترتیب، از طریق رابطه‌های ۱ و ۲ به دست آمده است.

$$d_j^- = \sqrt{\sum_i^n (r_{ij} - r_j^-)^2} \quad (1)$$

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_i^n (r_{ij} - r_j^+)^2} \quad (2)$$

در نهایت برای اولویت‌بندی گزینه‌ها از رابطه‌ی ۳ استفاده می‌شود. اولویت‌ها بین صفر تا یک است.

$$C_i = \frac{d_j^-}{d_j^- + d_j^+} \quad (3)$$

۲-۶- روش ویکور (VIKOR)

روش انجام فرایند ویکور در مراحل اولیه شباهت‌هایی با روش تاپسیس دارد. اما در مراحل نهایی، نحوه‌ی محاسبه‌ی شاخص‌های سودمندی و تأسّف متفاوت است (عرب‌عامری و همکاران، ۲۰۱۸). برای محاسبه‌ی مقادیر S_i (شاخص سودمندی) و R_i (شاخص تأسّف) به ترتیب رابطه‌های ۴ و ۵ استفاده می‌شود اگر معیار از نوع سودمندی باشد، $f_{ij}^+ = \max$ و اگر از نوع تأسّف باشد، $f_{ij}^- = \min$ را خواهیم داشت.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \times \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad (4)$$

$$R_i = \max \left[w_j \times \frac{f_j^+ - f_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \right] \quad (5)$$

مقدار سودمندی (S) بیانگر فاصله‌ی نسبی گزینه‌ی i ام از نقطه‌ی ایده‌آل و مقدار تأسّف (R) بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه‌ی i ام از دوری از نقطه‌ی ایده‌آل است (حضرتی و جعتی، ۱۳۹۵).

محاسبه‌ی مقادیر Q برای هر گزینه، از رابطه‌ی (۶) حاصل می‌شود.

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1-v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (6)$$

$$S^* = \min S_i, S^- = \max S_i$$

$$R^* = \min R_i, R^- = \max R_i$$

پارامتر v در این مقاله برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

رتبه‌بندی جایگزین‌ها که با توجه به مقادیر S ، R و Q طبقه‌بندی شده است. بهترین گزینه دارای کمترین مقدار این سه پارامتر است.

۲-۷-روش SAW

روش وزن‌دهی ساده (SAW)، ساده‌ترین روش تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در این روش انتخاب بهترین گزینه با جمع سطری ماتریس وزن‌ها، امتیاز هر گزینه محاسبه می‌شود و بر اساس آن گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند.

۲-۸-فاکتور ترکیبی CF

این مدل بر پایه‌ی اصول مدل‌سازی مبتنی بر دانش است (تودوروفسکی و زروسکی^۱، ۲۰۰۶) و درک کیفی از یک پدیده را از طریق دانش علمی به یک تخمین کمی تبدیل می‌کند. در این روش، تعداد کل رتبه‌های تعیین‌شده بر اساس تعداد گزینه‌ها در هر شاخص است. میانگین رتبه تمام شاخص‌ها به‌عنوان مقدار ترکیبی تعیین‌شده است و نشان‌دهنده‌ی تأثیر جمعی همه‌ی شاخص‌ها می‌باشد (آلتاف و همکاران^۲، ۲۰۱۴). محاسبه‌ی نهایی این مدل در رابطه‌ی ۷ آمده است.

$$CF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R \quad (7)$$

در رابطه‌ی فوق، CF ارزش ترکیب، n تعداد معیارها و R رتبه‌ی گزینه‌ها است.

۲-۹-استانداردسازی داده‌ها

مقادیر شاخص‌ها مورفومتری نتایج متفاوت دارد. همچنین، همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، رابطه‌ی تعدادی از شاخص‌ها با فرسایش مستقیم (مثبت) و رابطه‌ی تعدادی دیگر، معکوس (منفی) است. با استاندارد کردن داده‌ها اثر تمامی شاخص‌ها را بر فرسایش مستقیم شدند. در فرایند استانداردسازی، برای معیارهایی که رابطه‌ی مستقیم با میزان حساسیت به فرسایش دارند، از رابطه‌ی ۸ و برای معیارهایی که رابطه‌ی معکوس با فرسایش دارند، از رابطه‌ی ۹ استفاده می‌شود.

$$X_+ = \frac{X_i}{\max_{xi}} \quad (8)$$

$$X_- = \frac{\min_{xi}}{xi} \quad (9)$$

در این رابطه‌ها، X_i عدد به‌دست‌آمده برای هر گزینه، \min_{xi} کم‌ترین عدد به‌دست‌آمده در شاخص‌هایی که رابطه‌ی معکوس با فرسایش دارند و \max_{xi} بیش‌ترین مقدار به‌دست‌آمده در شاخص‌هایی است که رابطه‌ی مستقیم با فرسایش دارند.

۲-۱۰- وزن معیارها (وزن لایه‌ها)

با توجه به اینکه فرض ما بر این بوده که شاخص‌های مورفومتری و ژئومورفولوژیکی می‌توانند میزان فرسایش را در حوضه‌ها مشخص کنند، همچنین این شاخص‌ها در تحقیقات دیگر مورد استفاده قرار گرفته بودند (هجام و همکاران^۱، ۲۰۱۳؛ داس^۲، ۲۰۱۴؛ عرب‌عامری و همکاران، ۲۰۱۸)، وزن لایه‌ها از طریق واریانس عامل‌ها محاسبه شده است. شاخص‌ها در نرم‌افزار spss تبدیل به عامل شدند و بعد از چرخش واریانس عامل‌ها به‌عنوان وزن لایه‌ها برای ادغام لایه‌ها بکار برده شد.

۲-۱۱- صحت‌سنجی مدل‌ها

صحت‌سنجی مدل‌ها به‌علت نبود داده کافی و عدم اعتماد به داده‌های برداشت‌شده از ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و مکانیسم جابه‌جایی رسوبات که حرکت آن‌ها به‌صورت انقطاع و بریدگی در عمل جابه‌جایی (رجایی، ۱۳۷۳: ۲۱) که باعث اختلاف زیادی بین میزان فرسایش و داده‌های رسوبی برداشت‌شده در ایستگاه‌ها می‌شود به‌وسیله آزمون کالموگروف اسمیرانف سنجیده شد بدین ترتیب در صورتی که اختلاف معنی‌داری بین مدل‌ها دیده نشود صحت مدل‌ها مورد تأیید خواهد شد همچنین همبستگی این مدل‌ها به‌وسیله ضریب همبستگی اسپیرمن برای کمک به صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفت.

۳- نتایج

۳-۱- ترسیم زیرحوضه‌ها براساس رتبه‌ها

بعد از رقومی کردن در Google Earth و رتبه‌بندی آبراهه‌ها در ARC MAP، حوضه‌ی آبریز اصلی باید به چند زیرحوضه تقسیم شود، تا شاخص‌های مورفومتری برای هر کدام به‌دست آید و شرایط هر یک جداگانه بررسی شود. در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی قشلاق، پس از رتبه‌بندی آبراهه‌ها، تمامی شاخه‌های فرعی که رتبه‌ی بیشتر از ۲ داشتند و مستقیماً به رودخانه‌ی اصلی وارد می‌شوند، به‌عنوان حوضه‌های کوچک‌تر از حوضه‌ی اصلی (زیرحوضه) انتخاب شدند.

تعداد زیرحوضه‌هایی که حداقل آخرین رتبه‌ی آن‌ها ۳ است و مستقیماً به رودخانه‌ی اصلی وارد شده‌اند، شامل ۴۷ حوضه می‌شود. نتایج محاسبات داده‌های پایه‌ای در جدول ۲ آمده است.

با توجه به جدول ۲ زیرحوضه‌های شماره ۱۷، ۲۵، ۲۲، ۲۳ و ۲۶ که در جنوب محدوده قرار گرفته‌اند در مقایسه با زیرحوضه‌های دیگر از نسبت طول آبراهه به مساحت بیشتری برخوردارند بالا بودن نسبت طول به مساحت در این زیر حوضه‌ها نشان‌دهنده‌ی افزایش فرسایش است.

