

## شناسایی مناطق حساس به فرسایش خاک با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد مهاباد)

### داود طالب‌پور اصل\*

استادیار دانشکده منابع طبیعی، (گروه ژئومورفولوژی)، دانشگاه کردستان؛ کردستان، ایران

### عزت‌ا... قنواتی

دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی؛ تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۹

### چکیده

فرسایش خاک به‌عنوان یک رویداد طبیعی، به دلیل دخالت‌های سودجویانه و غیرکارشناسانه انسان در سال‌های اخیر افزایش یافته است. در این راستا توپوگرافی حوضه آبریز سد مهاباد که تماماً کوهستانی است از این پدیده مستثنا نیست. هدف از انجام این مطالعه، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تولید رسوب در حوضه سد مهاباد با استفاده از روش FAHP است. به این منظور از میان عوامل طبیعی مؤثر در وقوع فرسایش هفت عامل شیب، کاربری اراضی، زمان تمرکز زیر حوضه‌ها، ارتفاع، بارش، لیتولوژی و فاصله از رود را انتخاب نموده و با استفاده از داده‌های حاصل از مدل‌سازی معیارهای مؤثر در فرسایش با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و طبقه‌بندی با روش منطق فازی نواحی با حساسیت بالا در برابر فرسایش شناسایی و نقش‌نهایی پهنه بندی نواحی حساس به فرسایش در پنج کلاس استخراج گردید. برای ارزیابی صحت نقشه به دست آمده از شاخص SCAI استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در حدود ۱۰۲/۱۲ کیلومتر مربع معادل ۱۳/۱۵ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل "خیلی زیاد" در وقوع فرسایش و تولید رسوب است که در این میان زیر حوضه‌های ده بکر، بنگوین، قزلجه، مرانه، میرسه و سیاه‌قل دارای پتانسیل بیشتری هستند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، مدل AHP، مدل منطق فازی، تابع عضویت خطی، حوضه آبریز سد مهاباد.

## مقدمه

امروزه پدیده فرسایش خاک به دلیل دخالت‌های غیرکارشناسانه انسان از روند طبیعی خود خارج شده و تبعات جبران‌ناپذیری از جمله هدر رفت خاک، کاهش سطح زمین‌های کشاورزی، کاهش غر مفید سدهای مخزنی و ...؛ به دنبال داشته است (کرم و همکاران، ۱۳۸۹). حوضه آبریز سد مهاباد از نظر توپوگرافی تماماً کوهستانی است و به دلیل شیب زیاد آن در برابر فرسایش بسیار حساس است. در پایین دست حوضه، سد مخزنی مهاباد احداث گردیده که نقش بسیار با اهمیتی در کنترل طغیان‌های رودخانه مهاباد، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی و شرب شهر مهاباد دارد (تماب، ۱۳۷۶). با وجود این میزان رسوب‌گذاری سالیانه سد مذکور در حدود ۱/۸ میلیون مترمکعب و ضریب افت سالانه مخزن در حدود ۰/۶۱ درصد است و از لحاظ وضعیت بحرانی، در رده پنجم سدهای مخزنی کشور قرار دارد (حبیبی، ۱۳۸۱).

عوامل طبیعی زیادی در شدت فرسایش خاک دخالت دارند که از جمله آن‌ها می‌توان به شیب، توپوگرافی، شدت بارش‌ها، پوشش گیاهی، لیتولوژی و ...، اشاره کرد. لذا آسیب‌پذیری تمام مناطق به دلیل متفاوت بودن ساختارهای محیط طبیعی یکسان نیست. به این منظور، اولین قدم در کاهش میزان فرسایش، برآورد میزان حساسیت اراضی به آن است. در این راستا سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزار مفیدی برای جمع‌آوری داده در زمینه پراکندگی مکانی فرسایش و عوامل مؤثر در آن، با توجه به شدت فرسایش‌پذیری مشابه است (رفیعی و همکاران، ۱۳۹۰).

فرسایش مانند بسیاری دیگر از پدیده‌های طبیعی دارای پارامترهای مؤثر گوناگون، غالباً کیفی و پیچیده‌ای است که تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها را به دلیل نقش متفاوت و میزان اثربخشی هر کدام از پارامترها، کیفی بودن برخی و یکسان نبودن معیار سنجش، با مشکل مواجه می‌سازد. برای حل مشکل و یا کاهش خطا، روش‌های تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه طراحی شده‌اند که دارای مزایا و معایبی هستند (Saaty, 1997). یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیار که در تبدیل معیارهای کیفی به کمی به کار می‌رود، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است. این فرایند یکی از جامع‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا به کمک آن می‌توان درخت سلسله مراتبی (هدف، معیارها و گزینه‌ها)، نرمال‌سازی و تلفیق کلی نتایج را انجام داد (شمسی‌پور و شیخی، ۱۳۸۹). برای نرمال‌سازی واحد معیارهای مؤثر در فرسایش، روش‌های مختلفی ارائه شده است که روش طبقه بندی فازی از معتبرترین آن‌ها به شمار می‌آید. الگوریتم‌های منطق فازی از جمله مدل‌های هوشمندی است که برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه گردید (لطفی زاده، ۱۹۷۵). این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم، شاخص‌ها و سیستم‌های نامشخص و مبهم را صورت‌بندی ریاضی بخشد و زمینه را برای استدلال و تصمیم‌گیری در شرایط نامطمئن فراهم آورد (Peteri & Tapio, 2000). در واقع یک مجموعه فازی یک تابع عضویت دارد که درجه‌ای معین از تعلق شیء به مجموعه فازی را نمایش می‌دهد (شمسی‌پور و شیخی، ۱۳۸۹).

استفاده از منطق فازی و AHP به صورت توأم، در سال‌های اخیر توجه بسیاری از متخصصان رشته‌های مختلف را به خود معطوف ساخته است. ازغدی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی حاصل‌خیزی خاک با استفاده از مدل FAHP پرداختند. آن‌ها از معادلات خطی در نوع تابع عضویت فازی استفاده کردند و نتیجه گرفتند که FAHP روش مناسبی برای پهنه بندی پارامترهای حاصل‌خیزی خاک است. آن‌ها تفاوت این مدل با مدل کلاسیک AHP را بررسی نکردند.

باترلوس و اسکیلودیمو (۲۰۰۷) به منظور تهیه نقش خطر فرسایش در حوضه آبریز رودخانه مالاکاسیوتیکو در تریکالا در کشور یونان، ۶ متغیر شیب، لیتولوژی، تراکم زهکشی، تراکم عوارض تکتونیکی، کاربری اراضی و بارش را بکار برده و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، ناحیه مورد مطالعه را به سه منطقه خطر فرسایش تقسیم نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند که شمال‌غرب، غرب و جنوب حوضه پتانسیل بالایی در تولید رسوب دارد.

یمانی و همکاران، (۱۳۸۴) نیز از طریق پهنه بندی فرسایش در حوضه آبخیز داور زن با استفاده از الگوهای منطق فازی از پنج لایه اطلاعاتی شامل: شیب، حساسیت سنگ‌های حوضه به فرسایش، گروه‌های هیدرولوژیک خاک، کاربری اراضی و پوشش گیاهی استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که در میان اپراتورهای ذکر شده در تعیین پهنه‌های فرسایش پذیر، اپراتور فازی گاما با تابع  $0/5$ ، بهترین پهنه بندی را برای فرسایش حوضه داور زن ارائه نموده که مطابق آن  $53/07$  درصد از مساحت حوضه دارای حساسیت به فرسایش "خیلی زیاد" است.

اَهر و همکاران (۲۰۱۳) در پژوهش خود با عنوان: اولویت‌بندی حوضه‌های آبخیز با استفاده از ارزیابی چند معیار از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی، ویژگی‌های مورفولوژیکی هشت زیرحوضه حوضه آبریزی در نزدیکی روستای پیمپالگائون در غرب هندوستان را به لحاظ میزان آسیب‌پذیری، اولویت‌بندی کرده و به این نتیجه رسیدند که  $60/85$  درصد از مساحت حوضه (پنج زیر حوضه) جزو مناطق حساس متوسط به بالا هستند.

