



پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

نعمت اله نسرین نژاد^{۱*}، کاظم رنگزن^۲، نصراله کلانتری^۳، عظیم صابری^۴

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲. دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. استاد گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید چمران اهواز
۴. مربی گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید چمران اهواز

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:

دریافت: ۲۸ بهمن ۱۳۹۲

پذیرش: ۱ خرداد ۱۳۹۳

دسترسی اینترنتی: ۱۸ دی ۱۳۹۳

واژه‌های کلیدی:

سیل خیزی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

سیستم اطلاعات جغرافیایی

باغان

چکیده

هدف از این تحقیق پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان به روش سلسله مراتبی فازی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) می‌باشد. پس از شناسایی عوامل مؤثر در سیل خیزی (شیب، مدل رقومی ارتفاع، لندفرم، سنگ شناسی، نفوذپذیری، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، بارش، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از آبراهه)، وزن هر کدام از معیارها و زیر معیارها با استفاده از مقایسات زوجی و نظرات کارشناسان، از روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی محاسبه گردید. سپس با استفاده از عملگر گامای فازی، پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز، پهنه بندی و در نهایت حوزه آبریز بر اساس ریسک سیل خیزی در پنج کلاس طبقه‌بندی گردید. نتایج حاصل از پهنه‌بندی ریسک سیل خیزی نشان داد که کلاس‌های یک، دو و سه، بیشتر در نواحی کوهستانی واقع هستند و حدود ۲۲ درصد (203 km^2) از منطقه را شامل می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که، حدود ۲۲ درصد از محدوده حوزه آبریز مورد مطالعه را پهنه‌های سیل خیز خطرپذیر زیاد تا خیلی زیاد در بر گرفته است و به دلیل اینکه بیشترین نقش را در تولید رواناب دارند، عملیات‌های آبخیزداری در این مناطق در اولویت هستند. کلاس‌های چهار و پنج به نسبت کلاس‌های یک، دو و سه، پتانسیل سیل خیزی کمتری دارند و بیشتر در دامنه‌ها و دشت‌ها قرار گرفته‌اند و حدود ۷۸ درصد از منطقه (706 km^2) را پوشش می‌دهند.

*پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: nemat.nasrinnejad@gmail.com

مقدمه

مخاطرات محیطی همه‌ساله خسارت‌های بسیار فراوانی را در سراسر جهان و ایران به بار می‌آورد که زلزله، طوفان، خشکسالی، آتش‌سوزی و سیل از جمله‌ی آن‌ها هستند. سیل بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بحران اقلیمی است که همه‌ساله جان هزاران نفر را می‌گیرد و خسارات فراوانی به جامعه انسانی و محیط‌زیست وارد می‌سازد. این پدیده از گذشته‌های بسیار دور همواره موجب ترس و وحشت در جوامع انسانی شده است. شواهد نشان می‌دهد که خسارات ناشی از سیل بیشتر از سایر سوانح طبیعی است (۷). سیل پاکستان در سال ۲۰۱۰ یکی از بزرگ‌ترین سیل‌های دهه‌ای اخیر بود که در پی باران‌های موسمی شدید و بالا آمدن سطح آب رود سند، ایالت‌های سند، پنجاب و بلوچستان کشور پاکستان را در بر گرفت و بیش از ۲۰۰۰ نفر در این سیل جان خود را از دست دادند و بیش از یک میلیون خانه نیز ویران شد (۹). در ایران نیز به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص از جمله اقلیم خشک و نیمه‌خشک، رگبار شدید، وجود کوهستان‌های متعدد با شیب تند و اراضی غیرقابل نفوذ، شرایط برای سیلاب کاملاً فراهم شده است. بیشتر مناطق ایران با قرارگیری مرکز پرفشار جنب حاره‌ای در ماه‌های متوالی از ریزش‌های جوی محروم و در ماه‌های دیگر سال، ممکن است میزان قابل‌توجهی باران در مدت چند روز یا گاهی چند ساعت ریزش کرده و سیلاب‌های مخربی را به وجود آورد (۱۱).

امروزه استفاده از علوم جدید به ویژه تکنیک سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به برنامه‌ریزان کمک می‌نماید تا ارزیابی سریعی از پتانسیل خطرات طبیعی از جمله سیل را در حداقل زمان داشته باشند و لذا تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گستره سیل، پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر و برآورد خسارات وارده در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲). اسماعیل و همکاران (۱۹) به بررسی تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور تولید نقشه آسیب‌پذیری سیل در بخشی از رودخانه کادانا پرداختند. بخش میانی رودخانه ناحیه وسیعی را پوشش می‌دهد و از میان کلانشهر کادانا عبور می‌کند و در صورت بروز سیل آسیب‌های

بسیاری به مناطق اطراف وارد می‌شود. آن‌ها در این مطالعه با استفاده از تصاویر هوایی و مدل رقومی ارتفاع (DEM) و نرم‌افزار ArcGIS[®] 9.3 نواحی مستعد سیل را شناسایی کردند و مدل جریان تجمعی را به کمک مدل رقومی ارتفاع به طبقات ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک پایین طبقه‌بندی کردند و به این نتیجه رسیدند که نقشه سیل می‌تواند در اطلاع‌رسانی عمومی، برنامه‌ریزی رویارویی با بلایای طبیعی و مدیریت خطر سیلاب به طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. بختیاری کیا و همکاران (۱۵)، با روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و با در نظر گرفتن معیارهای بارش، ارتفاع، زمان تمرکز، خاک‌شناسی، کاربری اراضی و زمین‌شناسی به شبیه‌سازی شرایط سیلابی در حوزه رودخانه جوهور مالزی اقدام کردند. آن‌ها برای سنجش عملکرد مدل، از چهار معیار ضریب اطمینان، خطای مربع مجموع، خطای مجذور میانگین و خطای ریشه دوم میانگین استفاده کردند. نتایج بررسی نشان داد که همبستگی میان مقدار پیش‌بینی‌شده و گزارش‌های هیدرولوژیکی وجود دارد. کین و همکاران (۲۴) در بزرگراه‌های منطقه فیولینگ چین با توجه به معیارهای زمین‌شناسی، شدت بارش، فراوانی سیلاب، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی، به پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) پرداختند. میر و همکاران (۲۲) در تحقیقی با استفاده رویکرد چندمعیاره به تهیه نقشه ریسک سیل خیزی برای رودخانه مولد در آلمان اقدام کردند. در این مطالعه از دو قانون تصمیم‌گیری چندمعیاره مختلف و یک رویکرد اضافه وزن‌دار، برای ارزیابی خطر سیل در منطقه استفاده شده است. کی و همکاران (۲۵) در مطالعه به محاسبه وسعت و اندازه سیلاب اطراف دریاچه پویانگ در چین، اقدام و منطقه مورد مطالعه را مدلسازی کردند. این مدلسازی نشان داد که منحنی‌های ۳۰ متری که بر اساس مدل رقومی ارتفاعی منطقه تولید شده‌اند، بهتر از نتایج به دست آمده از منحنی‌های به دست آمده از تصاویر رادار است. ثروتی و همکاران (۴)، در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز سراب دره شهر برای برآورد رواناب از روش شماره منحنی (CN) سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) استفاده کردند و بر اساس چارک اول، میانه و سوم مقادیر ارتفاع رواناب، حوزه مورد مطالعه را به

پس از تجزیه و تحلیل داده‌های ۲۸ متغیر زیرحوزه‌ها، متغیرها را در قالب پنج عامل (شکل، آبراهه، شیب، زهکشی و رواناب) خلاصه‌سازی کردند و در نهایت بر اساس امتیاز عاملی، منطقه مورد مطالعه به پنج دسته سیل خیلی زیاد، نسبتاً زیاد، متوسط، نسبتاً کم و کم تقسیم گردید و نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی زیرحوزه‌ها در محیط GIS ترسیم گردید.

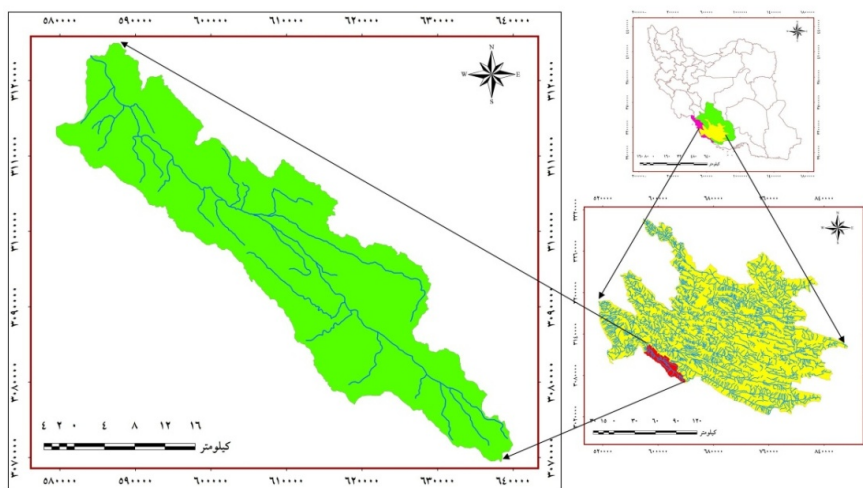
هدف از این تحقیق، پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز باغان به مساحت ۹۰۹۱۹ هکتار در استان بوشهر واقع شده است. این حوزه یکی از زیرحوزه‌های آبریز مند است که در محدوده طول شرقی $51^{\circ} 48' 31''$ تا $28^{\circ} 25' 14''$ و عرض شمالی $27^{\circ} 44' 28''$ تا $28^{\circ} 14' 55''$ واقع گردیده است (شکل ۱). بیشترین ارتفاع منطقه $1412/7$ متر و کمترین ارتفاع آن معادل $52/3$ متر از سطح دریا است. این حوزه، از سه محدوده مطالعاتی با نام‌های: باغان، ریز و جم تشکیل شده است (۱۲).

