



شناسایی و اعتبارسنجی مناطق بالقوه خطر سیلاب با استفاده از تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) و پردازش داده‌های راداری سنتینل ۱

مقاله پژوهشی

علی مهرابی^۱، محسن پورخسروانی^۲، فریبا پورزارعی جلال آبادی^۳

دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۴ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۶ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۷/۰۱

چکیده

امروزه به دلیل تغییرات آب و هوایی و رخداد بارندگی‌های سیلابی، مخاطره سیلاب یکی از معضلات مهم در مناطق خشک محسوب می‌شود. شهرستان زرنند در استان کرمان یکی از این مناطق محسوب می‌شود که متاثر از این پدیده، متحمل صدمات زیادی در بخش‌های زیربنایی و کشاورزی شده است. هدف از این پژوهش شناسایی و تعیین مناطق بالقوه خطر سیلاب با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS است. در این راستا از هشت معیار جهت تهیه شاخص خطر سیلاب استفاده شد، این پارامترها شامل معیار جریان تجمعی،

قابلیت تخلیه، ارتفاع، فاصله از آبراهه، پوشش زمین، ضریب رواناب، شیب و زمین شناسی می‌شود. لایه‌های مذکور در محیط GIS پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی بر اساس روش Fuzzy-AHP وزن‌دهی و تلفیق شدند. سرانجام، با توجه به شاخص خطر سیلاب (FHI) نقشه خطر سیلاب مربوط به منطقه مورد مطالعه تهیه شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حدود ۵ درصد از محدوده مورد مطالعه را خطر بسیار بالا (۱۸۸۰۰ هکتار)، ۲۳ درصد خطر بالا (۹۴۱۰۰ هکتار)، ۴۴ درصد خطر متوسط (۱۷۹۷۰۰ هکتار)، ۲۲ درصد خطر کم (۸۸۲۰۰ هکتار) و ۶ درصد بسیار کم (۲۳۱۰۰ هکتار)، تشکیل می‌دهد. محدوده‌های خطر بالا و خیلی بالا بیشتر در دشت و محدوده‌های کشاورزی واقع شده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که علاوه بر زمین‌های کشاورزی بسیاری از مناطق مسکونی به ویژه در روستاها در معرض خطر سیلاب قرار دارند. به منظور اعتبارسنجی نقشه خطر سیلاب ایجاد شده، از نقشه مناطق سیل‌زده حاصل از روش حد آستانه استفاده شد. مقایسه این دو نشان می‌دهد که حدود ۳۲ و ۴۹ درصد از مساحت کل مناطق سیل‌زده به ترتیب در طبقات با خطر بالا و خطر بسیار بالا قرار دارد. نتایج حاصل

علی مهرابی^۱ (✉)، محسن پورخسروانی^۲، فریبا پورزارعی جلال آبادی^۳

۱. دانشیارگروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲. دانشیارگروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۳. دانشجوی کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید

DOI: 10.30495/girs.2023.691227

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: mehrabi@uk.ac.ir

نحوه وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها است به طوری که در این روش وزن‌دهی به صورت فازی انجام می‌گیرد. و ماتریس مقایسات دودویی به صورت فازی بیان می‌گردد. ماتریس مقایسه زوجی با کمک نظرات تصمیم‌گیرندگان درباره اهمیت عوامل نسبت به یکدیگر به صورت زوجی تشکیل می‌شود. درایه‌های این ماتریس اعداد فازی مثلثی هستند که مولفه اول آن میزان حداقل نظرات، مولفه دوم میانگین نظرسنجی‌ها و مولفه سوم میزان حداکثر نظرسنجی‌ها می‌باشد. در این راستا از ۲۰ متخصص نظرسنجی شد. بر اساس نظرات کارشناسی، معیارها دو به دو مقایسه شده و بر اساس اعداد فازی جدول شماره ۱، وزن نهایی هر معیار محاسبه می‌شود.

نتایج و بحث:

به منظور شناسایی و تهیه نقشه خطر سیلاب، عوامل و معیارهای موثر در سیل‌خیزی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به صورت نقشه در محیط GIS ترسیم شدند. نقشه ۸ معیار موثر در سیل‌خیزی در شکل شماره ۳ مشاهده می‌شود. به منظور دستیابی به نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در روش سلسله مراتبی فازی می‌بایست ابتدا تک تک معیارها وزن‌دهی شده و بر اساس آن تلفیق انجام گیرد. ملاک مقایسه دودویی و وزن‌دهی، نظرات کارشناسی می‌باشد. جدول شماره ۲ ماتریس مقایسه دودویی معیارها را نشان می‌دهد.