جدول (۲): نتایج محاسبات شاخص‌های پایه‌ی موردنیاز برای محاسبات مورفومتری

Table (2): Results of basic indices required for morphometric calculations

کد حوضه	محیط (Km)	مساحت (Km ²)	طول آبراهه‌ها	تعداد آبراهه‌ها	طول حوضه (Km)	کد حوضه	محیط (Km)	مساحت (Km ²)	طول آبراهه‌ها	تعداد آبراهه‌ها	طول حوضه (Km)
۱	۲۳	۱۸/۵۲	۱۸/۷	۱۲	۶/۹	۲۵	۳/۶	۰/۵	۳/۴	۱۱	۰/۹
۲	۴۲	۷۳/۴۲	۱۰/۱۸	۶۵	۱۵/۷	۲۶	۱۶/۹	۱۰/۴	۵۰/۳	۱۱۳	۵
۳	۳۳	۳۶/۷۱	۵۶/۳	۳۰	۱۰/۲	۲۷	۴/۴	۰/۹	۴/۳	۱۱	۱/۳
۴	۴۴	۷۶/۵۹	۹۵/۳	۵۳	۱۵/۵	۲۸	۶۳	۱۵۷/۲	۴۹۲/۹	۷۸۵	۲۳/۳
۵	۴۹	۹۸/۴۵	۱۵۲/۸	۹۰	۱۷/۹	۲۹	۵	۱/۲	۴/۷	۱۰	۱/۵
۶	۶۰	۱۱۶/۶۶	۱۹۸/۴	۱۴۴	۱۹/۷	۳۰	۶/۲	۱/۹	۴/۸	۱۰	۱/۹
۷	۱۶	۹/۴۰	۱۵/۱	۹	۴/۷	۳۱	۵/۵	۱/۶	۴/۹	۸	۱/۷
۸	۱۸	۱۳/۸۴	۲۰/۲	۱۲	۵/۹	۳۲	۷/۶	۲/۵	۷/۷	۹	۲/۲
۹	۸۹	۳۰۲/۴۵	۵۲۶/۶	۴۱۴	۳۳/۹	۳۳	۱۶/۴	۱۲	۱۷/۹	۱۵	۵/۴
۱۰	۵۷	۱۱۶/۱۷	۲۶۰/۸	۲۲۴	۱۹/۷	۳۴	۱۲/۶	۶	۱۰/۴	۹	۳/۷
۱۱	۱۵	۱۰/۸۶	۱۹/۸	۱۱	۵/۱	۳۵	۲۷/۹	۲۷/۲	۴۸/۴	۲۵	۸/۶
۱۲	۱۱	۶/۰۹	۹/۶	۷	۳/۷	۳۶	۴/۶	۸۴/۲	۱۰۴/۳	۶۶	۱۶/۴
۱۳	۳۶	۵۵/۶۰	۶۰/۵	۳۷	۱۲/۹	۳۷	۱۷/۰	۱۱/۷	۲۰/۷	۱۳	۵/۴
۱۴	۱۶	۷/۹۶	۱۸/۲	۱۲	۴/۳	۳۸	۳۵/۱	۵۵/۶	۱۰/۱/۴	۶۰	۱۲/۹
۱۵	۲۵	۲۴/۰۱	۵۷/۱	۶۹	۸/۰	۳۹	۲۴/۶	۲۲/۵	۴۵/۸	۳۳	۷/۷
۱۶	۲۱	۱۴/۶۷	۶۴/۸	۱۳۲	۶/۱	۴۰	۱۳/۶	۸/۱	۱۸/۴	۱۰	۴/۳
۱۷	۹	۲/۹۳	۲۰/۹	۶۱	۲/۴	۴۱	۱۲/۵	۸/۶	۱۷/۱	۱۴	۴/۵
۱۸	۷	۱/۹۱	۸/۸	۱۷	۱/۹	۴۲	۱۱/۹	۵/۸	۱۱/۵	۸	۳/۶
۱۹	۴	۰/۹۹	۴/۵	۱۰	۱/۳	۴۳	۲۴/۴	۱۹/۳	۳۱/۵	۲۲	۷/۱
۲۰	۷	۱/۷۸	۸/۱	۱۶	۱/۸	۴۴	۵۱/۴	۹۳/۴	۱۶۷/۳	۱۰۴	۱۷/۴
۲۱	۷۴	۱۴۸/۶۹	۳۸۵/۳	۵۰۶	۲۲/۶	۴۵	۲۶/۶	۲۰/۹	۳۹/۳	۳۴	۷/۴
۲۲	۶	۱/۱۰	۶/۴	۱۳	۱/۴	۴۶	۲۴/۵	۲۸/۸	۳۶/۴	۲۰	۸/۹
۲۳	۳	۰/۴۴	۲/۳	۷	۰/۸	۴۷	۱۴/۵	۹/۷	۱۴/۱	۲۰	۴/۸
۲۴	۲۷	۲۱/۲۸	۱۰/۱/۹	۲۲۰	۷/۵						

۳-۲- محاسبات مورفومتری

انواع مختلف از شاخص‌های مورفومتری وجود دارد که در محاسبات کمی حوضه‌ها از آن‌ها استفاده می‌شود. نوع این شاخص‌ها بر اساس هدف تعیین شده برای مطالعه‌ی حوضه، متفاوت هستند. در این تحقیق با توجه به اینکه هدف، ارزیابی فرسایش بوده، طبق تحقیقات قبلی تعداد ۱۶ شاخص در نظر گرفته شده و مقادیر آن‌ها برای هر ۴۷ حوضه به دست آمده است. در جدول ۳ مقادیر شاخص‌ها که به تفکیک برای هر حوضه به دست آمده، نشان داده شده است.