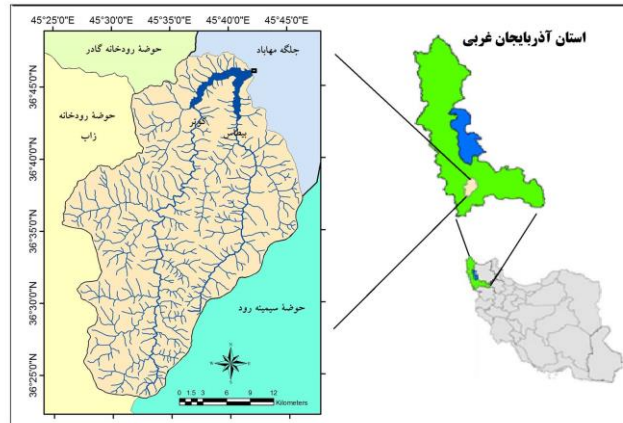
همچنین پژوهشگرانی چون (Wu & Wang, 2007)، کرم و همکاران (۱۳۸۹)، شمسی‌پور و همکاران (۱۳۸۹)، رفیعی و همکاران (۱۳۹۰)، لطفی و همکاران (۱۳۹۱)، پور قاسمی و همکاران (۲۰۱۲) و خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۰) به منظور پهنه بندی فرسایش و دیگر مخاطرات محیطی از هر دو مدل فازی و سلسله مراتبی (AHP) استفاده کرده و نتایج قانع کننده‌ای به دست آورده‌اند.

در این پژوهش نیز سعی شده است، اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر تولید رسوب در حوضه سد مهاباد با استفاده از روش منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) انجام شود و در نهایت نقش نواحی حساس به فرسایش تهیه گردد.

### معرفی حوضه مورد مطالعه

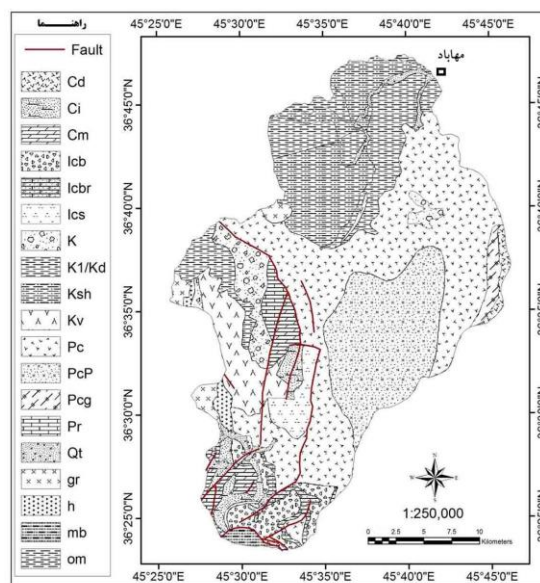
حوضه آبریز سد مهاباد بین ۲۶ دقیقه و ۳۶ درجه تا ۴۶ دقیقه و ۳۶ درجه عرض شمالی و ۲۵ دقیقه و ۴۵ درجه تا ۴۶ دقیقه و ۴۵ درجه، طول شرقی واقع است و مساحت آن  $776/37$  کیلومتر مربع است. این حوضه، یکی از زیر حوضه‌های حوضه آبریز

دریاچه ارومیه در شمال غرب کشور است که از شمال به جلگه مهاباد، از شرق به حوضه آبریز سیمینه رود، از شمال غرب به حوضه آبریز رودخانه گادر و از جنوب غرب و غرب به حوضه آبریز رودخانه زاب محدود است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز سد مهاباد

به‌طور کلی، منطقه پژوهش شامل دو زیرحوضه کوتر و بیطاس است. زیر حوضه کوتر، با مساحتی در حدود ۴۹۰/۵ کیلومتر مربع در بخش غربی منطقه مورد مطالعه واقع است. حداکثر ارتفاع در آن ۲۸۳۵ متر است و زیر حوضه بیطاس، با ۲۸۵/۸۷ کیلومترمربع مساحت در بخش شرقی حوضه واقع است و تنها ۰/۰۴ درصد از مساحت این زیر حوضه بالاتر از ۲۱۰۰ متر ارتفاع دارد. بالاترین شیب حوضه در غرب و جنوب غرب آن قرار دارد که میزان آن بیش از ۵۰ درصد است.



شکل ۲: نقش زمین‌شناسی حوضه سد مهاباد

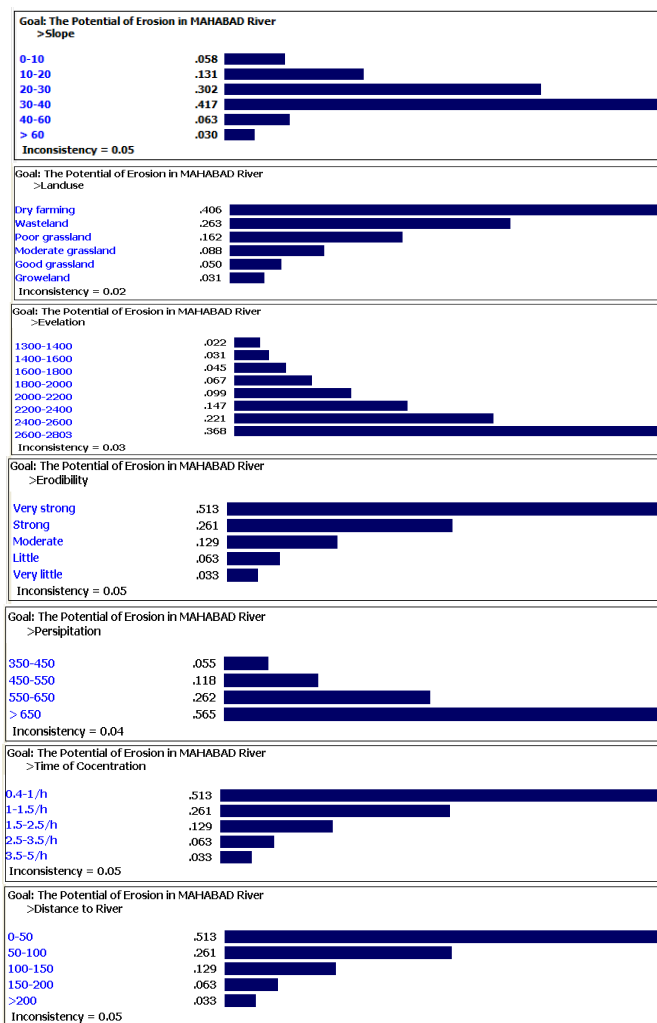
از لحاظ زمین‌شناسی، پی‌سنگ منطقه را سنگ‌های دگرگونی انفرآ کامبرین و پره‌کامبرین تشکیل می‌دهند. مهم‌ترین واحدهای لیتولوژی عبارت‌اند از: تشکیلات پره‌کامبرین (شامل: آمفیبولیت، گنیس، فیلیت و سنگ‌های آتشفشانی) و انفرآکامبرین (شامل: سازند بایندر، سازند باروت، ماسه سنگ لالون، شیل، سنگ آهک و دولومیت). در انتهای جنوب‌غربی حوضه یک رو راندگی هم‌جهت با رو راندگی زاگرس، باعث بالا آمدن واحدهای پره‌کامبرین و اینفرآکامبرین بر روی واحدهای جدیدتر شده است (شکل ۲). در حوضه مورد مطالعه، شکل غالب ناهمواری‌ها ناشی از دخالت فرآیندهای بیرونی، به‌ویژه آب‌های روان و فرسایش ناشی از آن‌هاست. با استناد به مقاله دکتر فرج‌... محمودی در سال ۱۳۶۷، در طول دوره‌های یخچالی کوترنری، به دلیل پایین بودن ارتفاع مرز برفی در آذربایجان و کردستان و به‌ویژه در ارتفاع‌های غربی و جنوبی حوضه، فعالیت یخسارهای کوهستانی وجود داشته است. متوسط بارش سالیانه منطقه پژوهش بر اساس روش خطوط همباران ۵۴۲/۵۸ میلی‌متر است. نقش همباران منطقه، تطابق اساسی را با وضعیت توپوگرافی نشان می‌دهد.