از آنجایی که هر یک از معیارهای نامبرده نیز در درون خود دارای زیرمعیارهایی هست که آنها نیز میزان تاثیرات متفاوتی در سیل‌خیزی دارند بایستی هر یک از آنها نیز به صورت دودویی مقایسه شده و وزن‌دهی شوند. در این راستا ماتریس مقایسه دودویی برای همه معیارها جداگانه تهیه شد (جدول ۳ تا ۱۰). نقشه‌های فازی تهیه شده از هر یک از معیارها نیز در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است. از بین معیارهای مختلف معیار جریان تجمعی به عنوان مهمترین عامل، محسوب می‌شود که در شکل ۳a ترسیم شده است. همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود منطقه مورد مطالعه به لحاظ جریان تجمعی به ۵ طبقه تقسیم شده است. هر چه میزان جریان تجمعی بیشتر باشد انباشتگی جریان آب افزایش می‌یابد. در نتیجه در مرحله مقایسه دودویی و وزن‌دهی بالاترین وزن به طبقه آخر و سپس به طبقات دیگر تعلق می‌گیرد. در ماتریس مقایسه دودویی مربوط به معیار جریان تجمعی زیرمعیار طبقه آخر وزن ۰/۲۵۸ و به زیرمعیار طبقه اول وزن ۰/۱۲۶ تعلق می‌گیرد (جدول ۳). فاکتورهای دیگر

نشان داد که استفاده از روش تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS می‌تواند به طور موثر در تجزیه و تحلیل خطر سیلاب کارآمد باشد.

طرح مسئله:

مخاطرات طبیعی حوادث ناگواری هستند که هر ساله باعث بروز صدمات و خسارات بسیار زیاد و جبران ناپذیر به محیط طبیعی و پدیده‌های انسان ساخت می‌شوند. در این بین سیلابها یکی از مهمترین تهدیدهای طبیعی تکرار پذیر هستند که حیات بشر و اقتصاد جوامع را تهدید میکند. از عوامل موثر در افزایش سیلابها در سالهای اخیر می‌توان گسترش سریع شهرنشینی، تغییر کاربری زمینها، تبدیل اراضی و تخریب پوشش گیاهی و خاک، تجاوز و خانه سازی در حریم رودخانه، تغییر اقلیم و شدت بارندگی های کوتاه مدت را نام برد (میجانی و همکاران، ۱۳۸۴). شهرستان زرنند بواسطه برخی از شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی، مستعد وقوع سیلاب‌هایی بوده است. از این رو با توجه به لزوم ارزیابی سیل‌خیزی در دشت زرنند به عنوان یک منطقه مستعد، و با توجه به اینکه تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای در این زمینه در منطقه انجام نشده است، در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از پردازش تصاویر چندطیفی سنتینل ۱ و روش Fuzzy-AHP، که یکی از تکنیک‌های آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره است، در محیط GIS نقشه عوامل مختلف موثر در سیل-خیزی، تهیه، وزن‌دهی و تلفیق کرده تا مناطق در معرض سیلاب شناسایی شوند.

هدف:

هدف اصلی این تحقیق، شناسایی مناطق بالقوه خطر سیلاب در محدوده شهرستان زرنند، استان کرمان با استفاده از تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره و استفاده از تصاویر راداری سنتینل ۱ است.

روش تحقیق:

سیل‌خیزی منطقه به عوامل مختلف هیدرولوژی و ژئومورفولوژی بستگی دارد در این پژوهش از هشت عامل تاثیرگذار شامل معیار جریان تجمعی، قابلیت تخلیه، ارتفاع، فاصله از آبراهه، پوشش زمین، ضریب رواناب، شیب و لیتولوژی استفاده شد. لایه‌های مذکور پس از تهیه، از طریق روش سلسله مراتبی فازی وزن دهی می‌شوند. روش Fuzzy-AHP اولین بار توسط چانگ^۱ (۱۹۹۶:۶۴۹) ارائه شده است. تفاوت اساسی این روش نسبت به روش AHP تفاوت در

^۱ - Chang

مؤثر سیل خیزی نیز به همین صورت طبقه‌بندی و وزن‌دهی شده‌اند که در جداول شماره ۵ تا ۱۰ قابل مشاهده هستند.