جدول (۳): نتایج محاسبات مورفومتری برای زیرحوضه‌ها

Table (3): Results of morphometric calculations for sub-basins

S	Rh	Rn	Bh	Cc	Rc	Re	Fr	Rf	C	If	Lo	T	Rbm	Fu	Dd	کد حوضه
۴/۶	۱۰۳	۰/۲	۰/۲	۱/۵	۱۴۳	۱۷	۲/۶	۱۳۸	۱۹۹	۰/۶	۱۴۹	۰/۵	۱۴۶	۰/۶	۱/۰	۱
۹/۹	۱۰۵	۱/۲	۰/۸	۱/۴	۱۵۱	۱۶۳	۳/۱	۱۳۱	۱۷۲	۱/۲	۱۳۶	۱/۵	۱۴۹	۰/۹	۱/۴	۲
۹/۶	۱۰۶	۰/۹	۰/۶	۱/۵	۱۴۱	۱۶۶	۲/۸	۱۳۵	۱۶۵	۱/۲	۱۳۲	۰/۹	۱۴۸	۰/۸	۱/۵	۳
۷/۷	۱۰۴	۰/۸	۰/۷	۱/۴	۱۴۹	۱۶۳	۳/۱	۱۳۱	۱۸	۰/۹	۱۴۰	۱/۲	۱۴۹	۰/۷	۱/۲	۴
۱۰/۳	۱۰۶	۱/۶	۱/۰	۱/۴	۱۵	۱۶۲	۳/۲	۱۳۱	۱۶۴	۱/۴	۱۳۲	۱/۸	۱۴۹	۰/۹	۱/۵	۵
۱۲/۱	۱۰۶	۲/۲	۱/۳	۱/۶	۱۴۱	۱۶۱	۳/۳	۱۲۹	۱۵۸	۲/۱	۱۲۹	۲/۴	۱۵۰	۱/۲	۱/۷	۶
۲۰/۹	۱۱۳	۱/۱	۰/۶	۱/۵	۱۴۳	۱۷۳	۲/۴	۱۴۲	۱۶۲	۱/۵	۱۳۱	۰/۵	۱۴۵	۱	۱/۶	۷
۱۹/۶	۱۱۲	۱/۱	۰/۷	۱/۴	۱۵۲	۱۷۱	۲/۵	۱۴	۱۶۸	۱/۳	۱۳۴	۰/۷	۱۴۶	۰/۹	۱/۵	۸
۷/۱	۱۰۴	۲/۱	۱/۲	۱/۴	۱۴۷	۱۵۷	۳/۸	۱۲۶	۱۵۷	۲/۴	۱۲۸	۴/۶	۱۵۰	۱/۴	۱/۷	۹
۱۰	۱۰۵	۲/۴	۱/۱	۱/۵	۱۴۵	۱۶۱	۳/۳	۱۳	۱۴۴	۴/۳	۱۲۲	۳/۹	۱۵۰	۱/۹	۲/۲	۱۰
۱۴/۲	۱۰۹	۰/۹	۰/۵	۱/۳	۱۶	۱۷۲	۲/۴	۱۴۱	۱۵۴	۱/۸	۱۲۷	۰/۷	۱۵۰	۱/۰	۱/۸	۱۱
۱۳/۰	۱۰۹	۰/۵	۰/۳	۱/۳	۱۵۸	۱۷۵	۲/۲	۱۴۴	۱۶۳	۱/۸	۱۳۱	۰/۶	۱۴۴	۱/۲	۱/۶	۱۲
۱۵/۳	۱۰۹	۱/۲	۱/۱	۱/۴	۱۵۳	۱۶۵	۳/۰	۱۳۳	۱۹۱	۰/۷	۱۴۵	۱/۰	۱۴۹	۰/۷	۱/۱	۱۳
۳۲/۷	۱۲۱	۲/۱	۰/۹	۱/۶	۱۳۸	۱۷۴	۲/۳	۱۴۳	۱۴۳	۳/۴	۱۲۱	۰/۷	۱۴۶	۱/۵	۲/۳	۱۴
۱۹/۷	۱۱۲	۲/۳	۱	۱/۴	۱۴۸	۱۶۸	۲/۷	۱۳۷	۱۴۲	۶/۸	۱۲۱	۲/۷	۱۴۹	۲/۹	۲/۴	۱۵
۱۷/۹	۱۱۱	۳/۰	۰/۷	۱/۶	۱۳۹	۱۷۱	۲/۵	۱۳۹	۱۲۲	۳۹/۷	۱/۱	۶/۱	۱۵۰	۹	۴/۴	۱۶
۱۵/۶	۱	۱/۹	۰/۳	۱/۵	۱۴۲	۱۷۹	۲/۰	۱۴۹	۱۱۳	۱۴۸/۵	۱۰۶	۶/۵	۱۴۹	۲۰/۸	۷/۱	۱۷
۲۳/۸	۱۱۷	۱/۵	۰/۳	۱/۶	۱۴۱	۱۸۲	۱/۹	۱۵۲	۱۲۱	۴۱/۱	۱/۱	۲/۲	۱۴۷	۹	۴/۶	۱۸
۲۳/۲	۱۱۷	۱	۰/۲	۱/۳	۱۶۰	۱۸۵	۱/۷	۱۵۷	۱۲۲	۴۵	۱/۱	۲/۲	۱۴۵	۱۰/۰	۴/۵	۱۹
۲۵/۳	۱۱۸	۱/۵	۰/۳	۱/۵	۱۴۲	۱۸۲	۱/۹	۱۵۲	۱۲۲	۴۰/۵	۱/۱	۲/۲	۱۴۷	۹	۴/۵	۲۰
۱۱/۳	۱۰۶	۳/۶	۱/۴	۱/۷	۱۳۳	۱۶	۳/۴۹	۱۲۹	۱۳۸	۸/۸	۱/۹	۶/۸	۱۵۰	۳/۴	۲/۶	۲۱
۲۸/۶	۱۲۱	۱/۷	۰/۳	۱/۷	۱۳۲	۱۸۵	۱/۸	۱۵۶	۱۱۷	۶۸/۲	۱۰۸	۲	۱۴۶	۱۱/۸	۲/۸	۲۲
۲۷/۶	۱۲۱	۰/۹	۰/۲	۱/۳	۱۵۵	۱۹	۱/۶	۱۶۳	۱۱۹	۸۱/۱	۱۰۹	۲/۲	۱۴۳	۱۵/۶	۵/۲	۲۳
۲۲/۵	۱۱۲	۴/۵	۰/۹	۱/۷	۱۳۵	۱۶۹	۲/۶	۱۳۷	۱۲	۴۹/۴	۱/۰	۸/۱	۱۵۰	۱۰/۳	۴/۸	۲۴

ادامه‌ی جدول (۳): نتایج محاسبات مورفومتری برای زیرحوضه‌ها

Continues Table (3): Results of morphometric calculations for sub-basins

S	Rh	Rn	Bh	Cc	Rc	Re	Fr	Rf	C	If	Lo	T	Rbm	Fu	Dd	کد حوضه
۴۳/۳	۱/۳۴	۲/۱۰	-۰/۳	۱/۴	۱/۵۱	۱/۸۹	۱/۶	۱/۶۲	۱/۱۵	۱۳۰/۹	۱/۰۷	۳/۱	۱/۴۶	۲۰/۱۶	۶/۴	۲۵
۲۰	۱/۱۲	۳/۱	-۰/۱۶	۱/۵	۱/۴۵	۱/۷۲	۲/۴	۱/۴۱	۱/۲	۵۲/۷	۱/۱۰	۶/۷	۱/۵	۱۰/۹	۴/۸	۲۶
۴۱/۷	۱/۳۱	۱/۸	-۰/۱۴	۱/۳	۱/۶۱	۱/۸۶	۱/۷	۱/۵۷	۱/۲۱	۵۳/۹	۱/۱۱	۲/۵	۱/۴۶	۱۱/۹	۴/۶	۲۷
۱۳/۲	۱/۰۷	۵/۲	۱/۷	۱/۴	۱/۴۹	۱/۶	۳/۵	۱/۲۸	۱/۳۱	۱۵/۷	۱/۱۵	۱۲/۵	۱/۵۰	۵	۳/۱	۲۸
۳۵/۲	۱/۲۶	۱/۵	-۰/۱۴	۱/۳	۱/۶۱	۱/۸۴	۱/۸	۱/۵۵	۱/۲۵	۳۱/۹	۱/۱۲	۲	۱/۴۵	۸/۳	۳/۹	۲۹
۲۰/۷	۱/۱۴	-۰/۷	-۰/۳	۱/۳	۱/۶۱	۱/۸۲	۱/۹	۱/۵۲	۱/۳۸	۱۳/۶	۱/۱۹	۱/۶	۱/۴۵	۵/۹	۲/۶	۳۰
۲۶/۴	۱/۱۹	۱	-۰/۳	۱/۳	۱/۶۴	۱/۸۲	۱/۸	۱/۵۳	۱/۳۲	۱۶	۱/۱۶	۱/۵	۱/۴۴	۵/۱	۳/۱	۳۱
۸۰/۱	۱/۲۲	۱/۵	-۰/۵	۱/۳	۱/۵۵	۱/۸	۲	۱/۵	۱/۳۲	۱۱	۱/۱۶	۱/۲	۱/۴۵	۳/۶	۳/۱	۳۲
۱۹/۱	۱/۱۲	۱	-۰/۷	۱/۳	۱/۵۵	۱/۷۲	۲/۴	۱/۴	۱/۶۶	۱/۹	۱/۳۳	-۰/۹	۱/۴۷	۱/۲	۱/۵	۳۳
۲۶/۹	۱/۱۷	۱/۱	-۰/۱۶	۱/۴	۱/۴۷	۱/۷۵	۲/۲	۱/۴۴	۱/۵۸	۲/۶	۱/۲۹	-۰/۷	۱/۴۵	۱/۵	۱/۷	۳۴
۱۹/۶	۱/۱۱	۱/۸	-۰/۱	۱/۵	۱/۴۳	۱/۶۸	۲/۷	۱/۳۶	۱/۵۶	۱/۶	۱/۲۸	-۰/۹	۱/۴۸	-۰/۹	۱/۸	۳۵
۱۴/۱۶	۱/۰۷	۱/۶	۱/۳	۱/۵	۱/۴۴	۱/۶۳	۳/۲	۱/۳۱	۱/۸	۱	۱/۴	۱/۳	۱/۴۹	-۰/۸	۱/۲	۳۶
۲۵/۷	۱/۱۶	۱/۵	-۰/۹	۱/۴	۱/۵	۱/۷۲	۲/۴	۱/۴	۱/۵۶	۲	۱/۲۸	-۰/۸	۱/۴۶	۱/۱	۱/۸	۳۷
۱۴/۶	۱/۰۸	۲	۱/۱	۱/۳	۱/۵۶	۱/۶۵	۳	۱/۳۳	۱/۵۴	۲	۱/۲۷	۷/۱۱	۱/۴۹	۱/۱	۱/۸	۳۸
۲۶/۹	۱/۱۷	۱/۱	-۰/۱۶	۱/۴	۱/۴۷	۱/۷۵	۲/۲	۱/۴۴	۱/۵۸	۲/۶	۱/۲۹	-۰/۷	۱/۴۵	۱/۵	۱/۷	۳۴
۱۹/۶	۱/۱۱	۱/۸	۱	۱/۵	۱/۴۳	۱/۶۸	۲/۷	۱/۳۶	۱/۵۶	۱/۶	۱/۲۸	-۰/۹	۱/۴۸	-۰/۹	۱/۸	۳۵
۱۴/۱	۱/۰۷	۱/۶	۱/۳	۱/۵	۱/۴۴	۱/۶۳	۳/۲	۱/۳۱	۱/۸	۱	-۰/۴	۱/۳	۱/۴۹	-۰/۸	۱/۲	۳۶
۲۵/۷	۱/۱۶	۱/۵	-۰/۹	۱/۴	۱/۵	۱/۷۲	۲/۴	۱/۴	۱/۵۶	۱/۹	۱/۲۸	-۰/۸	۱/۴۶	۱/۱	۱/۸	۳۷
۱۴/۶	۱/۰۸	۲	۱/۱	۱/۳	۱/۵۶	۱/۶۵	۳/۱۰	۱/۳۳	۱/۵۴	۲	۱/۲۷	۱/۷	۱/۴۹	۱/۱	۱/۸	۳۸
۲۱/۹	۱/۱۳	۲/۱	۱/۱	۱/۵	۱/۴۶	۱/۶۹	۲/۷	۱/۳۷	۱/۴۹	۳	۱/۲۴	۱/۳	۱/۴۸	۱/۵	۲/۱۰	۳۹
۱۹	۱/۱۲	۱/۲	-۰/۵	۱/۳	۱/۵۵	۱/۷۴	۲/۳	۱/۴۳	۱/۴۴	۲/۸	۱/۲۲	-۰/۷	۱/۴۵	۱/۲	۲/۳	۴۰
۲۱/۷	۱/۱۴	۱/۳	-۰/۱۶	۱/۲	۱/۶۸	۱/۷۳	۲/۳	۱/۴۲	۱/۵	۳/۲	۱/۲۵	۱/۱	۱/۴۷	۱/۶	۲	۴۱
۲۶/۱	۱/۱۷	۱/۲	-۰/۱۶	۱/۴	۱/۵۱	۱/۷۵	۲/۲	۱/۴۵	۱/۵	۲/۷	۱/۲۵	-۰/۷	۱/۴۴	۱/۴	۲	۴۲
۲۰/۱۰	۱/۱۲	۱/۴	-۰/۹	۱/۶	۱/۴	۱/۶۹	۲/۶	۱/۳۸	۱/۶۱	۱/۸	-۰/۳	-۰/۹	۱/۴۸	۱/۱	۱/۶	۴۳
۸/۵	۱/۰۴	۱/۵	-۰/۸	۱/۵	۱/۴۴	۱/۶۲	۳/۲	۱/۳	۱/۵۵	۲	۱/۲۷	۲/۱۰	۱/۴۹	۱/۱	۱/۸	۴۴
۷/۶	۱/۰۴	-۰/۱۶	-۰/۳	۱/۶	۱/۳۶	۱/۶۹	۲/۶	۱/۳۷	۱/۵۳	۳/۱	۱/۲۶	۱/۳	۱/۴۸	۱/۶	۱/۹	۴۵
۶/۱	۱/۰۳	-۰/۱۴	-۰/۳	۱/۳	۱/۵۹	۱/۶۹	۲/۷	۱/۳۶	۱/۷۸	-۰/۹	۱/۳۹	-۰/۸	۱/۴۸	-۰/۷	۱/۳	۴۶
۵	۱/۰۳	-۰/۱۲	-۰/۲	۱/۳	۱/۵۷	۱/۷۳	۲/۴	۱/۴۲	۱/۶۸	۳	۱/۳۴	۱/۴	۱/۴۸	۲/۱	۱/۴	۴۷