## داده‌ها و روش‌ها

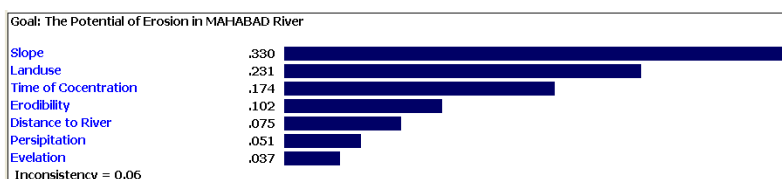
داده‌ها، لایه‌های اطلاعاتی و مدارک مورد نیاز تحقیق به شرح ذیل می‌باشند که به منظور گردآوری آن‌ها از طریق روش کتابخانه‌ای، مراجعه به سازمان‌ها و ادارات، سایت‌های اینترنتی و مشاهدات میدانی، اقدام شده است:

نقشه<sup>۱</sup> GDEM ماهواره ASTER با قدرت تفکیک ۱۵ متر که لایه رستری سطوح ارتفاعی، زیر حوضه‌ها، فاصله از رود و شیب حوضه با اندازه پیکسل‌های ۳۰ متر از آن تهیه شد. همچنین داده‌های اقلیمی از جمله آمار بارش حوضه از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه استخراج و در تهیه نقش بارش حوضه به کار گرفته شدند. از تصاویر ماهواره‌ای ETM سال ۲۰۰۶ میلادی برای تهیه نقش کاربری اراضی استفاده شد. داده‌های لیتولوژی از نقش زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ مهاباد برداشت گردید. در پایان برای تکمیل داده‌ها و اعتبارسنجی نقش نهایی، عملیات میدانی انجام شد.

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی، با مراجعه به منابع معتبر و استفاده از نظرات کارشناسان و پژوهشگران لایه‌ها اولویت‌بندی شدند و ضرایب و وزن آن‌ها با بهره‌گیری از مدل AHP در محیط نرم افزار Expert choice در نتیجه مقایسه دو به دویی معیارهای سطح یک باهم و معیارهای سطح دو باهم با معیار درجه اهمیت تعریف شده به‌وسیله ساعتی (۱۹۷۷)، وزن دهی شدند (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۳: وزن نسبی هر یک از معیارهای سطح دو، با استفاده از مقایسه دوجه دویی معیارها در محیط نرم افزار Expert choice



شکل ۴: وزن نسبی هر یک از معیارهای سطح یک، با استفاده از مقایسه دوجه دویی معیارها در محیط نرم افزار Expert choice

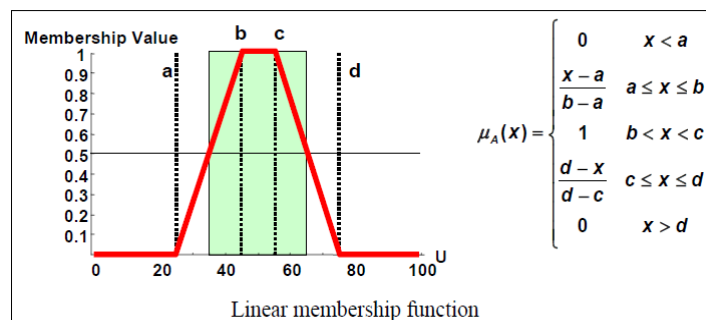
برای تعیین درجه دقت و صحت وزن دهی از "شاخص سازگاری" استفاده می‌شود. این شاخص بر مبنای رویکرد ویژه تئوری گراف محاسبه می‌شود. چنانچه شاخص سازگاری معادل ۰/۱ یا کمتر باشد، وزن دهی صحیح بوده و در غیر این

صورت وزن‌های نسبی داده شده به معیارها بایستی تغییر یابند و وزن دهی مجدداً انجام شود (قنواتی، ۱۳۹۰). در این پژوهش شاخص سازگاری ۰/۰۶ به دست آمده است، بنابراین قابل قبول بوده و نشان‌دهنده دقت و صحت وزن دهی به معیارها است.

جدول ۱: ماتریسی عوامل مؤثر در افزایش میزان رسوب

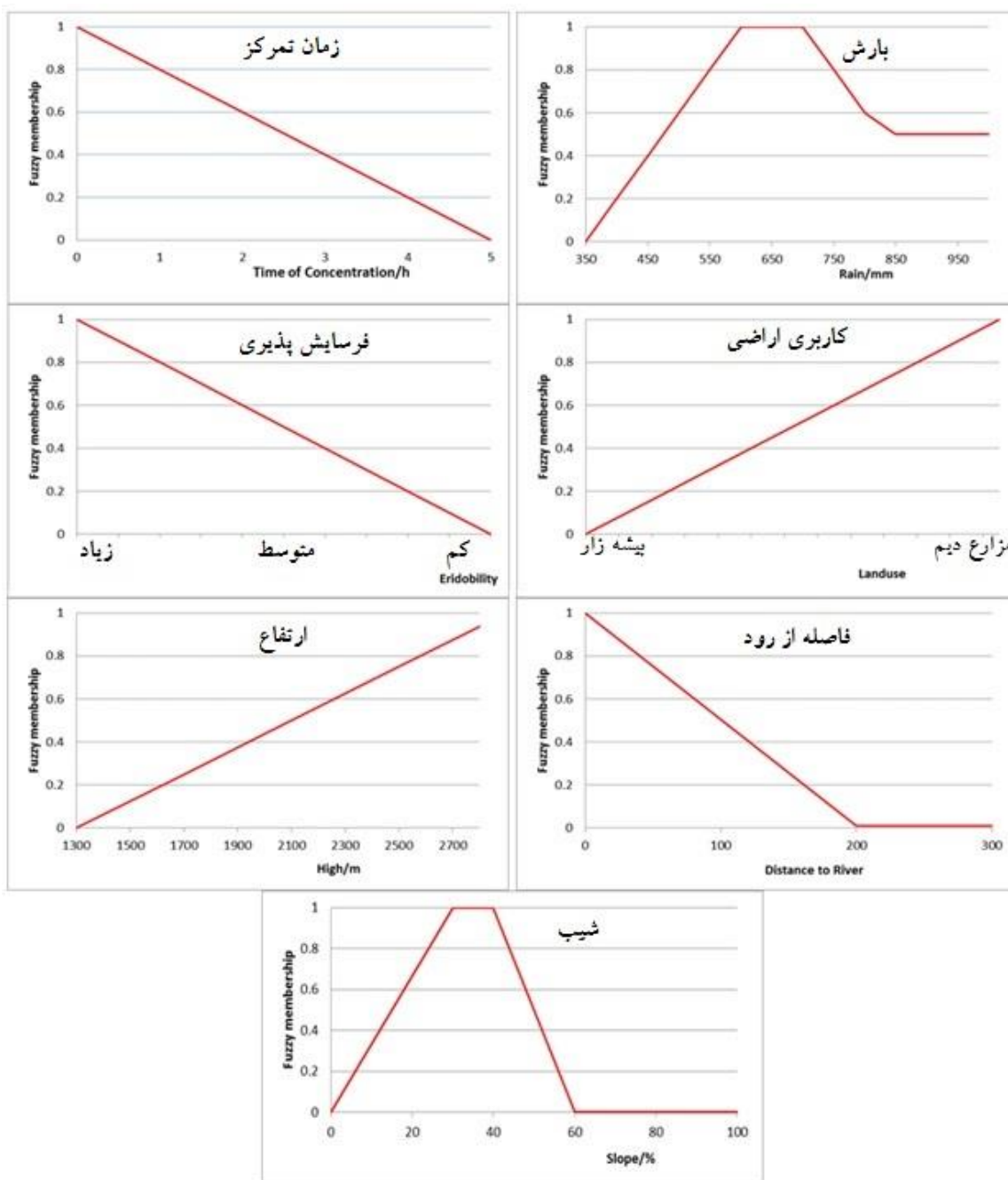
اهمیت نسبی wi	ارتفاع	بارش	فاصله از رود	فرسایش پذیری	زمان تمرکز	کاربری اراضی	شیب	عوامل
۰/۳۳۰	۷	۵	۴	۵	۲	۲	۱	شیب
۰/۲۳۱	۶	۴	۲	۴	۲	۱	۱/۲	کاربری اراضی
۰/۱۷۴	۳	۲	۳	۳	۱	۱/۲	۱/۲	زمان تمرکز
۰/۱۰۲	۴	۲	۳	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۵	فرسایش پذیری
۰/۰۷۵	۴	۱	۱	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۴	فاصله از رود
۰/۰۵۱	۱	۱	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۴	۱/۵	بارش
۰/۰۳۷	۱	۱	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۶	۱/۷	ارتفاع