چهار طبقه از لحاظ پتانسیل سیل خیزی تقسیم کردند که بر اساس آن $9/1$ کیلومترمربع دارای پتانسیل سیل خیزی بسیار بالا، $7/8$ کیلومترمربع با پتانسیل بالا، 13 کیلومترمربع با پتانسیل متوسط و $6/6$ کیلومترمربع نیز دارای پتانسیل سیل خیزی کم می‌باشد. لاجوردی و همکاران (۱۰) به پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز مردق چای (آذربایجان شرقی) اقدام کردند. آن‌ها در این پژوهش به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل و عناصر مؤثر در سیل خیزی، به پهنه‌بندی مناطق بر اساس شدت پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز پرداخته‌اند. در این تحقیق با استفاده از مدل وزنی و با تلفیق نقشه‌های بارندگی، خاک، شیب، کاربری در محیط GIS، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی سالانه حوزه، با دوره‌های بازگشت مختلف تهیه گردید. ملکیان و همکاران (۱۱)، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی به پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز اخترآباد اقدام کردند. آن‌ها نخست عوامل مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی را شناسایی و وزن هر کدام از معیارها را با استفاده از نظر کارشناسان، از طریق فرآیند سلسله مراتبی فازی محاسبه کردند. سپس برای طبقه‌بندی پتانسیل سیل خیزی منطقه، نقشه نهایی به دست آمده از منطقه را در هفت کلاس طبقه‌بندی کردند که مناطق پرخطر را کلاس اول و مناطق کم خطر را کلاس هفتم تشکیل می‌دادند. امیدوار و همکاران (۱)، با بکارگیری روش‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، به پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در حوزه آبخیز کنجانچم اقدام کردند. آن‌ها

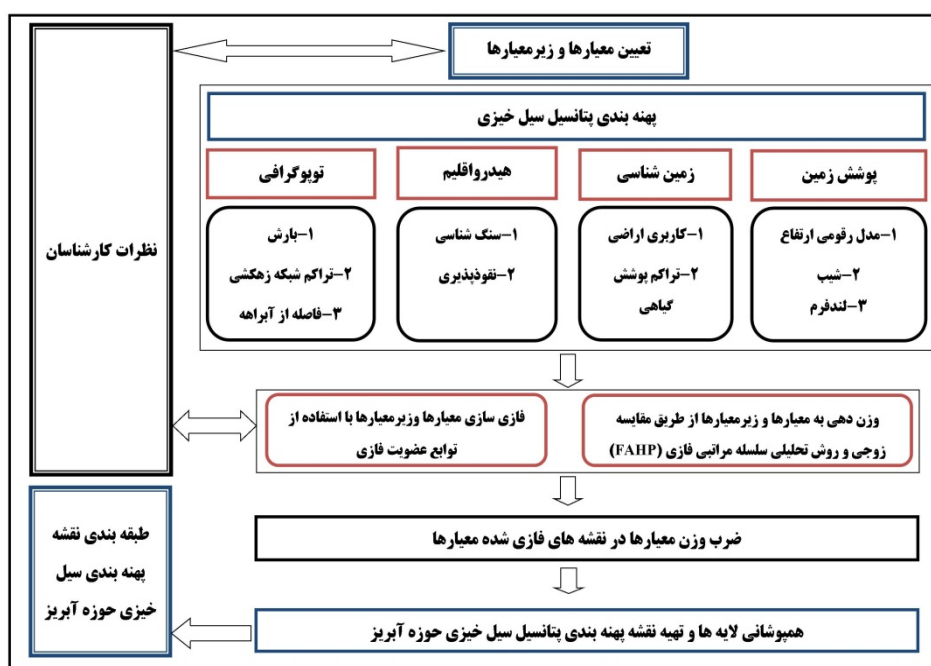


شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

و زیرمعیارها مشخص گردید. پس از فازی سازی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از توابع عضویت فازی در محیط نرم افزار ArcGIS[®] 10.1، وزن هر کدام از معیارها در نقشه فازی شده آن ضرب شد. در نهایت برای مدل سازی فضایی و پهنه بندی از عملگرهای فازی جهت همپوشانی لایه ها و معیارها استفاده شد. مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.

در این تحقیق ابتدا عوامل مؤثر در پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی از طریق مطالعات کتابخانه ای و با نظر کارشناسان شناسایی شدند (۱۱). پس از شناسایی معیارها و زیرمعیارها، داده های مورد نیاز از منابع مختلف جمع آوری شدند. سپس از طریق مقایسه زوجی و نظرات کارشناسان، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، وزن هر کدام از معیارها



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

در منطقه می باشد. برای اینکه نتایج مدل سیل خیزی نشان دهند که مدل رقمی ارتفاعی منطقه می تواند نواحی مستعد سیل خیزی را تعریف کند، باید دقت مناسبی داشته باشد (۲۳). با افزایش ارتفاع مقدار بارندگی نیز افزایش می یابد و با افزایش بارندگی در منطقه رواناب حاصل از آن نیز شدت می گیرد. مدل رقمی ارتفاعی منطقه با درون یابی منحنی میزان های نقشه های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ تولید شد.

شیب نسبت فاصله قائم (با اختلاف ارتفاع) دو نقطه به فاصله افقی میان همان دو نقطه تعریف می شود. این بدان معنی است که نیروی جاذبه زمین در به حرکت درآوردن رواناب تأثیر داشته و آن را تشدید می کند. بنابراین فاکتور شیب در هیدرولوژی بسیار مهم و تأثیرگذار است (۱۸). شیب حوزه به

فاکتورهای مورد استفاده در پهنه بندی سیل خیزی

توپوگرافی به عنوان یکی از فاکتورهای تشدیدکننده، نقش مهمی را در تشدید سیل ایفا می کند و برای تشخیص نواحی مستعد سیل بسیار تعیین کننده می باشد. از یک طرف فاکتورهای توپوگرافی تأثیر مستقیم بر اندازه جریان و شدت رواناب دارد، از طرف دیگر نواحی مستعد سیل رودخانه اساساً ارتفاع کمتر و نیز شیب توپوگرافی ناچیزی دارند (۱۵). بدین منظور از دو فاکتور مدل رقمی ارتفاع و شیب منطقه استفاده شده است. نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که توسط سازمان نقشه برداری کشور تولید شده، به دست آمد.

مدل رقمی ارتفاعی (DEM) یک منبع عالی برای بدست آوردن فاکتورهای توپوگرافی مؤثر در فعالیت سیل ها

فاصله گرفتن از آبراهه‌ها، خطر ایجاد سیلاب و سیل خیزی کاهش می‌یابد (۱۱). بنابراین نقشه فاصله از آبراهه‌ها از طریق فاصله گذاری بر روی آبراهه‌های نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ که از سازمان نقشه برداری کشور تهیه شده، به دست آمد.

زمین‌شناسی حوزه آبریز مورد مطالعه از نظر سازندهای زمین‌شناسی، از سازندهای مختلفی تشکیل یافته است. واحدهای اصلی زمین‌شناسی حوزه آبریز باغان شامل: سازند آسماری، سازند پابده-گورپی، گچساران، میشان، سازند بختیاری، پادگانه‌های آبرفتی جوان، گروه خامی و گروه بنگستان می‌باشد. برای شناخت وضعیت زمین‌شناسی منطقه، نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه به صورت رقومی درآمدند.

سنگ‌شناسی یکی از عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب، مقاومت سازندهای تشکیل دهنده سطح حوزه آبریز در مقابل فرسایش می‌باشد. بدین منظور می‌توان گفت که هر سازند از خود مقاومتی متفاوت را در مقابل فرسایش نشان می‌دهد. مقاومت سازندها به نحوه تبلور، نوع کانی‌های سازنده، میزان خلل و فرج سازندها بستگی دارد (۱۱). سازندهای حوزه آبریز مورد مطالعه از نظر مقاومت در مقابل فرسایش به هشت طبقه تقسیم شد (جدول ۱).

جدول ۱. ویژگی سازندهای زمین‌شناسی از نظر مقاومت در مقابل فرسایش

مقاومت	سازند زمین‌شناسی	مساحت (هکتار)
خیلی زیاد	سازند آسماری- جهرم (EOas-ja)	۱۲۹۳۵
	گروه بنگستان (Kbgs)	۱۹۴۶۰
	گروه خامی (JKkgs)	۲۴۴
	سازند میشان (MLmms)	۷۸۳۹
	سازند گورپی- پابده (KEpd-gu)	۵۸۸۳
	سازند بختیاری (PLbk)	۱۲۷۷۸
	پادگانه‌های آبرفتی (Qft2)	۲۳۲۸۱
خیلی کم	سازند گچساران (MLgs)	۸۲۵۰

کارشناسان، سازندهای مختلف حوزه براساس نفوذپذیری به هشت طبقه مختلف قرار گرفت (جدول ۲).

دلیل رابطه مستقیم و پیچیده‌ای که با مقدار نفوذپذیری و جریان سطحی و همچنین با رطوبت خاک دارد، نقش بسیار زیادی در ایجاد جریان‌های شدید و سیلابی در حوزه‌های آبریز ایفا می‌کند (۱۳). نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS® 10.1 تهیه گردید.

لندفرم حوزه آبریز مورد مطالعه از پنج تیپ اراضی کوهستانی، تیپ اراضی تپه ماهوری، تیپ اراضی فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، تیپ اراضی دشت‌های دامنه‌ای و تیپ واریزه‌های بادبزی شکل سنگریزه‌دار تشکیل شده است. برای تهیه نقشه لندفرم‌های منطقه از نقشه تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد.

بارش جهت مطالعه بارش حوزه آبریز از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، باران سنجی و کلیماتولوژی که از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای بوشهر به دست آمده و جمعاً ۱۵ ایستگاه می‌باشند، استفاده شد. این ایستگاه‌ها هم در محدوده مطالعاتی قرار دارند و هم ایستگاه‌های بیرون از محدوده مطالعاتی را شامل می‌شوند. برای به دست آوردن نقشه بارش منطقه، میانگین بارش سالانه این ایستگاه‌ها با استفاده از روش کریجینگ در نرم‌افزار ArcGIS® 10.1 درون‌یابی شد.