۳-۳- نتایج محاسبه‌ی مدل تاپسیس (TOPSIS)

برای محاسبه‌ی مدل تاپسیس، به پیاده‌سازی مدل تاپسیس بر روی داده‌های بی‌بعد شاخص‌های مورفومتری اقدام شد. پس از تشکیل ماتریس بی‌بعد، ماتریس بی‌بعد وزن‌دار تشکیل شد. در ماتریس بی‌بعد وزن‌دار نتایج

تمامی معیارها که برای گزینه‌های مختلف (زیرحوضه‌ها) به دست آمده بود، در وزن کارشناسی اختصاص داده شده به هر معیار ضرب شدند. وزن اختصاص داده شده به هر شاخص در جدول ۴ آمده است. شاخص‌های مورفومتری به وسیله مدل تاپسیس ادغام، سپس حوضه‌ها بر اساس نتایج رتبه‌بندی شدند. جدول ۵ این نتایج را نشان می‌دهد.

جدول (۴): شاخص‌ها و وزن کارشناسی اختصاص یافته به هر شاخص

Table (4): Indicators and expert weight assigned to each index

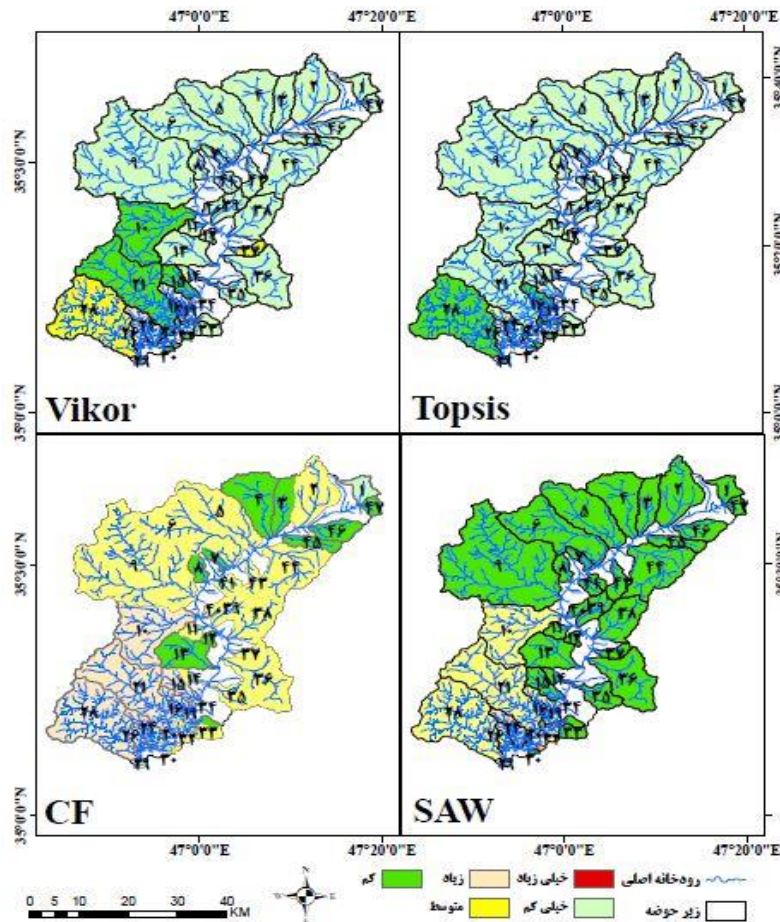
S	Rh	Rn	Bh	Cc	Rc	Re	Fr	Rf	C	If	Lo	T	Rbm	Fu	Dd	شاخص
/۰۵۳	/۰۴۹	/۰۵۹	/۰۵۷	/۰۳۸	/۰۳۸	/۰۳۹	/۰۴۱	/۰۶۱	/۰۸۸	/۰۹۸	/۰۸۸	/۰۴۸	/۰۴۲	/۱۰۱	/۱۰۱	وزن کارشناسی