سپس لایه‌های اطلاعاتی و معیارهای سطح دو تعیین شده در مرحله قبل، با استفاده از توابع فازی (شکل ۷) زیر فازی سازی شدند، در این مرحله تمام لایه‌های مطالعاتی به صورت کمی با واحد مشابه و استاندارد قابل مقایسه درآمدند، به طوری که نرمال‌سازی یا تخصیص واحد مشابه به تمام لایه‌ها انجام شد و تمام لایه‌های اطلاعاتی دارای ویژگی کمی با دامنه‌ای از ارقام پیوسته صفر تا یک شدند. در این مقاله از تابع عضویت خطی استفاده شده است. این تابع دارای چهار پارامتر است که شکل تابع را تعیین می‌کند (شکل ۵). می‌توان با انتخاب مقدار مناسب برای حالت‌های A، B، C و D توابع عضویت ذوزنقه‌ای، مثلثی، S شکل و یا به شکل L را تعریف کرد (Kainz, 2008, 5 & Carter, 1994).



شکل ۵: تابع عضویت خطی (Kainz, 2008, 5)

بنابراین، عضویت فازی لایه‌ها بر اساس نوع رابطه‌ای که هر لایه با پدیده فرسایش در حوضه سد مهاباد دارد به شرح ذیل تعیین گردیده است:



شکل ۶: الگوی توابع فازی خطی هر یک از معیارهای مؤثر در فرسایش



## جدول ۲: داده‌های مربوط به عضویت فازی و اهمیت نسبی لایه‌ها

عامل کاربری اراضی					عامل بارش						
کلاس	نوع کاربری‌ها	امتیاز	$W_i$	$\mu(x)$	کلاس	طبقات بارش mm	$W_i$	$\mu(x)$			
۱	بیشه‌زارها و بقولات	۱	-/۰.۳۱	-/۰	۱	۳۵۰-۴۵۰	-/۰.۵۵	-/۰.۰۹			
۲	مراتع خوب	۲	-/۰.۵۰	-/۰.۱۷	۲	۴۵۰-۵۵۰	-/۰.۱۱۸	-/۰.۲۷			
۳	مراتع متوسط	۳	-/۰.۸۸	-/۰.۳۳	۳	۵۵۰-۶۵۰	-/۰.۲۶۲	-/۰.۴۵			
۴	مراتع فقیر	۴	-/۰.۱۶۲	-/۰.۵۰	۴	۶۵۰-۷۰۰	-/۰.۵۶۵	۱/۰۰			
۵	زمینه‌ای بایر	۵	-/۰.۲۶۳	-/۰.۶۷							
۶	مزارع دیم	۶	-/۰.۴۰۶	-/۰.۸۳							
عامل ارتفاع					عامل فرسایش پذیری						
کلاس	طبقات ارتفاعی m	$W_i$	$\mu(x)$	کلاس	نوع سنگ	امتیاز	$W_i$	$\mu(x)$			
۱	۱۳۰۰-۱۴۰۰	-/۰.۲۲	-/۰.۱۸	۱	گرانیت-سنگ مرمر-سنگ‌های متامرفیک	۱	-/۰.۳۳	-/۰			
۲	۱۴۰۰-۱۶۰۰	-/۰.۳۱	-/۰.۷۱	۲	ماسه سنگ کرتاسه	۲	-/۰.۶۳	-/۰.۲۰			
۳	۱۶۰۰-۱۸۰۰	-/۰.۴۵	-/۰.۱۴۳	۳	فیلیت-گنیس-سنگ‌های اسیدی آتشفشانی-آمفیبولیت	۳	-/۰.۱۲۹	-/۰.۴۰			
۴	۱۸۰۰-۲۰۰۰	-/۰.۶۷	-/۰.۲۱۴	۴	آندزیت سبز-توف	۴	-/۰.۲۶۱	-/۰.۶۰			
۵	۲۰۰۰-۲۲۰۰	-/۰.۹۹	-/۰.۲۸۵	۵	دولومیت-رسوبات آبرفتی کوآترنری-شیل-باروت	۵	-/۰.۵۱۳	-/۰.۸۰			
۶	۲۲۰۰-۲۴۰۰	-/۰.۱۴۷	-/۰.۳۵۷								
۷	۲۴۰۰-۲۶۰۰	-/۰.۲۳۱	-/۰.۴۲۸								
۸	۲۶۰۰-۲۸۰۳	-/۰.۳۶۸	-/۰.۴۹۹								
عامل زمان تمرکز				عامل فاصله از رود				عامل شیب			
کلاس	زمان تمرکز h	$W_i$	$\mu(x)$	کلاس	فاصله از رود m	$W_i$	$\mu(x)$	کلا س	طبقات شیب %	$W_i$	$\mu(x)$
۱	۰/۴-۱	-/۰.۵۱۳	-/۰.۸۳۵	۱	۰-۵۰	-/۰.۵۱۳	-/۰.۸۷۵	۱	۰-۱۰	-/۰.۵۸	-/۰.۱۶۶
۲	۱/۰-۱/۵	-/۰.۲۶۱	-/۰.۷۰۶	۲	۵۰-۱۰۰	-/۰.۲۶۱	-/۰.۶۲۵	۲	۱۰-۲۰	-/۰.۱۳۱	-/۰.۵۰۰
۳	۱/۵-۲/۵	-/۰.۱۲۹	-/۰.۵۲۹	۳	۱۰۰-۱۵۰	-/۰.۱۲۹	-/۰.۳۷۵	۳	۲۰-۳۰	-/۰.۳۰۲	-/۰.۸۳۳
۴	۲/۵-۳/۵	-/۰.۰۶۳	-/۰.۲۹۴	۴	۱۵۰-۲۰۰	-/۰.۰۶۳	-/۰.۱۲۵	۴	۳۰-۴۰	-/۰.۴۱۷	۱/۰۰۰
۵	۳/۵-۵/۰	-/۰.۰۳۳	-/۰	۵	>۲۰۰	-/۰.۰۳۳	-/۰	۵	۴۰-۶۰	-/۰.۰۶۳	-/۰.۱۶۶
								۶	>۶۰	-/۰.۰۳۰	-/۰

در مرحله بعد لایه‌های فازی با استفاده از وزن حاصل از مدل AHP با استفاده از رابطه زیر ترکیب شدند (شمسی‌پور و

$$f(x) = \sum w_i \mu(x) \quad \text{همکاران، ۱۳۸۹.}$$

در این رابطه  $f(x)$  برآورد نهایی پهنه بندی فرسایش بر مبنای معیارهای ۷ گانه،  $w_i$  وزن هر یک از معیارهای ورودی به

مدل AHP و  $\mu(x)$  عضویت فازی هر یک از معیارها بر مبنای تابع خطی فازی است.