تراکم شبکه زهکشی اگر مجموع طول تمام رودخانه‌ها و آبراهه‌های حوزه اندازه‌گیری و بر مساحت حوزه تقسیم شود، عدد به دست آمده که معمولاً بر حسب کیلومتر در هر کیلومتر مربع تعریف می‌شود، تراکم شبکه زهکشی نامیده می‌شود (۶).

$$\mu = \frac{\sum Li}{A} \quad [1]$$

در این رابطه Li ، طول آبراهه‌ها (دائمی و موقتی) به کیلومتر، A مساحت حوزه بر حسب کیلومتر مربع و μ تراکم شبکه زهکشی بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع است. شبکه زهکشی حوزه آبریز، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، تهیه شده توسط سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید.

فاصله از آبراهه آبراهه‌های موجود در حوزه آبریز، به طور کلی عمل تخلیه جریان‌های سطحی را انجام می‌دهند و با **نفوذپذیری** با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی سازندها، وضعیت تکتونیک و زمین ساخت و با استفاده از نظر

نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) استخراج گردید. برای محاسبه NDVI از رابطه ۲ استفاده شد.

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad [2]$$

در این رابطه IR باند مادون قرمز نزدیک (باند شماره ۵)، R باند قرمز (باند شماره ۴) و NDVI شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی می‌باشد.

روش سلسله مراتبی فازی (FAHP)

روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از پرکاربردترین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که توسط ساعتی (۱۹۸۰) معرفی شد (۸ و ۲۶). با وجود مزایای بسیار زیاد، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) دارای کمبودهایی است (۱۶ و ۱۷). تصمیم‌گیرندگان اغلب به علت طبیعت فازی مقایسه‌های زوجی قادر نیستند به صراحت نظرشان را در مورد برتری‌ها و اهمیت معیارها بیان کنند، به همین دلیل در قضاوت‌هایشان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند (۵). بدین ترتیب جهت مدلسازی این نوع از عدم اطمینان‌ها، تئوری مجموعه‌های فازی که اولین بار توسط لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ مطرح شده بود، با مقایسات زوجی در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ترکیب شد و بدین ترتیب درک دقیق تری از فرآیند تصمیم‌گیری ارائه شد و نتایج بهتری به دست آمد (۱۴). بنابراین به منظور استفاده از مزایای هر دو تکنیک فازی و AHP، ونیز غلبه بر نقاط ضعف آن‌ها، ون لارهوون و پدریکز (۲۰) اولین بار اصول منطق فازی را در تحلیل سلسله مراتبی بکار بردند. این روش دامنه‌ای از مقادیر را برای بیان عدم قطعیت تصمیم‌گیرندگان، به کار می‌گیرد (۲۱).

چانگ (۱۹۹۶) روش فازی-تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) را ارائه کرد. خلاصه این روش شامل؛ مرحله ۱) رسم نمودار سلسله مراتبی، مرحله ۲) تعریف اعداد فازی به منظور انجام مقایسه‌های زوجی و برای انجام مقایسه‌ها نیاز به تعریف اعداد فازی و مقیاس‌های فازی است (جدول ۳).

جدول ۲. ویژگی سازندهای زمین‌شناسی از نظر نفوذپذیری

نفوذپذیری	سازند زمین‌شناسی	مساحت (هکتار)
خیلی زیاد	سازند بختیاری (PLbk)	۱۲۷۷۸
	سازند آسماری- جهرم (EOas-ja)	۱۲۹۳۵
	پادگانه‌های آبرفتی (Qf2)	۲۳۲۸۱
	سازند گچساران (MLgs)	۸۲۵۰
	گروه بنگستان (Kbgs)	۱۹۴۶۰
	گروه خامی (JKkgs)	۲۴۴
	سازند میشان (MLmms)	۷۸۳۹
خیلی کم	سازند گورپی- پابده (KEpd-gu)	۵۸۸۳

پوشش زمین کاربری و نوع پوشش زمین نیز یک فاکتور کلیدی وقوع سیل می‌باشد (۱۵). در این بخش دو معیار کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مورد بررسی قرار گرفته است.

کاربری اراضی بارش‌های زمین‌های لم‌یزرع و بدون پوشش گیاهی در مقایسه با نواحی جنگلی، به سرعت بر روی سطح زمین جاری می‌شوند. در نتیجه برخی نواحی کاربری اراضی (برای مثال درصد بالایی از کاربری‌های شهری) در مقایسه با نواحی مشابه که به وسیله جنگل و چمن پوشیده شده‌اند رواناب شدیدتری جاری می‌شود (۱۵). کاربری‌های محدوده مورد مطالعه شامل پنج کاربری: پوشش گیاهی ضعیف، جنگل بسیار ضعیف، جنگل ضعیف، درختزار و مخلوط (کشاورزی و مسکونی) می‌شود.

شاخص پوشش گیاهی (NDVI) وقوع سیل رابطه معکوسی با تراکم پوشش گیاهی دارد. بدین معنی که با افزایش پوشش گیاهی شدت رواناب کاهش یافته و با کاهش پوشش گیاهی رواناب منطقه افزایش می‌یابد. در نواحی که تراکم پوشش گیاهی بالاست و یا مناطق جنگلی، آب حاصل از بارش زمان کافی برای نفوذ دارد ولی در مناطق فاقد پوشش گیاهی آب حاصل از بارش، بلافاصله بر روی زمین جاری شده و رواناب شکل می‌گیرد. بنابراین شاخص پوشش گیاهی یک فاکتور مهم در سیل‌خیزی حوزه آبریز می‌باشد. بدین منظور از روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده OLI) به تاریخ دسامبر ۲۰۱۳، پس از انجام پیش‌پردازش، شاخص تفاضل

جدول ۳. متغیرهای زبانی و فازی و مقیاس‌های آن جهت اولویت‌بندی معیارها

عدد قطعی	تعریف	مقیاس فازی مثلثی
۱	دقیقاً مساوی	(۱, ۱, ۱)
۲	اهمیت یکسان	(۳/۲, ۱, ۱/۲)
۳	اهمیت ضعیف	(۲, ۳/۲, ۱)
۴	اهمیت قوی	(۵/۲, ۲, ۳/۲)
۵	اهمیت خیلی قوی	(۳, ۵/۲, ۲)
۶	اهمیت مطلق	(۷/۲, ۳, ۵/۲)

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} \quad [4]$$

در این رابطه \bar{A} بیانگر شماره سطر و زیان‌کننده شماره ستون و M_{gi}^j اعداد فازی مثلثی ماتریس‌های مقایسه زوجی است.

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{j=1}^m l_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m u_j) \quad [5]$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j = (\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i) \quad [6]$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad [7]$$

در این روابط l_i و m_i و u_i به ترتیب مؤلفه‌های اول تا سوم اعداد فازی است.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) = \left(\frac{\sum_{j=1}^m l_j}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{\sum_{j=1}^m m_j}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{\sum_{j=1}^m u_j}{\sum_{i=1}^n l_i} \right) \quad [8]$$

دست می‌آید:

$$V(S_i \geq S_j) = hgt(S_i \cap S_j) = \mu_{S_i}(d) = \begin{cases} 1 & \text{if } m_i \geq m_j \\ 0 & \text{if } l_j \geq u_i \\ \frac{l_j - u_i}{(m_i - u_i) - (m_j - u_j)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad [9]$$

بزرگی یک عدد فازی مثلثی با سایر اعداد فازی مثلثی محاسبه شود و در نهایت حداقل میزان بزرگی، نشان‌دهنده وزن نرمال

مرحله ۳) تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با به‌کارگیری اعداد فازی، ماتریس مقایسه زوجی (\bar{A}) حاوی اعداد فازی تعریف شده می‌باشد و به صورت زیر خواهد بود:

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} 1 & \bar{a}_{12} & \dots & \bar{a}_{1n} \\ \bar{a}_{21} & 1 & \dots & \bar{a}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \bar{a}_{n1} & \bar{a}_{n2} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad [3]$$

اگر کمیته تصمیم‌گیرنده دارای چندین تصمیم‌گیرنده باشد، درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی جامع که در روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی بکار می‌رود، یک عدد فازی مثلثی است که مؤلفه اول آن حداقل نظرسنجی‌ها، مؤلفه دوم آن میانگین نظرسنجی‌ها و مؤلفه سوم آن حداکثر نظرسنجی‌ها می‌باشد. مرحله ۴) محاسبه S_i برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه زوجی، S_i که خود یک عدد فازی مثلثی است از رابطه ۴ به دست می‌آید:

مرحله ۵) محاسبه درجه بزرگی S_i ها نسبت به همدیگر، به طور کلی درجه بزرگی S_i نسبت به S_j از معادله زیر به

مرحله ۶) محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی، برای محاسبه وزن نرمال نشده معیار باید میزان

نشده معیار است. بدین منظور از رابطه ۱۰ استفاده می شود
 کردن بردار وزن معیارها بر اساس رابطه ۱۱ به دست می آید.
 مرحله ۷) محاسبه بردار وزن نهایی، بردار وزن نهایی از نرمال

$$d'(A_i) = \text{Min } V(S_i \geq S_k) \quad k = 1, 2, \dots, n, \quad k \neq i \quad [10]$$

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^t \quad [11]$$

جدول ۴. میزان عضویت فازی معیارهای لندفرم، سنگ شناسی، نفوذپذیری و کاربری اراضی

میزان عضویت فازی	مساحت	عارضه (سازند، کاربری)	زیرمعیار	معیار
۰/۹	۵۰۲۷۱	کوهستان		
۰/۷	۱۴۶۸۸	تپه ماهور		
۰/۵	۸۵۶۸	واریزه های بادبزنی	لندفرم	توپوگرافی
۰/۳	۶۳۴۹	فلات ها و تراس های فوقانی		
۰/۱	۱۰۷۸۹	دشت		
۰/۷۵	۱۲۹۳۵	سازند آسماری - جهرم (EOas-ja)		
۰/۷	۱۹۴۶۰	گروه بنگستان (Kbgb)		
۰/۶۵	۲۴۴	گروه خامی (JKkgb)		
۰/۶	۷۸۳۹	سازند میشان (MLmmi)	مقاومت	
۰/۵۵	۵۸۸۳	سازند گورپی - پابده (KEpd-gu)	(سنگ شناسی)	
۰/۵	۱۲۷۷۸	سازند بختیاری (PLbk)		
۰/۴۵	۲۳۲۸۱	پادگانه های آبرفتی (Qft2)		
۰/۴	۸۲۵۰	سازند گچساران (MLgs)		
۰/۴	۱۲۷۷۸	سازند بختیاری (PLbk)		زمین شناسی
۰/۴۵	۱۲۹۳۵	سازند آسماری - جهرم (EOas-ja)		
۰/۵	۲۳۲۸۱	پادگانه های آبرفتی (Qft2)		
۰/۵۵	۸۲۵۰	سازند گچساران (MLgs)		
۰/۶	۱۹۴۶۰	گروه بنگستان (Kbgb)	نفوذپذیری	
۰/۶۵	۲۴۴	گروه خامی (JKkgb)		
۰/۷	۷۸۳۹	سازند میشان (MLmmi)		
۰/۷۵	۵۸۸۳	سازند گورپی - پابده (KEpd-gu)		
۰/۷	۵۰۶۵۲	پوشش گیاهی ضعیف		
۰/۶	۲۵۰۶۰	جنگل بسیار ضعیف		
۰/۵	۴۳۱۸	جنگل ضعیف	کاربری اراضی	پوشش زمین
۰/۴	۳۸۶۵	درختزار		
۰/۳	۷۲۵۵	مخلوط (کشاورزی - مسکونی)		