جدول (۵): نتایج اعمال انتخاب بهترین گزینه در مدل تاپسیس

Table (5): Results of selecting the best option based in the TOPSIS model

Ci	کد	رتبه‌بندی بر اساس بهترین گزینه	Ci	کد	رتبه‌بندی بر اساس بهترین گزینه	Ci	کد	رتبه‌بندی بر اساس بهترین گزینه
۰/۱۳۳۲۱	۴۴	۳۳	۰/۱۹۴۸۹	۱۵	۱۷	۰/۷۱۰۶۲	۱۷	۱
۰/۱۳۲۵۳	۱۳	۳۴	۰/۱۹۴۳۸	۱۴	۱۸	۰/۷۰۶۶۷	۲۵	۲
۰/۱۳۱۸۴	۴۳	۳۵	۱۹۳۵۳	۱۰	۱۹	۰/۵۳۰۵۰	۲۳	۳
۰/۱۱۵۷۷	۲	۳۶	۰/۱۹۰۶۹	۳۰	۲۰	۰/۵۰۰۶۷	۲۲	۴
۰/۱۱۲۴۳	۸	۳۷	۰/۱۸۸۴۶	۹	۲۱	۰/۴۷۶۷۹	۲۴	۵
۰/۱۱۱۸۳	۷	۳۸	۰/۱۷۵۲۵	۶	۲۲	۰/۴۶۲	۲۶	۶
۰/۱۱۰۰۰	۳۳	۳۹	۰/۱۷۱۱۳	۳۹	۲۳	۰/۴۵۵۱۴	۲۷	۷
۰/۱۰۱۸۳	۱۱	۴۰	۰/۱۵۸۸۲	۳۸	۲۴	۰/۳۹۷۴۳	۱۶	۸
۰/۰۹۶۰۸	۴	۴۱	۰/۱۵۰۴۳	۳۶	۲۵	۰/۳۸۲۲۰	۱۹	۹
۰/۰۹۳۰۶	۴۵	۴۲	۱۴۹۷۹	۳۷	۲۶	۰/۳۷۴۳۱	۱۸	۱۰
۰/۰۹۰۹۴	۳	۴۳	۱۴۸۸۰	۳۵	۲۷	۰/۳۷۳۶۹	۲۸	۱۱
۰/۰۷۸۱۸	۱۲	۴۴	۰/۱۴۳۹۷	۴۲	۲۸	۳۷۱۷۴	۲۰	۱۲
۰/۰۷۱۴۰	۴۷	۴۵	۰/۱۴۰۸۴	۴۱	۲۹	۰/۳۳۹۵۲	۲۹	۱۳
۰/۰۶۸۲۸	۴۶	۴۶	۰/۱۳۹۴۹	۵	۳۰	۰/۲۹۵۰۶	۳۲	۱۴
۰/۰۴۷۶۸	۱	۴۷	۰/۱۳۷۹۳	۳۴	۳۱	۰/۲۶۸۶۹	۲۱	۱۵
					۳۲	۰/۲۳۰۲۱	۳۱	۱۶

برای نشان دادن بهتر نتایج مدل تاپسیس داده‌ها دسته‌بندی و میزان حساسیت نیز به صورت حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و حساسیت خیلی زیاد به فرسایش به شکل نقشه ترسیم شد (شکل ۳).



شکل (۳): نقشه اولویت‌بندی فرسایش‌پذیری زیر حوضه‌ها بر اساس نتایج نهایی مدل‌ها

Figure (3): Erosion susceptibility prioritization map of sub-basins based on the final results of the four models

با توجه به نتایج نهایی جدول ۵ و همچنین شکل ۳ مقادیر C_i بین ۰/۴۷ تا ۰/۷۱ است. به عبارتی فاصله‌ی بین بهترین و بدترین گزینه ۰/۶۶ است. نتایج نهایی مدل تاپسیس نشان داد در زیر حوضه‌های حوضه‌ی آبریز قشلاق، میزان حساسیت به فرسایش بین خیلی کم تا زیاد دسته‌بندی شده است. هیچ زیر حوضه‌ای در دسته‌ی حساسیت خیلی زیاد قرار نگرفت.

از جدول ۵ نتیجه می‌شود که تعداد ۳۱ زیرحوضه در دسته‌ی میزان حساسیت خیلی کم، تعداد ۹ زیرحوضه در دسته‌ی میزان حساسیت کم، تعداد ۵ زیرحوضه در دسته‌ی میزان حساسیت متوسط و تعداد ۲ زیرحوضه در دسته‌ی میزان حساسیت به فرسایش زیاد قرار دارند.

شکل شماره ۳ نشان می‌دهد که زیرحوضه‌های شمالی، شمال غربی، غربی، شمال شرقی، شرقی و جنوب شرقی در محدوده‌ی حساسیت خیلی کم قرار دارند. زیرحوضه‌های جنوب غربی حوضه در محدوده‌ی حساسیت کم و زیرحوضه‌های جنوب حوضه و نزدیک به خروجی، در محدوده‌ی حساسیت متوسط و زیاد قرار دارند.

۳-۴- نتایج محاسبات مدل ویکور (VIKOR)

در محاسبه‌ی مدل ویکور، پس از استانداردسازی، میزان سودمندی و تأسّف تعیین شد. برای این محاسبه واریانس‌ها شاخص‌ها که با روش تحلیل عاملی برای هر معیار در مدل تاپسیس برآورد شده بود، استفاده گردید. مقادیر S_i (مقدار سودمندی) و R_i (مقدار تأسّف) در جدول ۶ آمده است.

نتایج شاخص ویکور نیز مانند شاخص تاپسیس بین صفر تا یک است. با این تفاوت که مقادیر نزدیک به صفر دارای بدترین شرایط و یا به عبارتی بیشترین مقدار تأسّف هستند و مقادیر نزدیک به یک دارای بهترین شرایط یا بیشترین مقدار سودمندی هستند. در میان ۴۷ زیرحوضه‌ی آبریز قشلاق، مقادیر مدل ویکور بین صفر تا یک هستند. مقدار صفر این شاخص مربوط به زیرحوضه‌ی شماره ۱۷ و مقدار یک مربوط به زیرحوضه‌ی شماره ۱ است. اجرای این مدل نیازمند برقراری دو شرط نهایی است؛ که این دو شرط در میان داده‌های مورد مطالعه برقرار است. نتایج اولویت‌بندی بر اساس مدل ویکور در جدول شماره ۶ آمده است (اولویت‌بندی بر اساس میزان حساسیت بیشتر به حساسیت کمتر است).

با توجه به جدول ۶، شروط نهایی آزمون ویکور قابل بررسی است. شرط اول این است که گزینه‌ی A_1 و A_2 در میان m گزینه رتبه‌ی اول و دوم را داشته باشد. اثبات برقراری این شرط در رابطه‌ی ۱۰ نشان داده شده است.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (10)$$

$$0.106 - 0 \geq \frac{1}{47-1}$$

$$0.106 \geq 0.021$$

در مورد شرط دوم نیز، باید گزینه‌ی A_1 حداقل در یکی از گروه‌های R و S به‌عنوان رتبه‌ی برتر شناخته شود. گزینه‌ی A_1 در میان داده‌ها زیرحوضه‌ی شماره ۱۷ است که در هر دو گروه R و S ، گزینه‌ی برتر است.

جدول (۶): اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها بر اساس بدترین شرایط به سمت بهترین شرایط با توجه به نتایج مدل ویکور
Table (6): Prioritization of sub-basins based on the worst conditions to the best conditions according to the results of Vickor model

اولویت	بر اساس S	بر اساس R	بر اساس Q	اولویت	بر اساس S	بر اساس R	بر اساس Q	اولویت	بر اساس S	بر اساس R	بر اساس Q
۱	۱۷	۱۷	۱۷	۱۷	۳۲	۳۲	۳۳	۳۳	۴۰	۴۰	۴۲
۲	۲۵	۲۲	۲۵	۱۸	۱۵	۲۱	۱۵	۳۴	۴	۱۲	۱۳
۳	۲۴	۲۵	۲۴	۱۹	۱۵	۳۸	۱۰	۳۵	۴۳	۴۳	۳۳
۴	۲۸	۲۳	۲۸	۲۰	۶	۱۰	۹	۳۶	۳۳	۴۴	۴۳
۵	۲۶	۲۷	۲۶	۲۱	۳۱	۴۱	۳۰	۳۷	۴۲	۳۸	۳۴
۶	۲۷	۲۶	۲۷	۲۲	۳۹	۴۵	۳۸	۳۸	۱۱	۱۱	۴۵
۷	۱۶	۲۴	۱۶	۲۳	۵	۴۷	۳۹	۳۹	۸	۷	۱۱
۸	۲۳	۱۹	۲۳	۲۴	۱۴	۴۴	۶	۴۰	۳۴	۵	۴
۹	۲۲	۳۷	۲۲	۲۵	۴۱	۳۴	۴۱	۴۱	۳	۲	۴۷
۱۰	۱۹	۱۸	۱۹	۲۶	۲	۳۹	۱۴	۴۲	۴۶	۸	۸
۱۱	۲۱	۲۰	۲۱	۲۷	۳۶	۲۵	۳۶	۴۳	۴۵	۳	۳
۱۲	۲۹	۱۶	۲۹	۲۸	۵	۴۲	۵	۴۴	۴۷	۴	۴۶
۱۳	۱۸	۲۹	۱۸	۲۹	۹	۳۰	۴۴	۴۵	۱۲	۴۶	۱۲
۱۴	۲۰	۳۱	۲۰	۳۰	۳۶	۳۵	۳۵	۴۶	۷	۱۳	۷
۱۵	۹	۲۸	۹	۳۱	۱۳	۳۳	۲	۴۷	۱	۱	۱
۱۶	۱۰	۳۰	۱۰	۳۲	۳۷	۶	۴۰				

در مورد مدل ویکور نیز، نتایج محاسبه‌ی Q_i به پنج دسته بر اساس میزان حساسیت به فرسایش تقسیم می‌شود. از صفر تا $0/2$ میزان حساسیت خیلی زیاد به فرسایش، $0/2$ تا $0/4$ میزان حساسیت زیاد، $0/4$ تا $0/6$ حساسیت متوسط، $0/6$ تا $0/8$ حساسیت کم و $0/8$ تا 1 میزان حساسیت خیلی کم در نظر گرفته شده است (شکل ۳). همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود. در این مدل دامنه‌ی تغییرات طبقات نسبت به مدل تاپسیس بیشتر است. زیرحوضه‌های در پنج دسته تقسیم شده است.