جدول شماره ۱۱ وزن معیارها، زیرمعیارها و وزن نهایی هر یک را نشان می‌دهد. در این جدول وزن نهایی هر یک از زیرمعیارها با ضرب وزن معیار اصلی در وزن زیر معیار به دست آمده است. به منظور تهیه شاخص و نقشه خطر سیلاب، تمام نقشه‌های تهیه شده و وزندهی شده به روش سلسله مراتبی فازی در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شد. و با استفاده از روش طبقه‌بندی کمی، نقشه مذکور طبقه‌بندی شد. شکل شماره ۵ نقشه خطر سیلاب را نشان می‌دهد، همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، به لحاظ خطر سیلاب محدوده مورد مطالعه به ۵ طبقه خطر بسیار کم، کم، متوسط، بالا و بسیار بالا تقسیم می‌شود. در حدود ۵ درصد از محدوده مورد مطالعه را خطر بسیار بالا (۱۸۸۰۰ هکتار)، ۲۳ درصد خطر بالا (۹۴۱۰۰ هکتار)، ۴۴ درصد خطر متوسط (۱۷۹۷۰۰ هکتار)، ۲۲ درصد خطر کم (۸۸۲۰۰ هکتار) و ۶ درصد بسیار کم (۲۳۱۰۰ هکتار)، تشکیل می‌دهد. محدوده‌های خطر بالا و خیلی بالا بیشتر در دشت و مناطق مخروط افکنه‌ای واقع شده‌اند.

نتیجه‌گیری:

با تلفیق لایه‌های مؤثر در ایجاد سیلاب محدوده مورد مطالعه به لحاظ خطر سیلاب پتانسیل یابی شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که

در حدود ۵ درصد از محدوده مورد مطالعه را خطر بسیار بالا (۱۸۸۰۰ هکتار)، ۲۳ درصد خطر بالا (۹۴۱۰۰ هکتار)، ۴۴ درصد خطر متوسط (۱۷۹۷۰۰ هکتار)، ۲۲ درصد خطر کم (۸۸۲۰۰ هکتار) و ۶ درصد بسیار کم (۲۳۱۰۰ هکتار)، تشکیل می‌دهد. محدوده‌های خطر بالا و خیلی بالا بیشتر در دشت و مناطق مخروط افکنه‌ای واقع شده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که علاوه بر زمین‌های کشاورزی بسیاری از مناطق مسکونی به ویژه در روستاها در معرض خطر سیلاب قرار دارند. انجام روش حد آستانه بر روی تصاویر راداری سنتینل ۱ نشان داد که این تصاویر قابلیت خوبی برای شناسایی سیلاب دارند. از آنجایی که امواج راداری قابلیت نفوذ در ابر را دارند، بنابراین در شرایط آب و هوای بارانی و ابری می‌توان از آنها برای پایش سیلاب استفاده کرد. در حالی که تصاویر ماهواره‌ای نوری این قابلیت را ندارند. همچنین نتایج حاصل از صحت‌سنجی روش Fuzzy-AHP ضمن تایید کاربرد این روش در تعیین خطر سیلاب، موید کارایی روش مذکور، به عنوان یک روش نسبتاً دقیق در امر تصمیم‌گیری است.

واژه‌های کلیدی: شاخص خطر سیلاب، سنجش از دور، تصاویر سنتینل ۱، Fuzzy-AHP، حوضه زرنند.

مقدمه

کمترین میزان اثرگذاری را دارند. میرموسوی و اسماعیلی (۱۵)، در پژوهشی با پهنه‌بندی نواحی سیل‌خیز با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، نقشه‌های مربوط به پهنه‌بندی خطر رخداد سیل شهرستان داراب را با دوره‌های بازگشت مختلف و در ۵ طبقه استخراج نموده است.