نتایج و بحث

استانداردسازی لایه ها

توابع عضویت فازی و با در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به این توابع، لایه های مؤثر در سیل خیزی استانداردسازی شدند. بدین ترتیب میزان عضویت فازی برای عوامل لندفرم، سنگ شناسی، نفوذپذیری و کاربری اراضی، به صورت گسسته

به منظور استانداردسازی لایه های موجود از نظرات کارشناسی و منابع موجود استفاده گردید. بنابراین با استفاده از

تعیین وزن معیارها از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

فازی (FAHP)

مقایسات زوجی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از نظر کارشناسان جمع‌آوری شدند. این مقایسات زوجی که با متغیرهای زبانی توصیف شده‌اند و با اعداد فازی مثلثی بیان می‌شوند، به عنوان ورودی مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی عمل می‌کنند. بر اساس این روش وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها بر اساس جدول‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ تعیین گردید.

و با توجه به نظر کارشناسان تعیین شد (جدول ۴).

برای عوامل شیب، مدل رقومی ارتفاعی، بارش و تراکم شبکه زهکشی، با توجه به اثرگذاری مستقیم این عوامل در سیل‌خیزی و ایجاد رواناب، از تابع فازی بزرگ که پیوسته نیز می‌باشد، استفاده شد. برای عوامل NDVI و فاصله از آبراهه، با توجه به اثرگذاری معکوس آن‌ها در ایجاد سیل‌خیزی و رواناب، از تابع فازی کوچک، استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵. توابع عضویت معیارها و زیرمعیارها

معیار	زیرمعیار	تابع عضویت مورد استفاده
	شیب	پیوسته، Large
توپوگرافی	مدل رقومی زمین (DEM)	پیوسته، Large
	لندفرم	گسسته (جدول ۶-۳)
زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی	گسسته (جدول ۶-۳)
	نفوذپذیری	گسسته (جدول ۶-۳)
پوشش زمین	کاربری اراضی	گسسته (جدول ۶-۳)
	تراکم پوشش گیاهی (شاخص NDVI)	پیوسته، Small
هیدرواقليم	بارش	پیوسته، Large
	تراکم شبکه زهکشی	پیوسته، Large
	فاصله از آبراهه	پیوسته، Small

جدول ۶. معیارها و وزن محاسبه شده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

معیارها	توپوگرافی	هیدرواقليم	زمین‌شناسی	پوشش زمین	وزن نهایی
توپوگرافی	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	(۲, ۳/۲, ۱)	(۲, ۳/۲, ۱)	۰/۲۶۹۵
هیدرواقليم	(۲, ۳/۲, ۱)	(۱, ۱, ۱)	(۳/۲, ۱, ۱/۲)	(۲, ۳/۲, ۱)	۰/۳۴۱۵
زمین‌شناسی	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	(۲, ۱, ۲/۳)	(۱, ۱, ۱)	(۳/۲, ۱, ۱/۲)	۰/۲۳۰۵
پوشش زمین	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	(۲, ۱, ۲/۳)	(۱, ۱, ۱)	۰/۱۵۵۸

جدول ۷. زیرمعیارهای توپوگرافی و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

توپوگرافی	شیب	مدل رقومی ارتفاعی	لندفرم	وزن نهایی
شیب	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۳/۲, ۱)	(۳/۲, ۱, ۱/۲)	۰/۳۷۹۸
مدل رقومی ارتفاعی	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۱, ۲/۳)	۰/۲۵۲۶
لندفرم	(۲, ۱, ۲/۳)	(۳/۲, ۱, ۱/۲)	(۱, ۱, ۱)	۰/۳۶۷۶

جدول ۸. زیرمعیارهای زمین شناسی و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

وزن نهایی	نفوذپذیری	سنگ شناسی	زمین شناسی
۰/۴۶۱۴	(۳/۲, ۱, ۱/۲)	(۱, ۱, ۱)	سنگ شناسی
۰/۵۳۸۶	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۱, ۲/۳)	نفوذپذیری

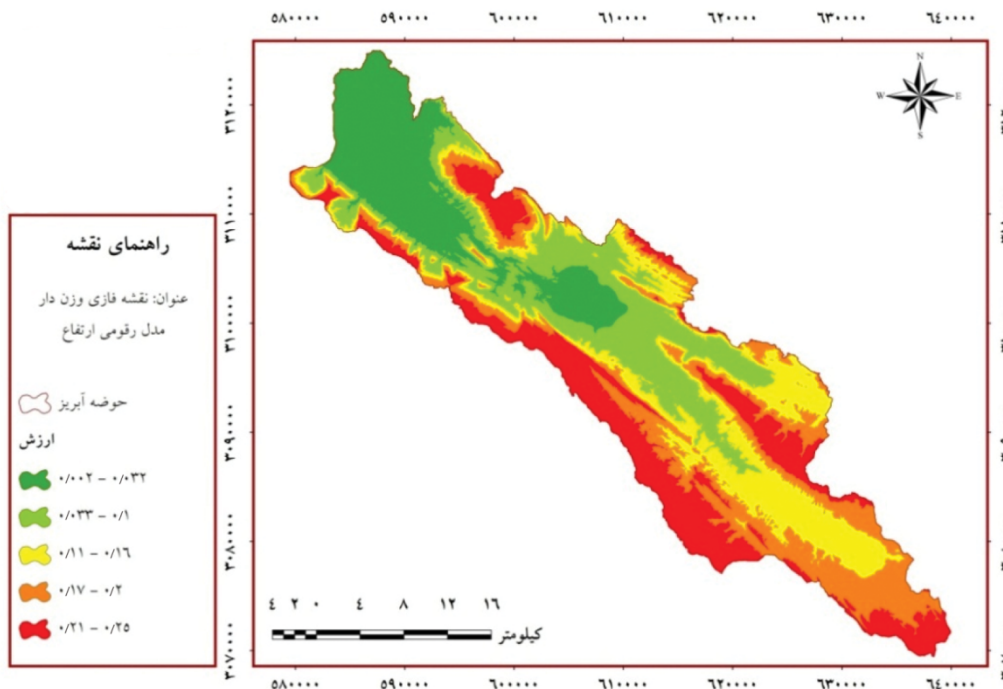
جدول ۹. زیرمعیارهای پوشش زمین و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

وزن نهایی	کاربری اراضی	NDVI	پوشش زمین
۰/۶۸۴	(۲, ۳/۲, ۱)	(۱, ۱, ۱)	NDVI
۰/۳۱۶	(۱, ۱, ۱)	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	کاربری اراضی

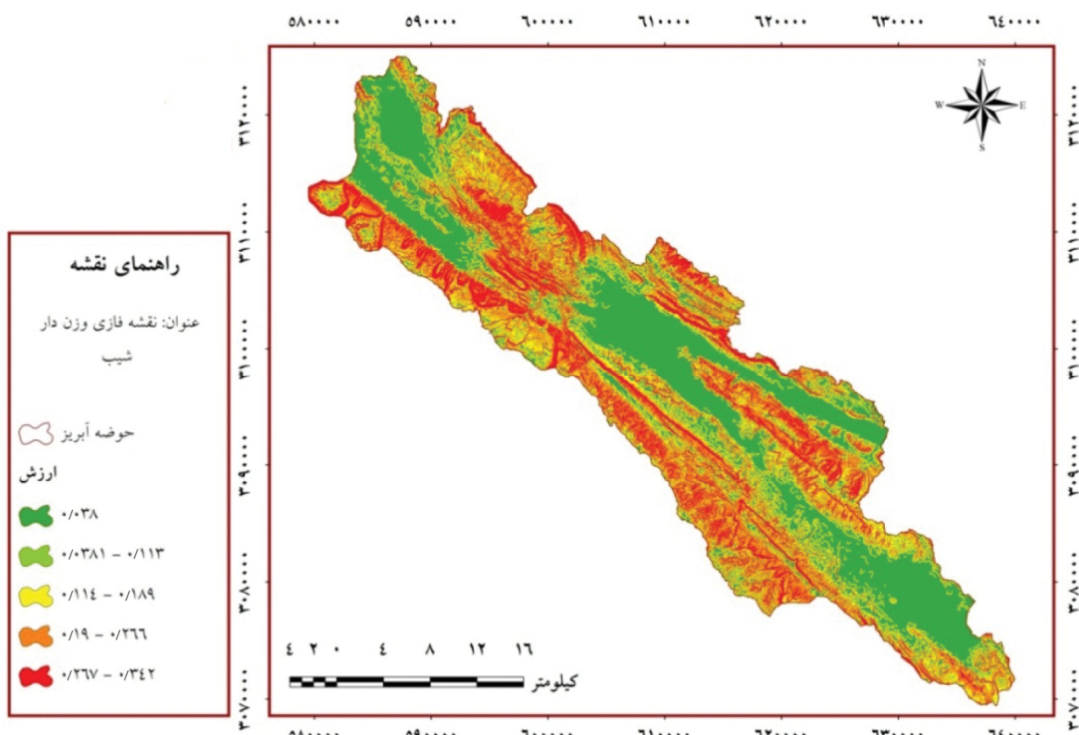
جدول ۱۰. زیرمعیارهای هیدرواقليم و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