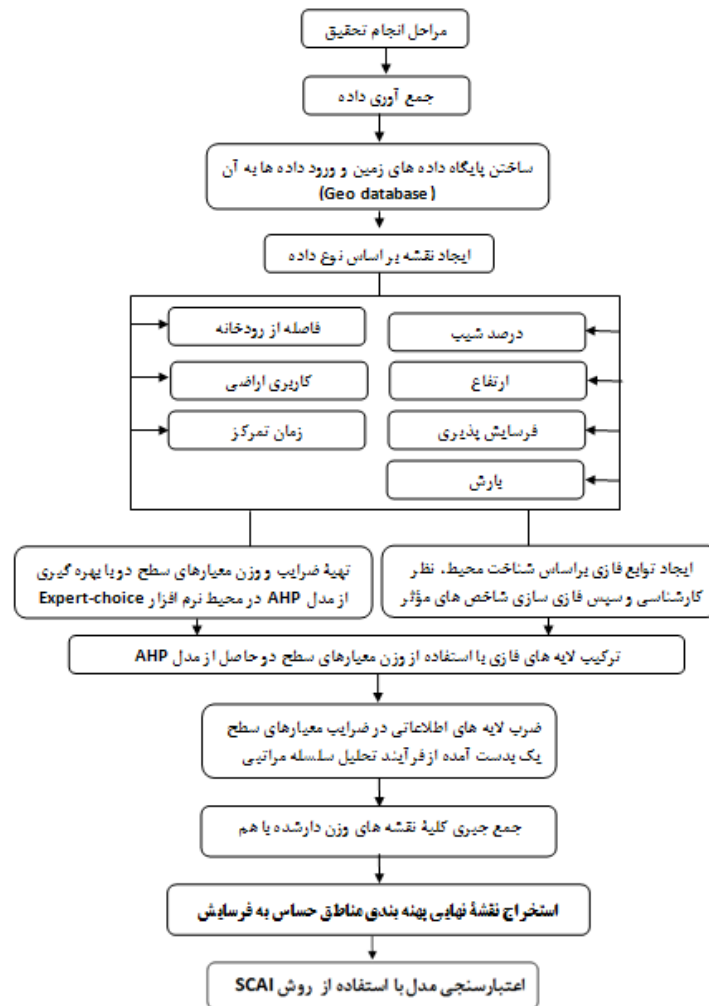
لایه‌های اطلاعاتی در نرم افزار ArcGIS 10.2 وارد شدند. نقشه‌ها با ساختار رستری با تعیین عضویت فازی به شرح جدول (۲) طبقه بندی شدند. ابعاد پیکسل‌ها در تمام نقشه‌ها ۳۰ متر و دارای سیستم مختصات یکسان UTM تعریف شدند. در مرحله بعدی ضرایب به دست آمده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (شکل ۴) در لایه‌های اطلاعاتی ضرب شد و کلیه نقشه‌های وزن‌دار شده باهم جمع گردیدند و نقش نهایی موضوعی شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، فرسایش‌پذیری، بارش، زمان تمرکز و فاصله از رود به دست آمد. در نهایت با اعمال ضرایب شکل ۵ و تلفیق هفت نقش موضوعی فوق، نقش نهایی پهنه-بندی نواحی حساس به فرسایش تهیه گردید و به پنج طبقه با احتمال وقوع فرسایش خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی شد (شکل ۱۵).

### ارزیابی صحت نقشه حساسیت به فرسایش خاک

برای ارزیابی صحت نقشه حساسیت به فرسایش خاک از شاخص  $SCAI^2$  به صورت ذیل استفاده شد:

$$SCAI = \frac{\text{مساحت کلاسهای حساس به فرسایش (\%)}}{\text{میزان فرسایش مشاهده شده در هر کلاس (\%)}}$$

در این روش انتظار می‌رود که مقدار عددی شاخص  $SCAI$  برای پهنه بندی صحیح مناطق حساس به فرسایش بر اساس مشاهدات در طبقات با حساسیت بالا و بسیار بالا، مقدار این شاخص بسیار کم و در طبقات با حساسیت کم و خیلی کم، مقدار آن بسیار بیشتر باشد (Shirzadi & et al, 2012). به این منظور طی انجام عملیات میدانی به صورت تصادفی در ۲۶ نقطه از حوضه، سطوح دامنه‌ها را از لحاظ میزان فرسایش خاک مورد ارزیابی قرار داده و مرکز ثقل آن‌ها به‌عنوان نقاط مشاهده‌ای در نظر گرفته شد که نتایج آن در جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۷: فرآیند پژوهش جهت تهیه نقش نواحی حساس به فرسایش در حوضه سد مهاباد

## یافته‌های پژوهش

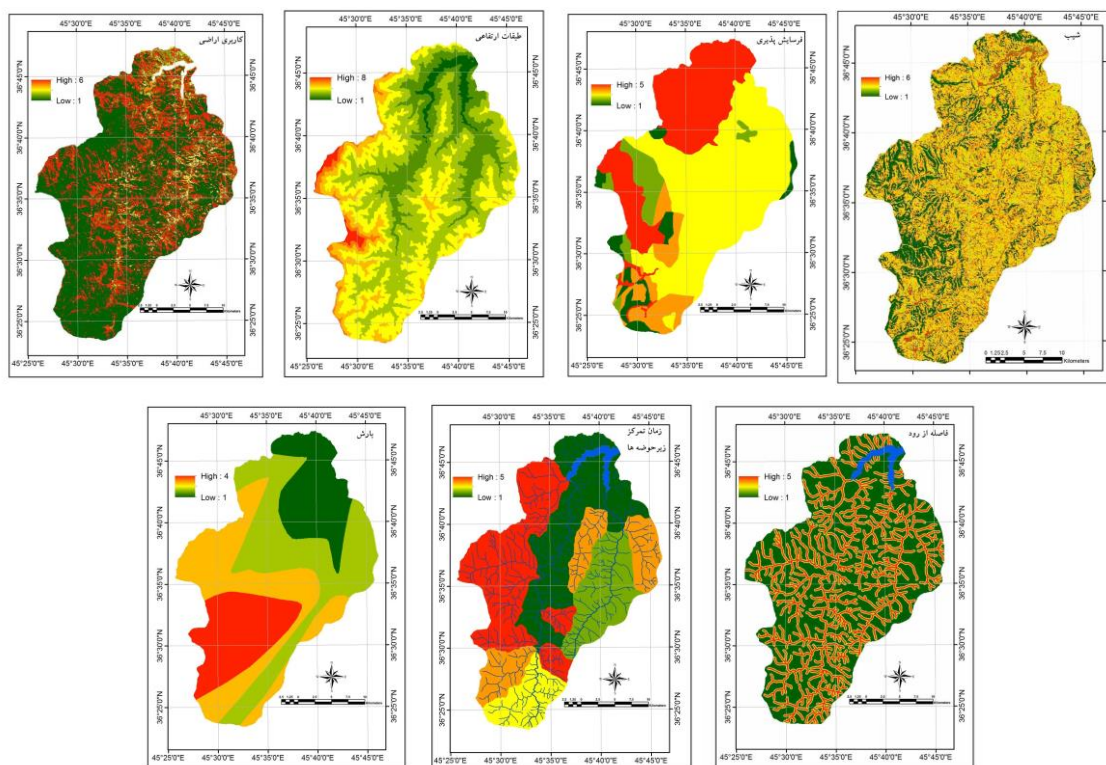
برای تهیه نقش نواحی حساس به فرسایش حوضه سد مهاباد، عوامل مشخصی مورد استفاده قرار گرفته است. این عوامل که مشخص کننده شدت فرسایش در سطح حوضه می‌باشند عبارت‌اند از: کاربری اراضی، شیب، ارتفاع، فرسایش‌پذیری، بارش، فاصله از رود و زمان تمرکز زیر حوضه‌ها. ابتدا این عوامل اولویت‌بندی، سپس با استفاده از روش تحلیل AHP وزن دهی، زیر فازی سازی و در نهایت باهم تلفیق و نقش نهایی نواحی حساس به فرسایش استخراج شد.

در شکل (۸) نقش عوامل ۷ گانه بر اساس نوع رابطه‌ای که هر پارامتر با پدیده فرسایش در حوضه سد مهاباد دارد، نمایش داده شده است. مطابق با الگوهای توابع فازی، با افزایش ارتفاع احتمال وقوع فرسایش نیز افزایش می‌یابد، زیرا عامل

ارتفاع همبستگی مستقیم و مثبتی با بارش و عامل شیب دارد؛ بنابراین نواحی جنوب، غرب و جنوب غربی حوضه از لحاظ ارتفاع پتانسیل بالایی در وقوع فرسایش و تولید رسوب دارد.