در میان ۴۷ زیرحوضه‌ی مطالعه‌ی مطالعاتی، تعداد ۲ حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت خیلی زیاد به فرسایش، تعداد ۶ حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت زیاد، تعداد ۶ حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت متوسط، تعداد ۷ حوضه در محدوده‌ی حساسیت کم و در نهایت، تعداد ۲۶ حوضه نیز در محدوده‌ی حساسیت خیلی کم به فرسایش قرار دارند.

بر اساس آنچه از نقشه‌ی نتایج مدل ویکور استنتاج می‌شود (شکل ۳)، زیرحوضه‌های شمالی، شمال‌غربی، شمال شرقی، شرقی و جنوب شرقی در محدوده‌ی میزان حساسیت به فرسایش خیلی کم، زیرحوضه‌های غربی

و تعدادی از زیرحوضه‌های جنوب غربی در محدوده‌ی حساسیت کم، زیرحوضه‌های جنوب غربی و جنوبی در محدوده‌ی حساسیت متوسط تا خیلی زیاد به فرسایش قرار دارند.

۳-۵- نتایج محاسبات مدل SAW

برای محاسبه‌ی مدل SAW، از داده‌های بی‌بعد شده‌ی مورداستفاده در مدل‌های تاپسیس و ویکور استفاده شده است. همچنین از همان وزن‌هایی که با روش تحلیل عاملی به‌دست آمده، استفاده شد. با ضرب هر گزینه در وزن هر معیار، یک ماتریس وزین به دست آمد. نتایج ماتریس وزین در جدول شماره ۷ نشان داده شده است.

جدول (۷): نتایج نهایی محاسبه‌ی مدل SAW و رتبه‌ی نهایی زیرحوضه‌ها

Table (7): Final results of SAW model calculation and final ranking of sub-basins

رتبه بر اساس جمع سطر	SUM	کد حوضه	رتبه بر اساس جمع سطر	SUM	کد حوضه	رتبه بر اساس جمع سطر	SUM	کد حوضه
۱	۰/۷۳۵	۱۷	۱۷	۰/۴۱۷	۳۱	۳۳	۰/۳۴۵	۴۳
۲	۰/۷۲۵	۲۵	۱۸	۰/۴۱۶	۱۵	۳۴	۰/۳۴۵	۱۳
۳	۰/۶۰۸	۲۴	۱۹	۰/۴۱۱	۹	۳۵	۰/۳۴۴	۲
۴	۰/۵۸۴	۲۶	۲۰	۰/۳۹۱	۶	۳۶	۰/۳۴۳	۳۴
۵	۰/۵۷۴	۲۳	۲۱	۰/۳۹۰	۱۴	۳۷	۰/۳۳۴	۳۳
۶	۰/۵۷۱	۲۸	۲۲	۰/۳۸۹	۳۹	۳۸	۰/۳۳۲	۱۱
۷	۰/۵۷۰	۲۲	۲۳	۰/۳۸۸	۳۸	۳۹	۰/۳۳۲	۸
۸	۰/۵۶۸	۲۷	۲۴	۰/۳۸۰	۳۰	۴۰	۰/۳۲۲	۷
۹	۰/۵۴۲	۱۶	۲۵	۰/۳۷۱	۴۱	۴۱	۰/۳۲۲	۴
۱۰	۰/۵۰۱	۱۹	۲۶	۰/۳۶۶	۵	۴۲	۰/۳۱۶	۳
۱۱	۰/۴۹۷	۱۸	۲۷	۰/۳۶۴	۳۵	۴۳	۰/۳۳۱	۴۵
۱۲	۰/۴۹۷	۲۰	۲۸	۰/۳۶۳	۳۷	۴۴	۰/۳۰۲	۱۲
۱۳	۰/۴۹۴	۲۹	۲۹	۰/۳۶۱	۴۴	۴۵	۰/۲۹۶	۴۶
۱۴	۰/۴۷۰	۲۱	۳۰	۰/۳۵۹	۳۶	۴۶	۰/۲۹۱	۴۷
۱۵	۰/۴۵۲	۳۲	۳۱	۰/۳۵۷	۴۰	۴۷	۰/۲۵۶	۱
۱۶	۰/۴۱۷	۱۰	۳۲	۰/۳۵۴	۴۲			

مرحله‌ی نهایی مدل SAW در جدول ۷ نشان می‌دهد که سیر تغییرات نتایج مدل SAW، بین ۰/۲۵۶ تا ۰/۷۳۵ است. کمترین میزان حساسیت به فرسایش، با توجه به نتایج مدل SAW مربوط به حوضه‌ی شماره ۱ و بیشترین میزان حساسیت به فرسایش نیز مربوط به حوضه‌ی شماره ۱۷ است. ۴۵ حوضه‌ی دیگر بین این دو مقدار قرار دارند. نتایج این مدل در شکل ۳ به صورت نقشه نشان داده شده است. همان‌طور که در نقشه

دیده می‌شود (شکل ۳)، تمامی زیرحوضه‌ها در مدل SAW در سه گروه حساسیت کم، متوسط و زیاد تقسیم شده‌اند. تعداد ۳ حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت زیاد به فرسایش، تعداد ۱۶ حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت متوسط و تعداد ۲۹ حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت کم به فرسایش قرار دارند. براساس این مدل هیچ حوضه‌ای در محدوده‌ی میزان حساسیت کم، خیلی کم و خیلی زیاد قرار ندارد.

نتایج همچنین نشان می‌دهد که حوضه‌های شمالی، شمال غربی، شمال شرقی، شرقی و تا حدودی جنوب شرقی در محدوده‌ی میزان حساسیت کم به فرسایش، حوضه‌های غربی و جنوب غربی در محدوده‌ی میزان حساسیت متوسط و حوضه‌های جنوبی در محدوده‌ی حساسیت زیاد به فرسایش قرار دارند.

۳-۶- نتایج محاسبات فاکتور ترکیبی CF

محاسبه‌ی فاکتور ترکیبی CF با اولویت‌بندی زیر حوضه‌ها بر اساس هر یک از معیار در میان ۴۷ زیرحوضه صورت گرفت بدین ترتیب که جمع سطری رتبه‌ها بعد از اولویت‌بندی انجام و بر تعداد گزینه‌ها تقسیم شد. نتایج این مدل در جدول ۸ آمده است.