وزن نهایی	تراکم شبکه زهکشی	فاصله از آبراهه	بارش	هیدرواقليم
۰/۴۲۷۹	(۳/۲, ۱, ۱/۲)	(۵/۲, ۲, ۳/۲)	(۱, ۱, ۱)	بارش
۰/۱۵۷۹	(۱, ۲/۳, ۱/۲)	(۱, ۱, ۱)	(۲/۳, ۱/۲, ۲/۵)	فاصله از آبراهه
۰/۴۱۴۶	(۱, ۱, ۱)	(۲, ۳/۲, ۱)	(۲, ۱, ۲/۳)	تراکم شبکه زهکشی

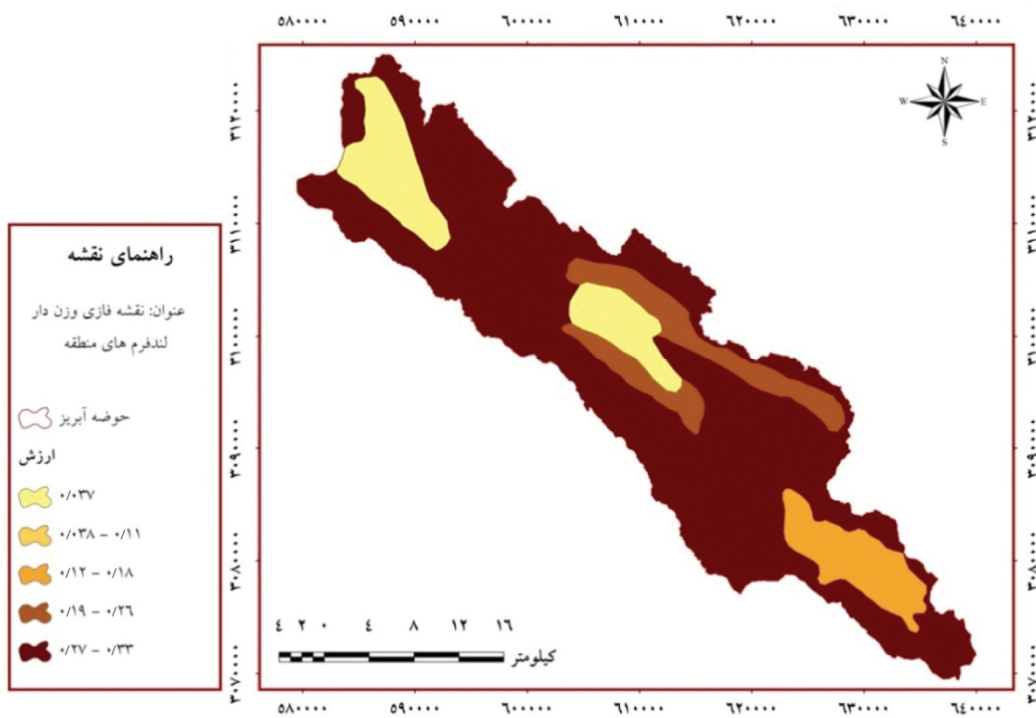
سپس وزن‌های به دست آمده از روش FAHP در (شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲). نقشه‌های فازی شده معیارها و زیرمعیارها ضرب گردید



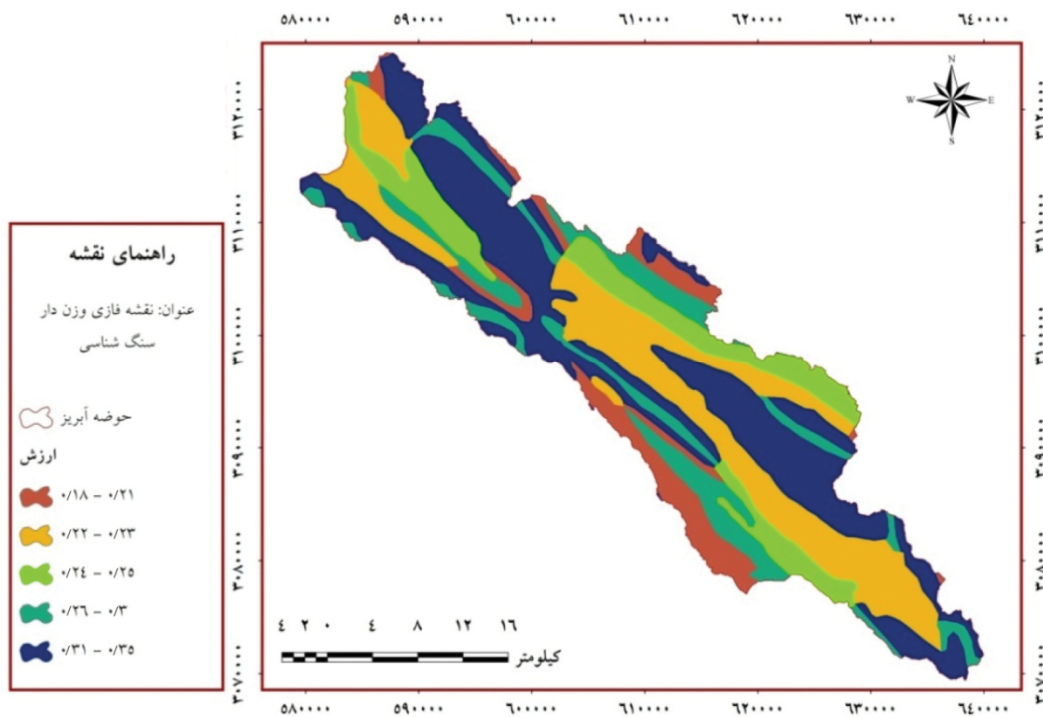
شکل ۳. نقشه فازی وزن دار مدل رقومی ارتفاعی