از لحاظ لیتولوژی و نوع رسوبات، نواحی با فرسایش پذیری زیاد منطبق بر رسوبهای آبرفتی کواترنری، سنگهای با جنس دولومیت و شیل است که عمدتاً در بخش جنوب، جنوب غربی و نیم شمالی حوضه واقع شده اند.

مطابق نظر کارشناسان از آن جاکه معمولاً بر روی دامنه های با شیب بیش از ۴۰ درصد ضخامت خاک کاهش می یابد بنابراین زیر حوضه های شکرپیگ و باگردان که جزو بخش های پرشیب حوضه هستند با توجه به انتخاب نوع تابع فازی نقش کمتری در تولید رسوب ناشی از وقوع فرسایش دارند. در حالی که نواحی با شیب ۲۰ تا ۴۰ درصد نقش تعیین کننده ای در افزایش پتانسیل وقوع فرسایش داشته و در مقایسه دوجه دویی معیارها نیز اهمیت نسبی این عامل بیش از سایر عوامل است.



شکل ۸: نقش متغیرهای ۷ گانه مؤثر در وقوع فرسایش بر اساس الگوهای توابع فازی

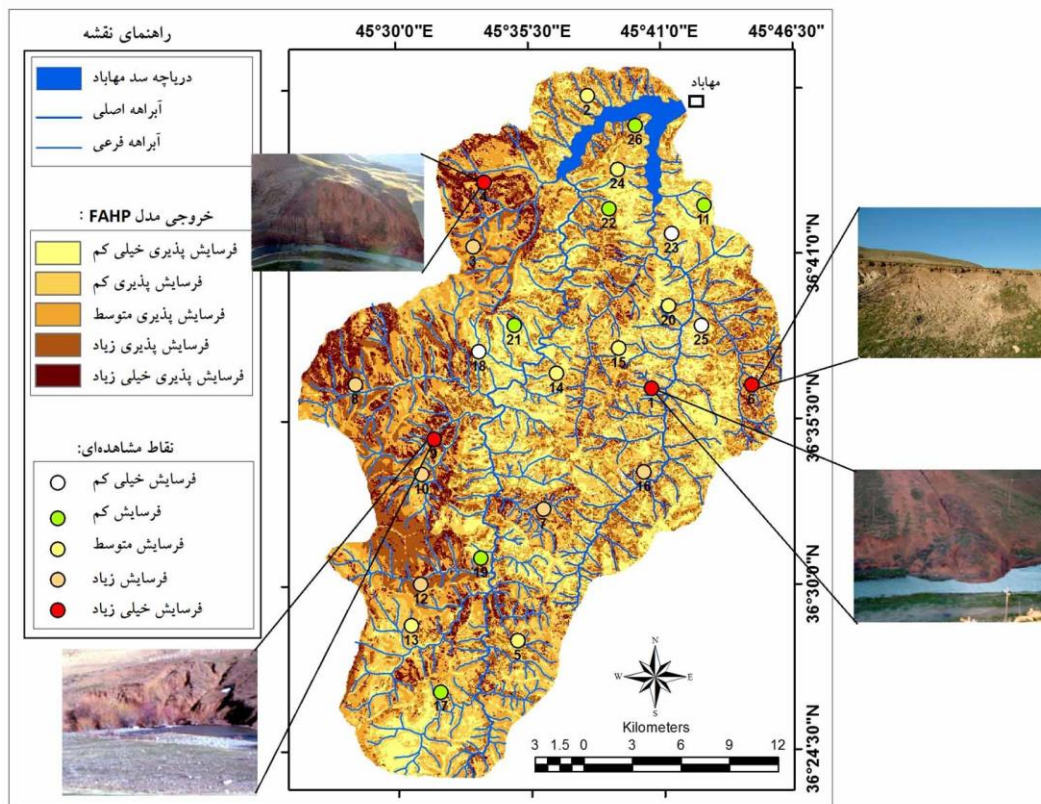
میانگین بارش حوضه در حدود ۵۴۲/۵۸ میلی متر است که کمترین میزان آن در محل احداث سد و در حدود ۳۶۰ میلی متر است که هر چه در جهت جنوب بر ارتفاع حوضه افزوده می شود رقم آن افزایش می یابد به طوری که در زیرحوضه

شکریگ به بیش از ۶۵۰ میلی‌متر می‌رسد. نواحی با حساسیت بالا منطبق بر بخش‌های غربی و جنوب‌غربی حوضه است که بین ۵۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر در سال بارش دریافت می‌نمایند.

زیر حوضه‌های دهبکر، باگردان، بنگوین، کارگ، مرانه و میرسه که زمان تمرکز آن‌ها بین ۰/۴ تا ۱ ساعت است، بالاترین امتیاز فازی را داشته و در مقایسه دوبه دویی معیارها نیز در رتبه سوم اهمیت قرار دارند.

به لحاظ وضعیت کاربری اراضی، نواحی با پتانسیل بالای وقوع فرسایش عمدتاً در نیم شمالی حوضه واقع شده است که شامل زمینه‌ای بایر، مزارع دیم و مراتع بسیار فقیر است و بالاخره عامل فاصله از رود که بیشتر بستر طغیانی رود را شامل می‌شود. این بخش از حوضه در معرض مستقیم فرسایش توسط جریان رود می‌باشد. مخصوصاً در محل پیچ مقعر مآندرها به دلیل افزایش سرعت جریان رود و عمل زیر بریدگی عمل تخریب شدیدتر است. مطابق شکل (۸) حواشی رود تا فاصله ۵۰ متری بالاترین پتانسیل را در وقوع فرسایش و تولید رسوب دارند.

در نهایت با تلفیق نقشه‌های ۷ گانه و اعمال ضرایب حاصل از اولویت‌بندی معیارها در فرآیند سلسله مراتبی، نقش نهایی نواحی حساس به فرسایش تهیه شد.



شکل ۹: پهنه بندی نهایی نواحی حساس به فرسایش با استفاده از مدل FAHP

**جدول ۳:** داده‌های مربوط به نقش نهایی پهنه بندی فرسایش با استفاده از مدل FAHP

ردیف	احتمال وقوع فرسایش	مساحت Km <sup>2</sup>	مساحت %	دامنه‌های مشاهده‌ای	دامنه‌های مشاهده‌ای %
۱	خیلی کم	۹۴/۱۶	۱۲/۱۳	۲	۷/۶۹۲
۲	کم	۱۷۶/۳۲	۲۲/۷۱	۵	۱۹/۲۳۱
۳	متوسط	۲۱۷/۸۶	۲۸/۰۶	۷	۲۶/۹۲۳
۴	زیاد	۱۸۵/۹۱	۲۳/۹۵	۷	۲۶/۹۲۳
۵	خیلی زیاد	۱۰۲/۱۲	۱۳/۱۵	۵	۱۹/۲۳۱
		۷۷۶/۳۷	۱۰۰	۲۶	۱۰۰