داتا و همکاران (۱۰) در مطالعه خود روشی را برای تخمین شدت سیلاب با استفاده از تصاویر ماهواره ای برای منطقه مورد بررسی شان ارائه نمودند. منطقه مورد بررسی حوضه آبرگیر بانها در ایالت جارکند هندوستان می باشد. پس از بررسی های انجام گرفته بر روی تصاویر ماهواره ای رابطه ای برای تعیین شدت سیلاب برای دو تصویر مختلف ارائه شد. و همچنین با مقدار به دست آمده از روش سنتی مورد مقایسه قرار گرفت که تحقیقات بیشتر نشان داد که شدت سیلاب بدست آمده از تصاویر ماهواره ای دارای دقت بیشتری می باشد. پانبرگر و همکاران (۱۷) در مطالعه‌ای تلاش نمودند تا با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور ماهواره‌ای و نیز با استفاده از مدل‌های سیل‌زدگی به بررسی پارامتر پستی و بلندی کانال پردازند. تحقیق انجام شده بر روی رودخانه آلتز در لوگزامبورگ که سابقه تاریخی در زمینه سیل دارد انجام گرفت. این تحقیق نشان داده است که با استفاده از ساخت مدل سیل زدگی و نیز با توجه به پستی و بلندی‌های کانال که از طریق سنجش از راه دور قابل بررسی است می‌توان ساختار مدل را طبق شبیه‌سازی قابل قبول در مقیاس منطقه‌ای ایجاد کرد. باتس و همکاران (۴)، در مطالعه خود تلاش کرده‌اند تا نشان دهند که چگونه تصاویر منفرد از هر حادثه سیل برای ساخت مدل‌های پیش بینی سیل موثر می‌باشد. این بررسی نشان داد که پارامترهای بهینه مدل به نوع تصویر ماهواره‌ای بستگی دارد که برای ارزیابی مدل به کار رفته و از همین روش می‌توان نقشه سیل‌زدگی را مهیا نمود و همچنین با مقایسه نتایج مدل‌های حاصله می‌توان مدل‌های سیل زدگی را مدرج کرد. همچنین دیمیر و کیسی (۸)، در مطالعه خود به نقش برداری از خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل

مخاطرات طبیعی حوادث ناگواری هستند که هر ساله باعث بروز صدمات و خسارات بسیار زیاد و جبران ناپذیر به محیط طبیعی و پدیده‌های انسان ساخت می‌شوند. در این بین سیلابها یکی از مهمترین تهدیدهای طبیعی تکرار پذیر هستند که حیاط بشر و اقتصاد جوامع را تهدید می‌کند. سیل پدیده است که دلیل عمده آن عوامل طبیعی است لیکن دخالت بشر و بهم زدن تعادل طبیعی حوضه های آبخیز وقوع این پدیده و خسارت ناشی از آن را تشدید می‌کند. از عوامل موثر در افزایش سیلابها در سالهای اخیر می‌توان گسترش سریع شهرنشینی، تغییر کاربری زمینها، تبدیل اراضی و تخریب پوشش گیاهی و خاک، تجاوز و خانه سازی در حریم رودخانه، تغییر اقلیم و شدت بارندگی های کوتاه مدت را نام برد (۱۵).

پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی و تعیین پهنه‌های سیلابی جهت کاهش خسارات احتمالی از جمله اقداماتی است که طی سالیان اخیر، مورد توجه اندیشمندان و محققان حوزه سیل قرار گرفته است. به طوری که تاکنون روش‌های مختلفی در این راستا بکار گرفته شده است، به مانند روش طبقه‌بندی (۲۶)، و استفاده از مدل‌های هیدرولیکی (۸ و ۱۴). تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA)^۱ یکی از روش‌های ساده، موثر، شفاف و قابل اعتماد برای تلفیق عوامل مختلف جهت اهداف خاص در نظر گرفته می‌شود (۱۱). محققان زیادی از GIS برای تشخیص مناطق سیل‌خیز در مناطق خود استفاده کرده‌اند. خدمت زاده و نجف زاده (۱۳)، در مطالعه‌ای با عنوان پهنه‌بندی احتمال و ریسک سیل پذیری با استفاده از مدل ANP (مطالعه موردی: حوضه آبریز ایستگاه هیدرومتری قاسملو، نشان داده‌اند که که در ارتباط با خطر وقوع سیلاب به ترتیب عامل بارش با ۰/۴۹۶۶۵ درصد، فاصله از رودخانه با ۰/۲۰۵۱۶ و عامل پوشش گیاهی با ۰/۱۷۹۵۶ درصد با توجه به کنترل زیادی که بر میزان و چگونگی تخلیهی رواناب از سطح حوضه دارند، از بیشترین میزان اهمیت و تاثیر برخوردار هستند و عامل شیب و کاربری اراضی به ترتیب با ۰/۰۷۲۷ و ۰/۰۰۸۵۶ درصد

^۱ - Multi Criteria Decision Analysis (MCDA)