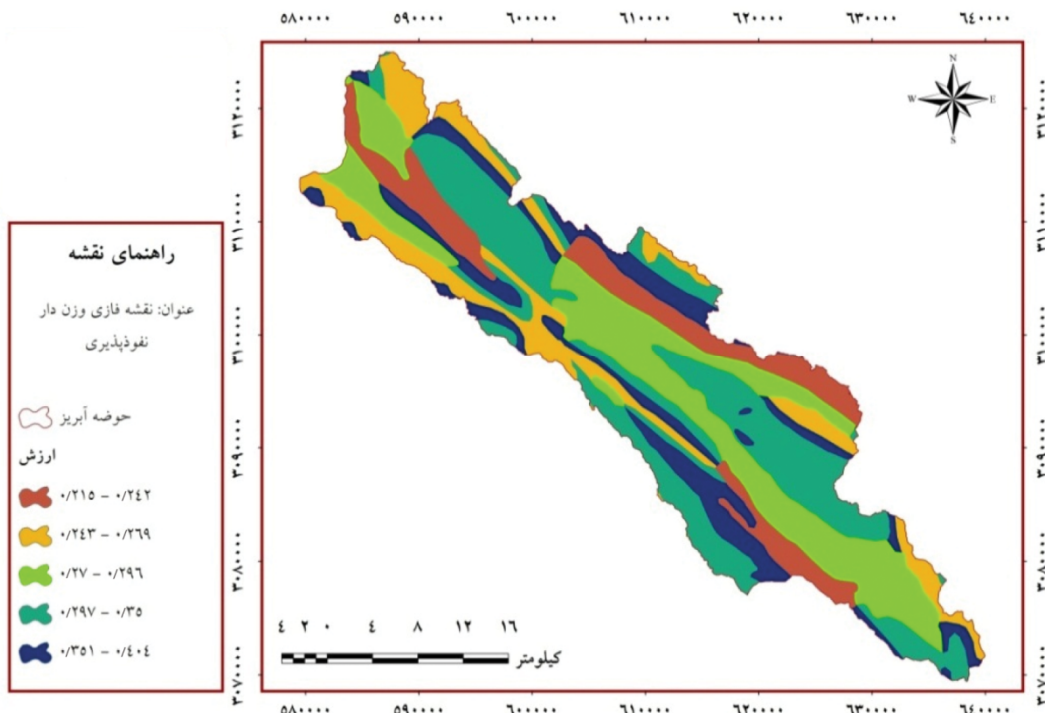
شکل ۴. نقشه فازی وزن دار شیب



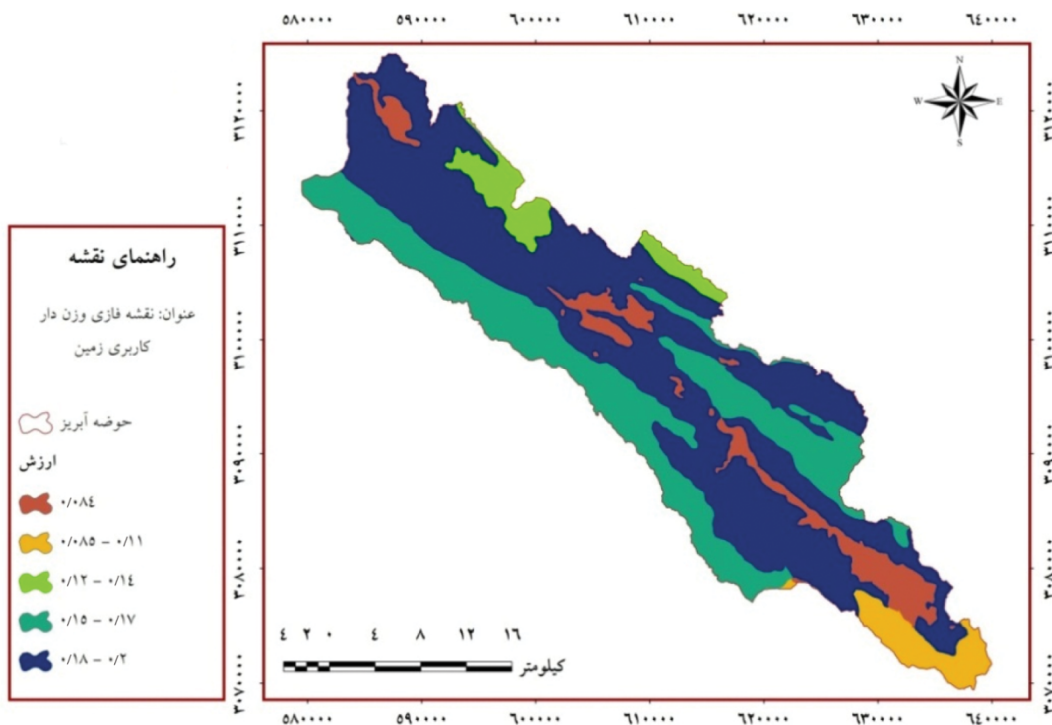
شکل ۵. نقشه فازی وزن دار لندفرم‌های



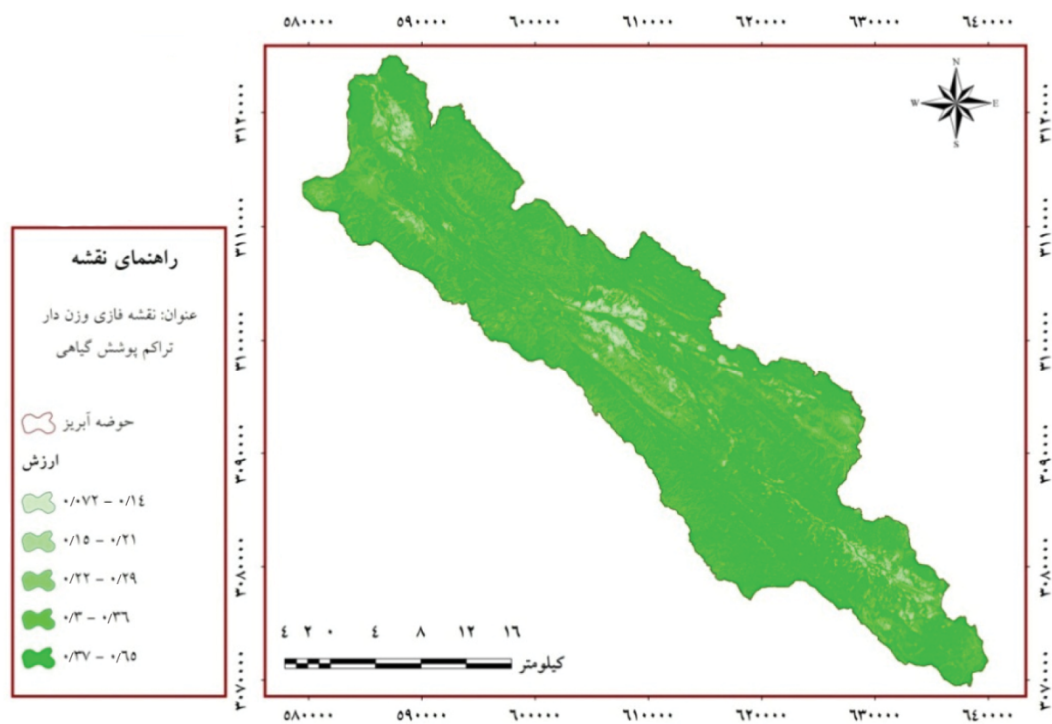
شکل ۶. نقشه فازی وزن دار سنگ شناسی



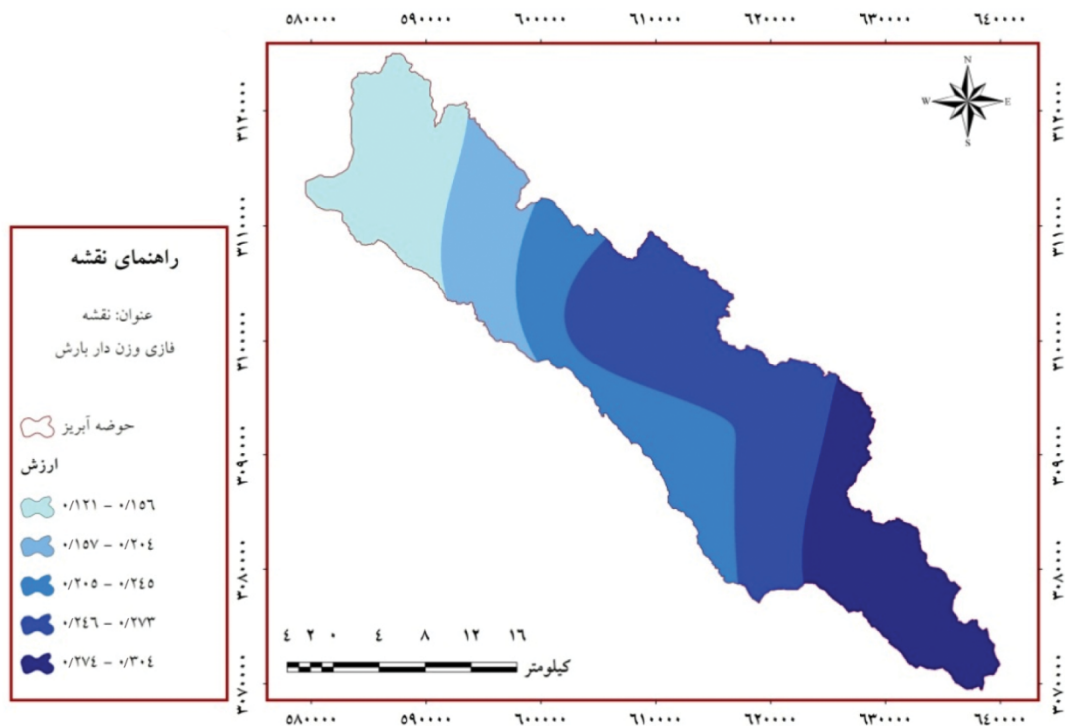
شکل ۷. نقشه فازی وزن دار نفوذپذیری



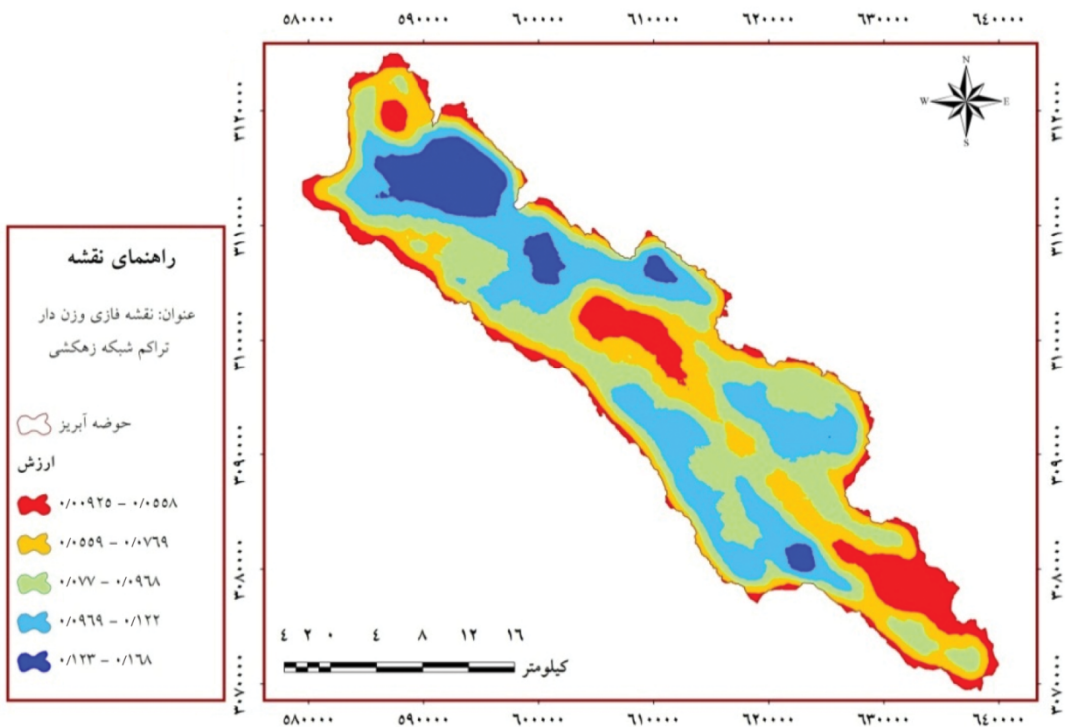
شکل ۸. نقشه فازی وزن دار کاربری اراضی



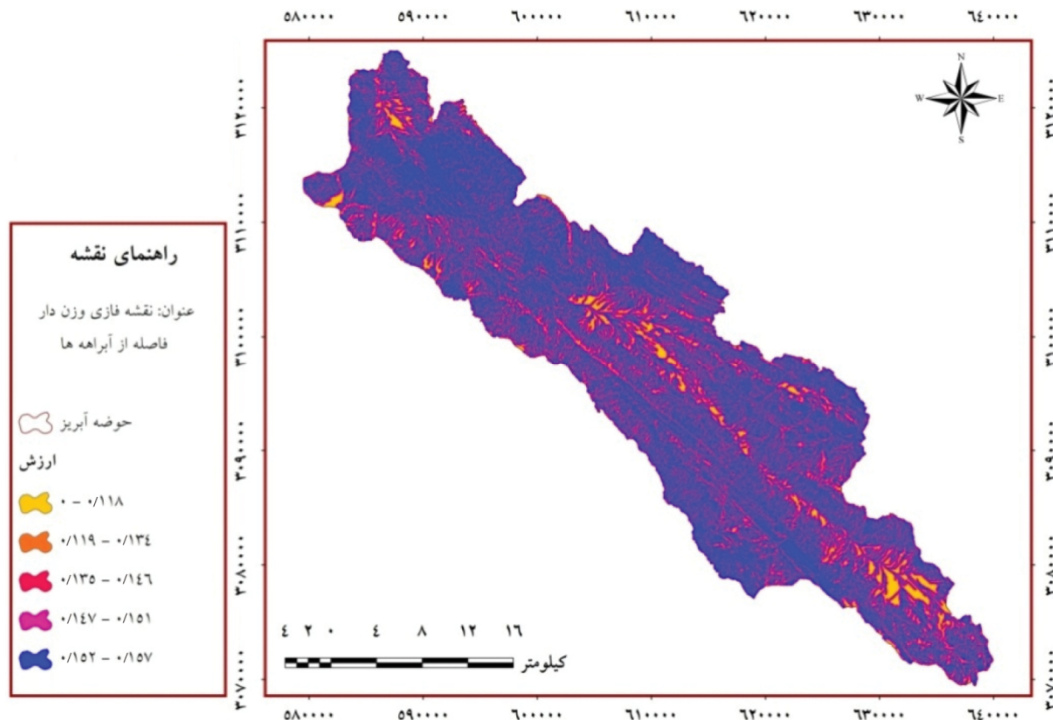
شکل ۹. نقشه فازی وزن دار تراکم پوشش گیاهی