**جدول ۴:** داده‌های حاصل از صحت سنجی مدل به روش مشاهده‌ای

میزان حساسیت (خروجی مدل)	میزان حساسیت (مشاهده‌ای)	Y	X	نقاط (مشاهده‌ای)	میزان حساسیت (خروجی مدل)	میزان حساسیت (مشاهده‌ای)	Y	X	نقاط (مشاهده‌ای)
کم	متوسط	۴۰۵۲۶۲۰	۵۵۴۵۵۴	۱۴	خیلی زیاد	خیلی زیاد	۴۰۵۱۷۲۱	۵۶۰۴۳۲	۱
متوسط	متوسط	۴۰۵۴۱۹۲	۵۵۸۴۱۷	۱۵	زیاد	زیاد	۴۰۶۹۷۲۲	۵۵۶۴۶۲	۲
زیاد	زیاد	۴۰۴۶۵۷۶	۵۵۹۹۶۵	۱۶	زیاد	زیاد	۴۰۶۰۴۱۲	۵۴۹۶۲۷	۳
کم	کم	۴۰۳۳۰۲۰	۵۴۷۴۳۸	۱۷	خیلی زیاد	خیلی زیاد	۴۰۶۴۳۹۰	۵۵۰۰۹۵	۴
کم	خیلی کم	۴۰۵۳۹۶۵	۵۴۹۷۸۸	۱۸	متوسط	متوسط	۴۰۳۶۱۹۱	۵۵۲۱۹۶	۵
کم	کم	۴۰۴۱۲۶۲	۵۴۹۹۱۴	۱۹	خیلی زیاد	خیلی زیاد	۴۰۵۱۹۴۵	۵۶۶۶۴۲	۶
متوسط	متوسط	۴۰۵۶۷۹۳	۵۶۱۵۰۲	۲۰	زیاد	زیاد	۴۰۴۴۲۷۶	۵۵۳۷۶۷	۷
متوسط	کم	۴۰۵۵۵۸۴	۵۵۱۹۵۷	۲۱	متوسط	متوسط	۴۰۵۱۹۳۱	۵۴۲۱۴۲	۸
خیلی کم	کم	۴۰۶۲۷۶۶	۵۵۷۷۹۹	۲۲	خیلی زیاد	خیلی زیاد	۴۰۴۸۵۵۷	۵۴۷۰۰۸	۹
کم	خیلی کم	۴۰۶۱۲۴۶	۵۶۱۶۹۱	۲۳	زیاد	زیاد	۴۰۴۶۴۰۶	۵۴۶۲۴۴	۱۰
متوسط	متوسط	۴۰۶۵۱۹۵	۵۵۸۳۳۸	۲۴	کم	کم	۴۰۶۲۹۸۹	۵۶۳۶۸۸	۱۱
خیلی کم	خیلی کم	۴۰۵۵۵۹۳	۵۶۳۵۳۵	۲۵	زیاد	زیاد	۴۰۳۹۶۳۰	۵۴۶۱۸۷	۱۲
کم	کم	۴۰۶۷۸۹۴	۵۵۹۴۱۷	۲۶	متوسط	متوسط	۴۰۳۷۰۸۹	۵۴۵۶۲۶	۱۳

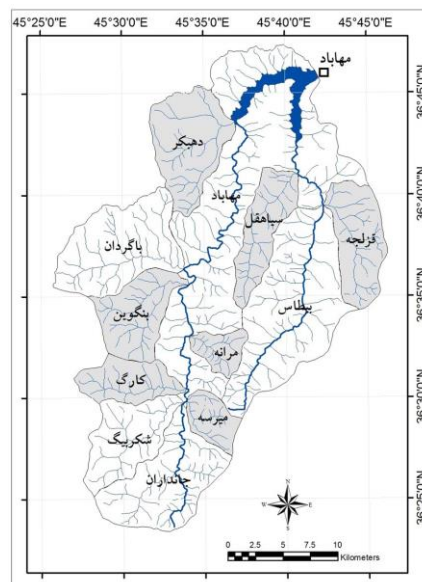
**جدول ۵:** پراکندگی فرسایش در نواحی پیش‌بینی شده حساس به فرسایش

تراکم فرسایش (SCAI)	نواحی مشاهده شده %	نواحی پیش‌بینی شده %	نواحی حساس به فرسایش
۱/۵۷۷	۷/۶۹۲	۱۲/۱۳	خیلی کم
۱/۱۸۱	۱۹/۲۳۱	۲۲/۷۱	کم
۱/۰۴۲	۲۶/۹۲۳	۲۸/۰۶	متوسط
۰/۸۹۰	۲۶/۹۲۳	۲۳/۹۵	زیاد
۰/۶۸۴	۱۹/۲۳۱	۱۳/۱۵	خیلی زیاد

مقادیر به دست آمده در جدول ۵ نشان می‌دهد که نقش تهیه شده از اعتبار نسبی برخوردار است به این دلیل که شاخص SCAI در کلاس با حساسیت زیاد و خیلی زیاد دارای ارزش پایین بوده در حالی که ارزش شاخص SCAI در کلاس با حساسیت خیلی کم و کم، بالاست.

در شکل ۹ حوضه مورد مطالعه از لحاظ میزان حساسیت به فرسایش به ۵ کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد در حدود ۱۰۲/۱۲ کیلومتر مربع معادل ۱۳/۱۵ درصد از مساحت حوضه دارای پتانسیل "خیلی زیاد" در وقوع فرسایش و تولید رسوب است. همچنین ۹۴/۱۶ کیلومتر مربع معادل ۱۲/۱۳ درصد از مساحت حوضه که بیشتر نواحی کم شیب و کم ارتفاع شمال حوضه به استثنای تراس‌های رودخانه‌ای را شامل می‌شود دارای رتبه "خیلی کم" به لحاظ حساسیت به فرسایش هستند.

بر اساس نتایج به دست آمده زیر حوضه‌های دهبکر، بنگوین، قزلجه، مرانه، میرسه و سیاه‌قل، پتانسیل بسیار بالایی در وقوع فرسایش و تولید رسوب دارند، به طوری که از مجموع ۲۱۰/۸۸ کیلومتر مربع مساحت این زیر حوضه‌ها، ۱۰۷/۵۸ کیلومتر مربع معادل ۵۱ درصد از مساحت آن‌ها دارای پتانسیل فرسایش‌پذیری "زیاد و خیلی زیاد" هستند (شکل ۱۰). با یک نگاه اجمالی به متغیرهای مستقل به کار برده شده در مدل، دلیل پتانسیل بالای زیر حوضه‌های فوق در وقوع فرسایش قابل توجه است: هر شش زیر حوضه منطبق بر نواحی پرشیب حوضه هستند، زمان تمرکز کمتر از یک ساعت و نیم دارند، مرتفع‌ترین بخش‌های حوضه در این شش زیر حوضه واقع شده است و بیش از ۵۰۰ میلی‌متر باران دریافت می‌نمایند؛ بنابراین می‌توان با تمرکز بر روی این زیر حوضه‌ها و انجام اقدامات پیشگیرانه هم در وقت و هزینه‌ها صرفه‌جویی نمود و هم تا حدودی فرسایش و فرآیند تولید رسوب را در سطح حوضه کنترل کرد.



شکل ۱۰: نمایش زیر حوضه‌هایی که بالاترین میزان حساسیت را در مقابل فرسایش دارند

همچنین قسمت‌های انتهایی زیر حوضه‌های بیطاس، سیاهقل و قزلجه مخصوصاً در امتداد تراس‌های رودخانه‌ای دارای پتانسیل رسوب‌دهی خیلی زیاد هستند. انجام عملیات میدانی و مشاهده فرسایش خندقی و شیاری و حرکات توده‌ای خاک بر روی تراس‌های آبرفتی در امتداد دره بیطاس و سیاهقل، صحت نقش تهیه شده به روش FAHP را تأیید می‌نماید. قرار دادن نتایج فوق در کنار نتایج حاصل از پژوهش جباری و طالب پور (۱۳۸۹) مبنی برافزایش وقوع حرکات دامنه‌ای بر روی تراس‌های رودخانه‌ای در اثر احداث جاده و ایجاد کانل‌های آبیاری و تغییر کاربری اراضی و همچنین مطالعه طالب پور و خضری (۱۳۸۹) که حاکی از روند شدید تغییر کاربری اراضی از مرتع به اراضی دیم در سطح حوضه مورد مطالعه است، باید انتظار داشت که عمل فرسایش تشدید شود؛ بنابراین اجرای برنامه‌های حفاظتی به منظور مدیریت پایدار حوضه در این زیر حوضه‌ها ضروری است.

از طرف دیگر زیر حوضه‌های شکرپیگ و جانداران در بخش جنوبی حوضه حساسیت کمتری به فرسایش دارند. بررسی پارامترهای به کار برده شده نشان می‌دهد که این نواحی از تراکم بالای پوشش گیاهی برخوردار بوده و به لحاظ لیتولوژی منطبق بر توده‌های آهکی مقاوم در برابر فرسایش است.