دیگر در اطراف شهرستان زرنند رودخانه‌های متعددی وجود دارد که عموماً نیز فصلی می‌باشند (۲۰). جریان این رودخانه‌ها به سمت دشت زرنند، عامل بالقوه‌ای برای وقوع سیلاب‌ها در این منطقه است. از سویی به لحاظ اقلیمی، زرنند به علت جنس خاک، اختلاف شدید درجه حرارت، کمبود ریزش باران و بادهای موسمی، فاقد پوشش گیاهی ممتد می‌باشد که گاهی همین نوع پوشش محدود نیز با چرای بی رویه و غیرکارشناسی دام به حداقل رسیده است. این موضوع نیز فاکتوری تقویت کننده برای وقوع سیلاب در نظر گرفته می‌شود. در این شرایط، پهنه‌بندی نواحی سیل خیز، بعنوان یک عامل کمک‌کننده در پیش‌بینی مکانی سیلاب‌ها، می‌تواند نقش کلیدی را در توسعه شهرها، آبادی‌ها و روستاها داشته باشد و برای حفظ جان و مال بشری از اهمیت بالایی برخوردار است. از این رو با توجه به لزوم ارزیابی سیل‌خیزی در دشت زرنند به عنوان یک منطقه مستعد، و با توجه به اینکه تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای در این زمینه در منطقه انجام نشده است، در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از پردازش تصاویر چند-طیفی سنتینل ۱ و روش Fuzzy-AHP، که یکی از تکنیک‌های آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره است، در محیط GIS نقشه عوامل مختلف موثر در سیل‌خیزی، تهیه، وزن‌دهی و تلفیق کرده تا مناطق در معرض سیلاب شناسایی شوند.

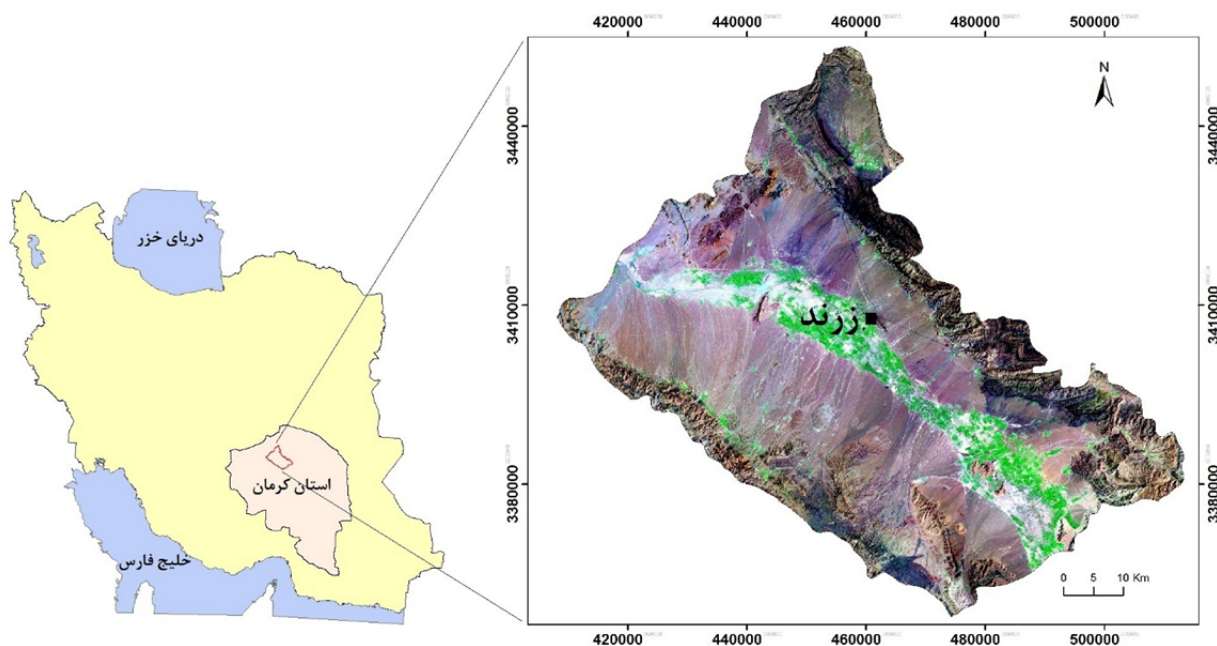
روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز زرنند در شمال استان کرمان و در مختصات جغرافیایی ۵۷° و ۵۴' تا ۲۶° و ۵۶' طول شرقی و ۲۸° و ۲۷' تا ۵۸° و ۲۹' عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). از سمت غرب به دشت رفسنجان-انار و در سمت شرق به کویر لوت منتهی می‌شود. از آنجایی که اقتصاد این منطقه بر مبنای فعالیت در بخش کشاورزی استوار است، حدود ۹۸٪ از حجم آب برداشت شده از سفره آب زیرزمینی صرف فعالیت‌های کشاورزی بخصوص باغات پسته می‌شود.