شکل ۱۰. نقشه فازی وزن دار بارش



شکل ۱۱. نقشه فازی وزن دار تراکم شبکه زهکشی



شکل ۱۲. نقشه فازی وزن دار فاصله از آبراهه

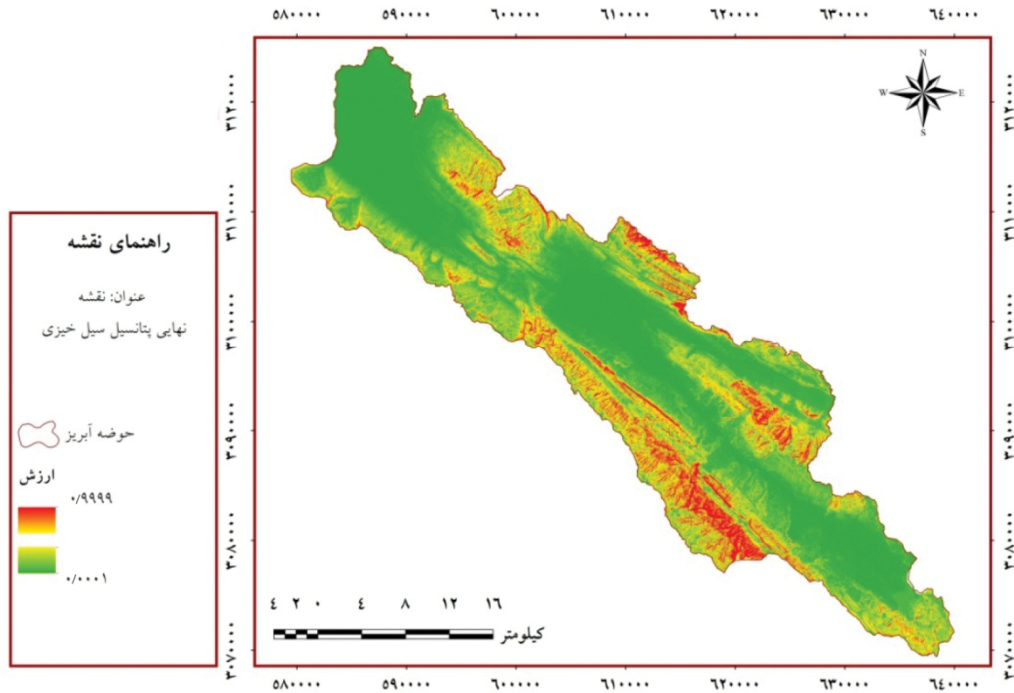
در این تحقیق بر اساس عوامل مؤثر در سیل‌خیزی (شیب، مدل رقومی ارتفاعی، لندفرم، سنگ‌شناسی، نفوذپذیری، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، بارش، تراکم شبکه زهکشی، فاصله از آبراهه)، با استفاده از روش تحلیلی سلسله مراتبی فازی (FAHP)، پتانسیل سیل‌خیزی حوزه آبریز باغان، پهنه‌بندی گردد و مناطقی که در تولید رواناب بیشترین نقش را داشتند تعیین گردید.

در نهایت برای طبقه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه مورد مطالعه، نقشه نهایی حوزه آبریز باغان، در پنج کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۱۴).

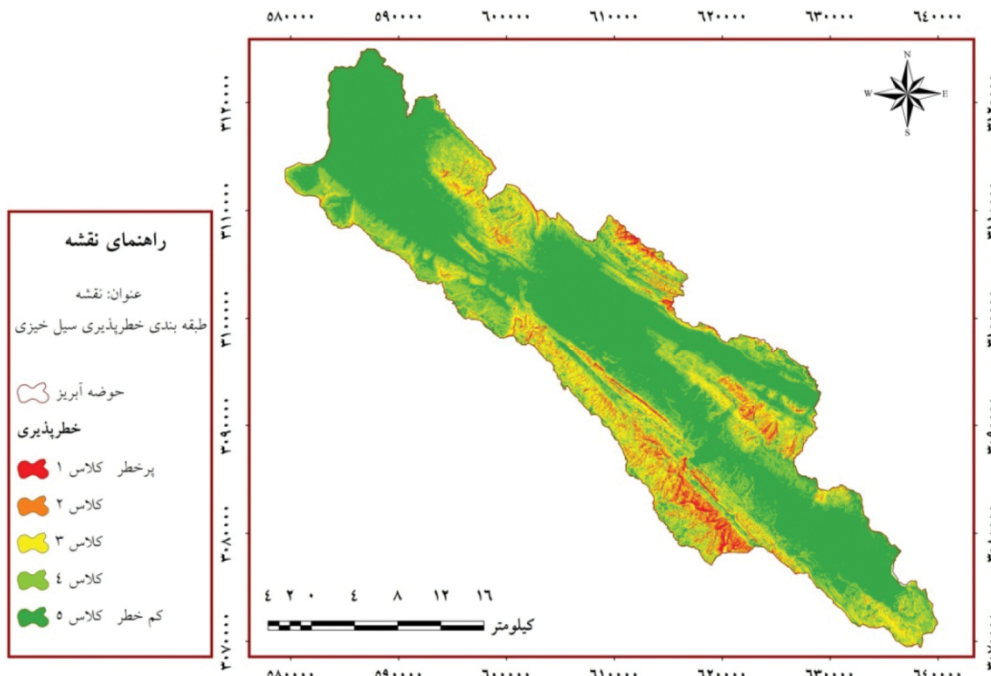
مدلسازی و پهنه‌بندی حوزه آبریز

از مهم‌ترین توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی که آن را سیستمی منحصر بفرد کرده است، توانایی تلفیق داده‌ها برای مدلسازی، مکانیابی و تعیین تناسب اراضی، از طریق ارزش‌گذاری پهنه سرزمین است، زیرا در نتیجه تلفیق و ترکیب معیارها، مراکز و مکان‌های بهینه انتخاب می‌شود (۳).

بدین ترتیب نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی از طریق عملگر گاما با همپوشانی معیارهای مؤثر به دست آمد (شکل ۱۳). در این نقشه مقادیر با عدد بالاتر نشان‌دهنده نقاط دارای ریسک بالاتر هستند و نواحی دارای مقادیر کمتر ریسک پایین‌تری دارند.



شکل ۱۳. نقشه پتانسیل سیل خیزی



شکل ۱۴. نقشه کلاس بندی خطر سیل خیزی

جدول ۱۱. مساحت هر یک از کلاس‌های در سیل خیزی

کلاس خطرپذیری	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
کلاس ۱ (خیلی زیاد)	۱۵/۵	۱/۷
کلاس ۲ (زیاد)	۵۷/۵	۶/۳
کلاس ۳ (نسبتاً زیاد)	۱۳۰	۱۴/۳
کلاس ۴ (متوسط)	۱۸۶	۲۰/۵
کلاس ۵ (کم)	۵۲۰	۵۷/۲

بیشتر محل جاری شدن رواناب می‌باشند، در حدود ۵۷/۲ درصد از منطقه را شامل می‌شوند. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که عملیات‌های آبخیزداری در مناطق توصیه‌شده، جهت کاهش خسارات ناشی از سیل خیزی و رواناب، در دستور کار برنامه‌ریزان و مسئولان مربوطه قرار گیرد.

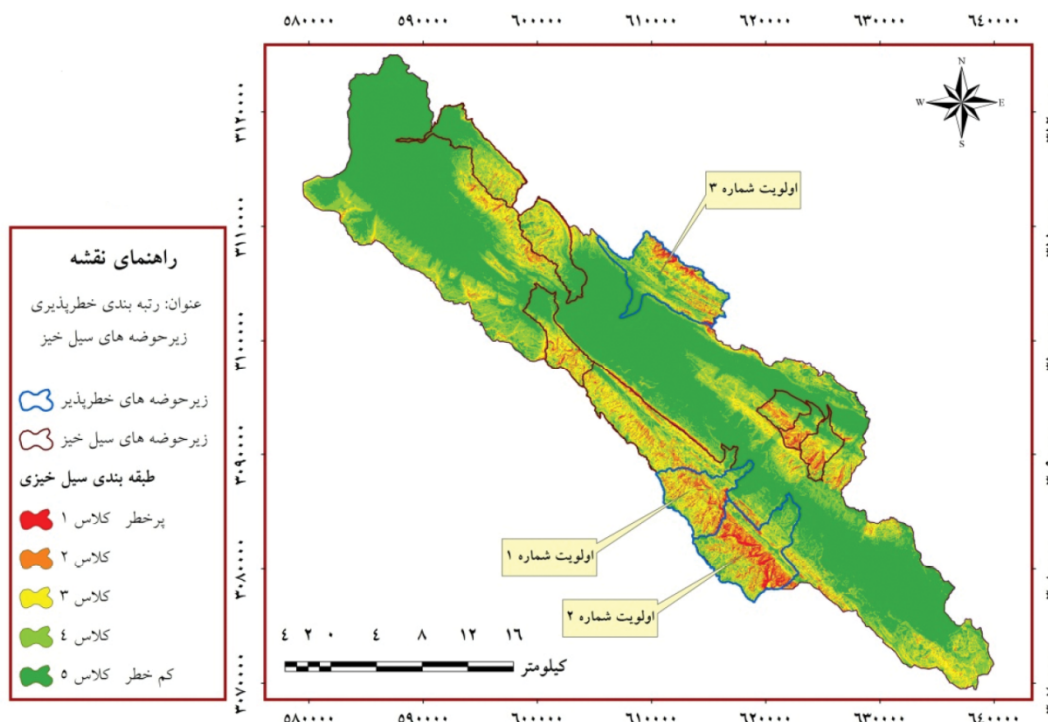
نتایج روش شباهت به گزینه ایده آل فازی (FTOPSIS)

نتایج روش شباهت به گزینه ایده آل فازی نشان می‌دهد که از بین ده زیرحوزه سیل خیز حوزه آبریز باغان، حوزه‌های شماره ۸ و ۷ و ۳ به ترتیب از نظر سیل خیزی در اولویت قرار دارد (شکل ۱۵). با توجه به جدول ۱۲ سه زیرحوزه مشخص شده حدود ۱۳ درصد از مساحت حوزه آبریز را شامل می‌شوند. این زیرحوزه‌ها به دلیل شیب زیاد، پوشش گیاهی کم، ارتفاع زیاد و نیز سازندهای نفوذناپذیر و همچنین به دلیل لندفرم‌های موجود، سیل خیزترین منطقه حوزه آبریز باغان می‌باشد. تپ اراضی این منطقه نیز کوهستانی است که دارای شیب بالای ۳۰ درصد می‌باشد. تمامی این فاکتورها باعث شده است که این منطقه از نظر سیل خیزی در اولویت قرار گیرد.

نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ نشان می‌دهد که کلاس ۱ که ۱/۷ درصد از منطقه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهد، به دلیل داشتن شیب زیاد، پوشش گیاهی کم، ارتفاع زیاد، نفوذپذیری کم، بیشترین نقش را در تولید رواناب دارد. کلاس ۲ نیز همانند کلاس یک پتانسیل بالایی در تولید رواناب دارد. این کلاس حدود ۶/۳ درصد از منطقه را شامل می‌شود. پهنه‌های کلاس یک و دو، بیشتر در نواحی کوهستانی واقع هستند و حدود ۸ درصد (۷۳ کیلومتر مربع) از منطقه را شامل می‌شوند و به دلیل این که بیشترین نقش را در تولید رواناب دارند، باید از نظر مدیریت آبخیزداری مورد توجه ویژه باشند. کلاس ۳ نیز با خطرپذیری نسبتاً زیاد حدود ۱۴ درصد از حوزه آبریز را در بر گرفته است. بنابراین می‌توان گفت که حدود ۲۲/۳ درصد از محدوده حوزه آبریز مورد مطالعه را پهنه‌های سیل خیز خطرپذیر زیاد تا خیلی زیاد در بر گرفته است. کلاس چهار به نسبت کلاس‌های یک، دو و سه پتانسیل سیل خیزی کمتری دارد و بیشتر در دامنه‌ها و واریزه‌های مناطق کوهستانی قرار گرفته است. این کلاس دارای پتانسیل سیل خیزی متوسطی هستند و حدود ۲۰/۵ درصد از منطقه (۱۸۶ کیلومتر مربع) را پوشش می‌دهند. کلاس پنج که کمترین نقش را در تولید رواناب دارد بیشتر در دشت‌ها واقع شده است. این مناطق که

جدول ۱۲. مساحت هر کدام از مناطق سیل خیز پرخطر

شماره زیرحوزه	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
۱	۲۷/۹	۳
۲	۴۷/۸	۵/۳
۳	۴۰/۹	۴/۵



شکل ۱۵. اولویت بندی مناطق سیل خیز پرخطر

منابع مورد استفاده

۱. امیدوار، ک و آ. کیانفر. ۱۳۸۹. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز کنجانچم. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۲(۷۲): ۷۳-۹۰.
۲. بروشکه، ا. ر. سکوتی، م. منتصری و ا. قهرمانی. ۱۳۸۵. بررسی پدیده سیل و پهنه بندی آن با استفاده از تصاویر ماهواره ای. هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۲۶-۲۴ بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۸ صفحه.
۳. پوراحمد، ا. ک. حبیبی، س. م. زهرایی، و س. نظری عدلی. ۱۳۸۶. استفاده از الگوریتم های فازی و GIS برای مکانیابی تجهیزات شهری (مطالعه موردی: محل دفن زباله شهر بابلسر). فصل نامه محیط شناسی، ۳۳(۴۲): ۳۱-۴۲.
۴. ثروتی، م. م. احمدی، ک. نصرتی و م. مزبانی. ۱۳۹۲. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز سراب دره شهر. فصلنامه علمی- پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، ۱۱(۳۶): ۷۷-۵۵.
۵. عطائی، محمد. ۱۳۸۹. تصمیم گیری چندمعیاره فازی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. چاپ اول، ۲۴۴ صفحه.
۶. عزیزاده، ا. ۱۳۹۲. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد. چاپ ششم، ۹۲۸ صفحه.
۷. غیور، حسنعلی. ۱۳۷۱. پیش بینی سیلاب در مناطق مرطوب. فصلنامه تحقیقات جغرافیا، ۲۵: ۷۷-۱۰۶.
۸. قدسی پور، ح. ۱۳۸۴. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. مرکز نشر. ۲۲۴ صفحه.
۹. کرم، ا. و ف. درخشان. ۱۳۹۱. پهنه بندی سیل خیزی، برآورد سیلاب و کارایی کانال های دفع آب های سطحی در حوزه شهری (مطالعه موردی: حوزه آبریز در کرمانشاه). فصلنامه جغرافیای طبیعی، ۱۶(۵): ۵۴-۳۷.
۱۰. لاجوردی، م. ش. خالدی و ش. ستاری. ۱۳۹۲. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز مردق چای (آذربایجان شرقی). نشریه علمی- پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۷(۴۴): ۲۷۳-۲۵۵.
۱۱. ملکیان، آ. ا. افتادگان خوزانی و غ. عشورنژاد. ۱۳۹۱. پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبخیز اختراآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب فازی. پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴(۴۴): ۱۳۱-۱۵۲.

25. Qi S, Brown DG, Tian Q, Jiang L, Zhao T, Bergen KM. 2009. Inundation extent and flood frequency mapping using LANDSAT imagery and digital elevation models. *GIScience & Remote Sensing*, 46(1): 101-127.
26. Saaty TL. 1994. How to make a decision: the analytic hierarchy process. *Interfaces*, 24(6): 19-43.
۱۲. وزارت نیرو. ۱۳۸۳. دستورالعمل و ضوابط تقسیم‌بندی و کدگذاری حوزه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی در سطح کشور. نشریه ۲۸۲، ۱۰۰ صفحه.
۱۳. یمانی، م و م. عنایتی. ۱۳۸۴. ارتباط ویژگی‌های ژئومورفولوژیک حوزه‌ها و قابلیت سیل‌خیزی (تجزیه و تحلیل داده‌های سیل از طریق مقایسه ژئومورفولوژیک حوزه‌های فشنند بهجت‌آباد). فصلنامه پژوهش‌های جغرافیایی، ۵۴: ۴۷-۵۷.
14. Ayağ Z, Özdemir RG. 2006. A fuzzy AHP approach to evaluating machine tool alternatives. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 17(2): 179-190.
15. Bakhtyari Kia M, Pirasteh S, Pradhan B, Mahmud AR, Sulaiman WNA, Moradi A. 2012. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 67(1): 251-264.
16. Chang CT. 2008. Revised multi-choice goal programming. *Applied mathematical modelling*, 32(12): 2587-2595.
17. Cheng CH, Yang KL, Hwang CL. 1999. Evaluating attack helicopters by AHP based on linguistic variable weight. *European Journal of Operational Research*, 116(2): 423-435.
18. Gomez H, Kavzoglu T. 2005. Assessment of shallow landslide susceptibility using artificial neural networks in Jabonosa River Basin, Venezuela. *Engineering Geology*, 78(1): 11-27.
19. Isma'il M, Saanyol IO. 2013. Application of remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) in flood vulnerability mapping: case study of River Kaduna. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3(3): 618-627.
20. Laarhoven VP, Pedrycz W. 1983. A fuzzy extension of Saaty's priority theory. *Fuzzy sets and Systems*, 11(1): 199-227.
21. Lee AH, Chen WC, Chang CJ. 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert systems with applications*, 34(1): 96-107.
22. Meyer V, Scheuer S, Haase D. 2009. A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Natural Hazards*, 48(1): 17-39.
23. Pradhan B. 2009. Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques. *Central European Journal of Geosciences*, 1(1): 120-129.
24. Qin Q-m, Tang H-m, Chen Hk. 2011. Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing. In: 2011 International Conference on Photonics, 3D-imaging, and Visualization. International Society for Optics and Photonics, pp 820530-820530-820538.



Flood hazard potential zonation of Baghan watershed using fuzzy analytic hierarchy process method (FAHP)

N. Nasrinnejad^{1*}, K. Rangzan², N. Kalantari³, A. Saberi⁴

1. MSc. Graduated of Remote sensing and Geographic Information Science, College of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz
2. Assoc. Prof. Department of Remote sensing and Geographic Information Science, College of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz
3. Prof. Department of Geology, College of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz
4. Lecturer Department of Remote sensing and Geographic Information Science, College of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz

ARTICLE INFO

Article history:

Received 17 February 2014

Accepted 22 May 2014

Available online 8 January 2015

Keywords:

Flood hazard

Fuzzy analytic hierarchy process (FAHP)

Geographic information system (GIS)

Baghan

ABSTRACT

The aim of this research is flooded hazard potential zonation of Baghan watershed using geographic information system (GIS) and Fuzzy analytic hierarchy process method (FAHP). After identifying effective factors in flood hazard (slope, digital elevation model, permeability, lithology, infiltration, land use, vegetation cover density, precipitation, network drainage density, distance from the stream), criteria and subcriteria weight were calculated using pairwise comparisons and experts' comments as well as FAHP. Watershed flood hazard potential was zoned and finally, the watershed was categorized into five classes based on flood hazard risk using a fuzzy gamma operator. The results of flood hazard risk zonation indicate that classes 1, 2 and 3 are generally located in mountainous areas and include about 22% (203 km²) of the region and so it can be concluded that, the 22% part of runoff yield, watershed management projects in this region are in priority. Classes 4 and 5 have less flood hazard potential in comparison to class 1, 2 and 3 and are located in slopes and taluses in mountainous areas and cover about 78% (706 km²) of the region.

* Corresponding author e-mail address: nemat.nasrinnejad@gmail.com