جدول (۸): نتایج نهایی محاسبه‌ی مدل CF و رتبه‌ی نهایی زیرحوضه‌ها

Table (8): Final results of CF model calculation and final ranking of sub-basins

رتبه نهایی	CF	جمع	کد	رتبه نهایی	CF	جمع	کد	رتبه نهایی	CF	جمع	کد
۳۵	۲۷/۴	۴۳۸	۳۳	۱۲	۱۹/۹	۳۱۹	۱۷	۴۷	۳۹/۴	۶۳۰	۱
۲۸	۲۸/۷	۴۵۹	۳۴	۲۳	۲۲/۹	۳۶۶	۱۸	۳۳	۲۷/۴	۴۳۸	۲
۳۸	۲۸/۷	۴۵۶	۳۴	۱۵	۲۱/۶	۳۴۶	۱۹	۴۴	۳۲/۰	۵۱۲	۳
۲۹	۲۵/۴	۴۰۶	۳۵	۲۱	۲۲/۳	۳۵۶	۲۰	۴۱	۳۰/۶	۴۸۹	۴
۳۲	۲۷/۱	۴۳۴	۳۶	۴	۱۶/۵	۲۶۴	۲۱	۲۵	۲۴/۰	۳۸۴	۵
۲۸	۲۵/۲	۴۰۳	۳۷	۲۲	۲۲/۵	۳۶۰	۲۲	۱۸	۲۱/۸	۳۴۸	۶
۱۳	۲۰/۰	۳۲۰	۳۸	۱۶	۲۱/۶	۳۴۶	۲۳	۴۵	۳۲/۴	۵۱۹	۷
۱۴	۲۰/۰	۳۲۰	۳۹	۲	۱۴/۴	۲۳۱	۲۴	۴۰	۲۹/۸	۴۷۷	۸
۳۰	۲۶/۳	۴۲۱	۴۰	۸	۱۷/۷	۲۸۳	۲۵	۱۱	۱۹/۸	۳۱۷	۹
۱۹	۲۱/۸	۳۴۸	۴۱	۳	۱۵/۳	۲۴۴	۲۶	۷	۱۷/۶	۲۸۱	۱۰
۳۱	۲۷/۰	۴۳۲	۴۲	۶	۱۷/۴	۲۷۸	۲۷	۳۶	۲۷/۹	۴۴۶	۱۱
۳۷	۲۸/۱	۴۴۹	۴۳	۱	۱۲/۰	۱۹۲	۲۸	۴۶	۳۳/۲	۵۳۱	۱۲
۲۴	۲۳/۹	۳۸۳	۴۴	۱۰	۱۹/۵	۳۱۲	۲۹	۳۴	۲۷/۴	۴۳۸	۱۳
۳۹	۲۹/۱	۴۶۵	۴۵	۲۶	۲۴/۰	۳۸۴	۳۰	۲۷	۲۴/۳	۳۸۹	۱۴
۴۲	۳۱/۴	۵۰۳	۴۶	۲۰	۲۲/۱	۳۴۵	۳۱	۵	۱۷/۱	۲۷۳	۱۵
۴۳	۳۱/۵	۵۰۴	۴۷	۱۷	۲۱/۶	۳۴۶	۳۲	۹	۱۸/۵	۲۹۶	۱۶

نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که دامنه‌ی تغییرات فاکتور ترکیبی CF بین ۱۲ تا ۳۹/۴ متفاوت است. کمترین مقدار این فاکتور مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۲۸ و بیشترین مقدار آن مربوط به حوضه‌ی شماره‌ی ۱ است. با توجه به آنچه در جدول ۷ و شکل ۳ آمده است، نتایج این فاکتور با دیگر مدل‌های مورد بررسی و محاسبه شده مانند مدل تاپسیس، ویکور و SAW متفاوت است در این مدل هم قسمت‌های شمالی حوضه در مقایسه با قسمت‌های جنوبی از حساسیت کمتری نسبت به فرسایش برخوردار است

۳-۷- نتایج صحت‌سنجی و رابطه‌ی بین مدل‌های VIKOR، TOPSIS، SAW و CF

جدول ۹ نتایج آزمون کالموگروف اسمیرانف بین مدل‌ها را در زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد همان‌طور که در جدول مشاهده می‌شود $Sig = .2 > 0.05$ می‌باشد که بیانگر مشابه بودن نتایج مدل‌ها است

جدول (۹): نتایج آزمون کالموگروف اسمیرانف

Table (9): Results of Kolmogorov-Smirnov test

		TOPSIS	VIKOR	SAW	CF
N		47	47	47	47
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	24.00	24.00	24.00	24.00
	Std. Deviation	13.71	13.71	13.71	13.71
Most Extreme Differences	Absolute	.065	.065	.065	.065
	Positive	.065	.065	.065	.065
	Negative	-.065	-.065	-.065	-.065
Test Statistic		.065	.065	.065	.065
Asymp. Sig. (2-tailed)		.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}	.200 ^{c,d}

جدول (۱۰): نتایج همبستگی بین چهار مدل‌ها

Table (10): Correlation results based on four models

	TOPSIS	VIKOR	SAW	CF
TOPSIS	1.000	.970**	.986**	.861**
VIKOR	.970**	1.000	.972**	.876**
SAW	.986**	.972**	1.000	.907**
CF	.861**	.876**	.907**	1.000

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

شدت میزان همبستگی در جدول ۱۰ نشان می‌دهد که همبستگی قوی و مثبتی بین نتایج مدل‌ها وجود دارد که از نظر آماری معنی‌دار بود و این شدت در تمام مدل‌ها در سطح خطای ۰/۰۱ بالای ۰/۸۶۱ است. ضریب همبستگی در بین مدل‌های TOPSIS، VIKOR، SAW بیشتر از مدل CF با دیگر مدل‌ها است. مدل CF در بین این مدل‌ها با بقیه مدل‌ها شدت همبستگی کمتری دارد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعات فرسایش‌پذیری خاک در حوضه‌ی آبریز قشلاق، با توجه به نبود ایستگاه‌های رسوب سنج و اهمیت مطالعه رسوب در این حوضه، به تقسیم حوضه به چند زیرحوضه و بکارگیری روش‌های مورفومتری و مدل‌های چند معیاره اقدام شد، تا نتایج دقیق‌تری حاصل شود. شاخص‌های مورفومتری نشان داد که در حوضه‌هایی که مقدار شاخص‌های خطی و توپوگرافی بالا و شاخص‌های شکل پایین، مقدار حساسیت به فرسایش نیز بیشتر است. در هر چهار مدل TOPSIS، VIKOR، SAW و CF زیرحوضه‌های شمالی جزء مناطق با حساسیت کم و خیلی کم به فرسایش دسته‌بندی شد. این حوضه‌ها اغلب در سنگ‌های آتشفشانی قرار گرفته‌اند. با توجه به هر چهار مدل موردبررسی، حوضه‌هایی که در لیتولوژی شیل خاکستری تیره (شیل سندنج)، فلیش و گل‌سنگ، ماسه‌سنگ نازک همراه با شیل و سیلت و سنگ رسی قرار دارند، میزان حساسیت آن‌ها به فرسایش از متوسط تا خیلی زیاد دسته‌بندی شده‌اند. در این سنگ‌ها به دلیل ریزدانه بودن ترکیبات، مقدار نفوذپذیری کمتر است در نتیجه مقدار رواناب در واحد سطح بیشتر است (احمدی، ۱۳۷۸: ۶۱). این مسئله باعث شده حساسیت به فرسایش در زیرحوضه‌های جنوبی که از این سازند تشکیل شده‌اند بیشتر از سایر زیر حوضه‌ها باشد. زیرحوضه‌های شمالی از آهک و آندزیت تشکیل شده‌اند که آهک‌ها نفوذپذیری بالایی دارند در نتیجه میزان رواناب و به تبع از آن فرسایش در آن‌ها پایین است همچنین سنگ‌های آندزیت در شمال غرب حوضه قرار گرفته‌اند در مقایسه با سازندهای شیلی از فرسایش کمتر برخوردارند. تفاوت در میزان حساسیت به فرسایش زیرحوضه‌ها در این مدل‌ها، مربوط به ریسک‌گریز بودن و ریسک‌پذیر بودن مدل‌ها می‌باشد. مدل CF یک مدل ریسک‌گریز است، بنابراین میزان خطر فرسایش را بالاتر از دیگر مدل‌ها نشان می‌دهد.

بکارگیری این مدل‌ها نشان می‌دهد که در بررسی و پیش‌بینی میزان فرسایش در حوضه‌های آبریز، تجزیه و تحلیل پارامترهای مورفومتری جهت ارزیابی میزان حساسیت به فرسایش، مفید خواهند بود و بر اساس این پارامترها می‌توان به مدیران و برنامه‌ریزان در حوضه‌های فرسایش و رسوب کمک کرد. همچنین، نتایج این پژوهش نشان داد که روش‌های تصمیم‌گیری چندمتغیره مانند روش‌های TOPSIS، VIKOR، SAW و فاکتور ترکیبی CF می‌توانند با ارائه‌ی یک دسته‌بندی خاص، منطقه را از لحاظ میزان حساسیت به فرسایش در چند کلاس تقسیم‌بندی کنند. که در بین این روش‌ها روش VIKOR از دقت بیشتری برخوردار است. زیرا دامنه‌ی تغییرات بیشتر در کلاسه‌بندی فرسایش حوضه‌ها نشان می‌دهد. بر اساس این مدل، بیش از ۷۰ درصد مساحت حوضه در محدوده‌ی میزان حساسیت خیلی کم به فرسایش قرار دارد. انطباق میزان حساسیت به فرسایشی با ویژگی‌های زمین‌شناسی تأثیر این متغیر بر روی این فرایند را نشان می‌دهد.