همچنین با وجود اینکه زیرحوضه باگردان یکی از پرشیب‌ترین زیر حوضه‌ها است، به لحاظ فرسایش‌پذیری از میان ۱۲ زیر حوضه در رده هفتم قرار گرفته است. دلیل آن ناچیز بودن ضخامت خاک در دامنه‌های با شیب بیش از ۴۰ درصد است؛ بنابراین در مدل FAHP از طریق انتخاب تابع مناسب، حساسیت این بخش از حوضه کاهش داده شده است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به این که استفاده از مجموعه‌های فازی محدودیت روش‌های کمی را برطرف کرده، در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی نواحی حساس به فرسایش از مدل FAHP استفاده شده است. با توجه به نقش نهایی برآورد نواحی حساس به فرسایش، نواحی با حساسیت بالا عمدتاً منطبق بر زیر حوضه‌های دهبکر، بنگوین، قزلجه، مرانه، میرسه و سیاهقل است. بررسی نقشه‌های عوامل مؤثر در فرسایش نشان می‌دهد که این نواحی دارای شیب تند هستند، زمان تمرکز کمتر از یک ساعت و نیم دارند. مرتفع‌ترین بخش‌های حوضه در این شش زیر حوضه واقع شده است و بیش از ۵۰۰ میلی‌متر باران دریافت می‌نمایند. انجام عملیات میدانی و مشاهده فرسایش خندقی و شیاری و همچنین حرکات توده‌ای خاک بر روی تراس‌های آبرفتی در امتداد در بیطاس و سیاهقل، صحت نقش تهیه شده به روش FAHP را تأیید می‌نماید. از طرف دیگر با توجه به اینکه در علم ژئومورفولوژی از عوامل غیردقیق و مبهم جهت پهنه‌بندی فرسایش استفاده می‌شود و تئوری فازی نیز اساساً به منظور اقدام در شرایط ابهام ارائه گردیده است و در آن به‌جای اختصاص یک عدد قطعی، از مجموعه احتمالات برای بیان وزن دهی به عوامل استفاده می‌گردد، به نظر می‌رسد که نتایج استفاده از مدل FAHP به واقعیت نزدیک باشد.



## منابع

- ۱- جباری، ایرج و داود طالب پور (۱۳۸۹): رسوب‌گذاری و کاهش عمر مفید سد مهاباد و نشانه‌هایی از تغییرات در سامانه‌های محیطی بالادست آن. فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۶، ص ۱۳.
- ۲- حبیبی، مهدی (۱۳۸۱): رسوب‌گذاری در مخازن سدها. مجله آبخیز، ص ۸ و ۹.
- ۳- حسینی، هاشم، امیر کرم، امیر صفاری، عزت‌الله قنوتی و ابراهیم بهشت جاوید (۱۳۹۰): ارزیابی و مکان‌یابی جهات توسعه فیزیکی شهر با استفاده از مدل منطق فازی مطالعه موردی: شهر دیواندره، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۲۰، شماره ۲۳، ص ۷۱.
- ۴- خاشعی سیوکی، عباس، بیژن قهرمان و مهدی کوچک زاده (۱۳۹۰): ارزیابی پتانسیل استحصال آب از آبخوان از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: دشت نیشابور). مجله پژوهش آب ایران، شماره ۹، صص ۱۸۰-۱۷۱.
- ۵- دفتر بهره‌برداری از سدها و شبکه‌ی آبیاری (۱۳۷۶): رسوب سنجی و رسوب‌شناسی مخزن سد مهاباد. گزارش مرکز تحقیقات منابع آب (تماب)، ص ۲۶.
- ۶- رفیعی، محبوبه، مجتبی رحیمی، ناصر حافظی مقدس و غلامحسین کرمی (۱۳۹۰): پهنه بندی خطر فرسایش در شمال غرب سرخس با استفاده از GIS و روش تحلیل سلسله مراتبی. پنزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت‌معلم، تهران.
- ۷- شمس‌پور، علی‌اکبر و محمد شیخی (۱۳۸۹): پهنه بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس، با روش طبقه بندی فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، صص ۶۸-۵۳.
- ۸- طالب پور اصل، داود و سعید خضری (۱۳۸۹): بررسی رابطه کاربری اراضی و شیب با تولید رسوب در زیر حوضه‌های جنوبی رودخانه مهاباد. نشریه مرتع و آبخیزداری، دوره ۶۳، شماره ۳، ص ۳۴۲.
- ۹- قنوتی، عزت‌الله... (۱۳۹۰): پهنه بندی خطر لغزش در حوضه جاجرود با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۱۷، شماره ۲۰، صص ۶۸-۵۱.
- ۱۰- کرم، امیر، آمنه صفریان و شیلا حجه فروش نیا (۱۳۸۹): برآورد و پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه ماملو (شرق تهران) با استفاده از روش‌های معادله اصلاح‌شده جهانی فرسایش خاک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. مجله پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲، ص ۸۶.
- ۱۱- لطفی، صدیقه، احمد حسین زاده، امین فرجی ملائی و میثم احمدی فیروز جایی (۱۳۹۱): بررسی توزیع فضایی و مکان‌یابی پارک‌های شهری بابلسر با استفاده از منطق فازی و مدل تحلیل سلسله مراتبی (FAHP). نشریه محیط‌شناسی، شماره ۳، صص ۱۵۴-۱۴۷.
- ۱۲- محمودی، فرج‌الله...؛ (۱۳۶۷): تحول ناهمواری‌های ایران در کواترنر. نشریه تحقیقات جغرافیایی، انتشارات دانشگاه تهران، شماره ۲۳.
- ۱۳- یمانی، مجتبی، ابوالقاسم دادرسی و زهرا داور زنی (۱۳۸۴): پهنه بندی فرسایش در حوضه آبخیز داور زن با استفاده از الگوهای منطق فازی. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۵، صص ۲۰۰-۱۸۵.

14- Aher, P. D., Adinarayana, J., Gorantiwar, S. D., (2013): Prioritization of Watersheds Using Multi-Criteria Evaluation Through Fuzzy Analytical Hierarchy Process, Journal of Agric Eng Int: CIGR, Vol. 15, No.1, PP. 11-18.

15- Bathrellos, G. and Skilodimou, H., (2007): Using The Analytic Hierarchy Process to Create an Erosion Risk Map. A Case Study in Malakasiotiko Stream, Trikala Prefecture, Bulletin of The Geological Society of Greece, Proceedings of the 11<sup>th</sup> International Congress, Athens.

16- Carter, B., Graeme, F., (1994): Geographic Information Systems for Geoscientists, Modeling With GIS, Chapter 9, Fuzzy Logic Section With Related Tables and Figures.

- 17- Kainz, W., (2008): GIS For Hazard Analysis Using Vague Data, Chapter 1: Fuzzy Logic and GIS, Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Austria, pp.5.
- 18- Peteri, M., and Tapio, F., (2000): Fuzzy Classifier for Star-Galaxy Separation, The American Astronomical Society, 541, pp. 261-263.
- 19- Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., (2012): Application of Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) to Landslide Susceptibility Mapping at Haraz Watershed, Iran, Nat Hazards, Vol. 63, pp. 965-996.
- 20- Saaty, T., (1977): A Scaling Method For Priorities in Hierarchic Structures, Journal of Mathematical Psychology, Vol. 15, pp. 234-281.
- 21- Sharifikia, M., (2009): Landslide Susceptibility Evaluation and Factor Effect Analysis Using Probabilistic - Frequency Ratio Model, European Journal of Scientific Research Vol.33, No. 4, pp. 654-668.
- 22- Shirzadi, A., Saro, L., Joo, O., Chapi, K., (2012): A GIS-Based Logistic Model in Rock-Fall Susceptibility Mapping Along a Mountainous Road: Salavat Abad Case Study, Kurdistan, Iran, Journal of Nat Hazards, Vol. 64, pp. 1639-1656.
- 23- Wu, Q., & Mingy u, W., (2007): A Framework For Risk Assessment on Soil Erosion by Water Using an Integrated and Systematic Approach, Journal of Hydrology, Vol. 337, pp. 11-21.
- 24- Zadeh Lotfi, A., (1975): In Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes, ed. L. Zadeh, K. S. Fu, K. Tanaka, & M. Shimura (London: Academic) WGA.
- 25- Zarekar, A., Vahidi, H., Kazemi Zamani, B., Ghorbani, S., & Jafari, H., (2012): Forest fire Hazard Mapping Using Fuzzy AHP and GIS. Study Area: Gilan Province of IRAN, Journal of "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), VOL. 4, pp. 47-55.