۵- منابع

- Ahmadi, H. (2007) Applied geomorphology – Water erosion- vol1. University of Tehran publication. P688.
- Alexakis, D. Hadjimitsis-Diofantos, G and Athos, A. (2013) integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of Yialias in Cyprus. *Atmospheric Researches*, 131: 108-124.
- Altaf, S. Meraj, G. Romshoo, S.A. (2014) Morphometry and land cover based multi-criteria analysis for assesing the soil erosion susceptibility of the western Himalayan watershed. *Environmental monitoring and assessment*, 186(12): 8391-8412.
- Amani M. (2015) Hydrodynamics and stability of Gheshlagh River Bed and its Effects on Sanandaj Urban Development A Thesis Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment, of the Requirements for the Degree of M.Sc. in Geomorphology, Supervisor: Dr. M, Yamani University of Tehran faculty of eography.
- Arab Ameri, A. Pahlevan H. 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*. 613-614.
- Armin, M. Valinejad, H. Ghorbannia Kheybari, V. (2020) Estimation of Soil Erosion in the Tang-e-Sorkh Dam Watershed Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and Remote Sensing (RS) and Geographic Information System (GIS) Capabilities. *Hydrogeomorphology*, Vol 7, No 23: 183-159.
- Biswas, A. Das Majumdar, D. Banerjee, S. (2014) Morphometry Governs the Dynamics of a Drainage Basin: Analysis and Implications. *Geography Journal, Hindaw Publishing Corporation*, V2014, PP1-14 doi.org/10.1155/2014/927176
- Chardawli, Zh. (2021) Surface Erosion Zonation Using Morphometric and Geomorphologic Indices (Case study: Gheshlagh basin) A Thesis Submitted for Degree of M.Sc. in Geomorphology, Supervisor: Dr. H. Nayyeri, University of Kurdistan, Faculty of Natural Resources, Department of Geomorphology.
- Dar, R.A., Chandra, R., Romshoo, S.A., (2013) Morphotectonic and lithostratigraphic analysis of intermontane Karewa basin of Kashmir Himalayas, *India. J. Mt. Sci.* 10 (1):731–741.
- Erfanian, M. ghahramani Saatloo, P. Saadat, H. (2012) Preparation of risk map of soil erosion potential using fuzzy logic in Qarnaveh Golestan watershed, Iranian Journal of *Watershed Management Science and Engineering*, . 7(23):43-52.
- Fallah Sourki, M. Kavian, A. Omidvar, E. (2016) Prioritization of Haraz sub-watersheds in order to Soil and Water Conservation Practices Based on Morphometric and Land Use Characteristics, *Journal of Water and Soil Science* . 20 (77):85-99.
- Ghorbaninejad, S. Zeinivand, H. Haghizadeh, A. Tahmasebi, N. (2018) Performance evaluation of Dempster-Shafer model for erosion potential mapping in Kakareza watershed, *Lorestan province Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, 9, (3): 100-114.
- Hajam, R. A., Hamid, A., Bhat, S. (2013) Application of Morphometric Analysis for Geo-Hydrological Studies Using Geo-Spatial Technology –A Case Study of Vishav Drainage Basin, *Hydrology Current Reasearch*, 4 (3):1-12.

- Haseli, M. Jalalian, H. (2015) Soil Erosion Risk Assessment and Zoning in the Aleshtar Catchment, *Journal of Spatial Analysis, Environmental Hazards*. 1 (4): 91-104.
- Hayatzadeh, M. Amini, S. Fathzadeh, A. Asadi, M. (2021) Estimation of Suspended Sediment Load Based on Physiographic Parameters of the Watershed. *Hydrogeomorphology*, Vol. 8, No. 26:1-21
- Horton, R. E. (1932) Drainage basin characteristics. *American Geophysical Union of Transactions* 13: 350-361.
- Horton, R.E., (1945) Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.* 56 (3), 275.
- Magesh NS, Jitheshlal KV, Chandrasekar N, Jini KV (2012b) GIS based morphometric evaluation of Chimmini and Mupily watersheds, parts of Western Ghats, Thrissur District, Kerala. *India Earth Sci Inform* 5(2):111–121
- Malava, J and Bonda, F. (1999) "Proposal for research to support erosion hazard assessment in Malawi", *Agricultural engineering Bunda College of Agriculture*. www.ag.arizona.edu.
- Mansoori Daneshvar, MR. Ebrahimi, M. Nejadsoleymani, H. (2014) Evaluation of soil erosion and sedimentation yield in Toroq Watershed by using PSIAC model and GIS, *Applied Geomorphology of Iran* . 2(3): 110
- Mesa, L.M., (2006) Morphometric analysis of a subtropical Andean basin (Tucumam, Argentina). *Environ. Geol.* 50 (8): 1235–1242.
- Mokarram, M. Darvishi, A. Negahban, S (2017) The Relation between Morphometric Characteristics of Watersheds and Erodibility at different altitude levels using Topographic Position Index (TPI) Case Study: Nazloochoaei Watershed, *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)* .26(101):131-142.
- Moore, I.D., Grayson, R., Ladson, A., (1991) Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrol. Process.* 5 (1): 3–30.
- Mostafazadeh, R. Khadijeh, H. Esmali Ouri, Abazar. Nazarnejad, H. (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), *journal of watershed management research* 8(16):142-156.
- Parvin, M., Prioritization(2018) of sub-basins of Ghezel Ozen-Sefidrood to identify erosion-sensitive basins based on morphometry, erosion rate and vegetation, *Arid Regions Geography Studies*; Volume 9; Number 33.
- Rahman, M.R., Shi, Z.H., Chongf, C. (2009), Soil Erosion Hazard Evaluation: an Integrated use of Remote Sensing, GIS and management strategies, *Ecol., model*, Vol. 220, PP, 1724-1734.
- Rajaei, A.H. (2012). The Appliction of Geomorphology to landscape efficiency and environmental management, Ghoomes publication. P344.

- Rao, N.K. Swarna, L.P. kumar, A.P and Krishna, H.M. (2010) Morphometric analysis of Gostani River watershed in Andhra Pradesh state, iran n using spatial information technology. *International Journal of Geomantic and Geosciences*. Vol 1 (2): 179-187.
- Rezaei P, Faridi P, Ghorbani M, Kazemi M. (2014) Estimating of soil erosion by using RUSLE model and identifying of the most effective factor in Gabric-southeast watershed basin of the Hormozgan province. *Journal of Quantitative Geomorphology*, 3 (1): 97-113.
- Roostaei, S. Nikjoo, M.R. Habibzadeh, A. (2011) The Study of Land Erosion Susceptibility in Bejoshan Chai Catchment Area Using Fuzzy Theory and GIS, *Journal of Geography and Planning*, 15 (33):147-173
- Sadhasivam N., Bhardwaj A., Pourghasemi H. R. & Priyadarshini Kamaraj, N. (2020) Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models, *Environmental Earth Sciences* volume 79, Article number: 360
- Samadi, M. Jalali, S. Kornejadi, A. Samadi Gheshlaghchae, M. (2016) Investigation of Morphometric Indexes with GIS in Chel-Chay Watershed, Golestan Province, *Geospatial Engineerng Journal*, 7(4): 37-48.
- Schumn SA (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Geological Society of American Bulletin* 67: 597- 646.
- Sreedevi, P., Owais, S., Khan, H., Ahmed, S., (2009) Morphometric analysis of a watershed of South India using SRTM data and GIS. *J. Geol. Soc. India* 73: 543–552.
- Strahler, A. N. (1952) Dynamic basis of geomorphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 63: 923-938.
- Strahler, A.N., (1957) Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Civ. Eng.* 101: 1258–1262.
- Sukristiyanti, S. Maria, R. Lestiana, H (2018) Watershed-based Morphometric Analysis: A Review, *Conference Series Earth and Environmental Science* 118(1):012028 doi:10.1088/1755-1315/118/1/012028. DOI:10.1088/1755-1315/118/1/012028
- Todorovski, L., Džeroski, S., 2006. Integrating knowledge driven and data-driven approaches to modeling. *Ecol. Model.* 194 (1): 3–13.
- Ziaee, H.R. Rengzen, k. Warshawsaz, m. (2005)Erosion potential zoning using satellite and GIS information (Case study: Shahid Abbas pour Dam catchment area Geomatics Conference, Iran Mapping Organization, Tehran .