هیدرولیکی: رودخانه مرت، سامسون، ترکیه پرداخته است و نتایج دقیقی را ارائه داده است که ارزیابی از آن قابل دسترس است. ساملا و همکاران (۱۹) نیز در مطالعه خود به کاربرت ابزار GIS برای ترسیم مقرون به صرفه مناطق مستعد سیل پرداخته است و نشان داده است که این برنامه ابزاری دقیق برای تهیه نقشه‌های سیل است. یوسف و هکاپ (۲۶) نیز در پژوهش خود حساسیت به سیل در راس الغریب مصر را بررسی کرده‌اند و با توجه بالا بودن خطر سیلاب در مناطقی پیشنهاداتی ارائه نموده است که در راستای کاهش مخاطرات احتمالی می‌تواند کمک کننده باشد. داس (۶) نیز در مطالعه خود برای تعیین قابلیت سیل خیزی و پاسخ هیدروژئومورفیک به سیل در حوضه اولهاس هند، به نقشه برداری زمینی پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که در اولویت‌های تعیین شده برای سوابق سیلابی تاثیر بیشتری باید دیده شود. بنابراین در مجموع آنچه که از پیشینه ذکر شده به دست می‌آید، نشان می‌دهد که تاکنون روش‌های نقشه برداری زمینی، و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از روش‌های معمول در ارزیابی سیلاب‌های مناطق مختلف بوده است. در حالی که در این پژوهش از پردازش تصاویر راداری و تکنیک‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره در راستای ارزیابی سیلاب استفاده شده است و دریچه نوینی در این راستا می‌گشاید.

شهرستان زرنند بواسطه برخی از شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی، مستعد وقوع سیلاب‌هایی بوده است. در این ارتباط ابتدا باید به شرایط کلی استان کرمان اشاره نمود که جزء مناطق خشک و کم آب کشور محسوب می‌شود در نتیجه آن فرسایش بالا و به همین جهت از مناطق مستعد سیل‌خیز کشور می‌باشد. در این استان اگرچه متوسط بارندگی سالانه آن در حدود ۱۴۵ میلیمتر می‌باشد، اما این بارش‌ها از پراکنش زمانی و مکانی بسیار نامناسبی برخوردار بوده و طی چند بارندگی حادث می‌شوند. قاعدتاً شهرستان زرنند نیز از این قاعده مستثنی نبوده و گاهی تمامی سهم بارندگی سالانه خود را در طی چند ساعت دریافت می‌کند که این به معنای ایجاد پتانسیلی بالقوه برای وقوع سیل در نظر گرفته می‌شود. از سوی



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه

Fig. 1. the study area location

جریان تجمعی

جریان تجمعی مهمترین پارامتر در سیل خیزی می باشد (۲۴). با افزایش انباشتگی جریان آب، مقادیر جریان تجمعی در پایین دست حوضه افزایش می یابد. بنابراین مناطق پایین دست بیشتر مستعد سیل است زیرا تجمع جریان آنها بسیار زیاد است. بدین منظور ابتدا شبکه آبراهه ها از روی نقشه توپوگرافی ۲۵۰۰۰ ترسیم شد و سپس در محیط GIS لایه جهت جریان استخراج و از آن، لایه جریان تجمعی استخراج شد.

قابلیت تخلیه

قابلیت تخلیه به ظرفیت انتقال آب در سیستم آبراهه ای و توانایی زهکشی منطقه اشاره دارد (۲۴). معیار مذکور از تلفیق لایه تراکم آبراهه و لایه ارتفاع به دست می آید. به طوری که مناطق کم ارتفاع با تراکم آبراهه ای کم، قابلیت تخلیه کم و بیشترین استعداد در سیل خیزی را دارند. در حالی که مناطق مرتفع و دارای تراکم آبراهه ای بالا قابلیت تخلیه بهتری داشته و از سیلاب مصون می باشند. نقشه تراکم آبراهه ای با استفاده از

داده های مورد استفاده

در این تحقیق از ترکیبی از مجموعه داده های ماهواره ای راداری و چند طیفی، نقشه های زمین شناسی و توپوگرافی جهت نیل به اهداف مورد نظر استفاده شده است. در این راستا از دو سری تصویر ماهواره ای شامل یک سین تصویر راداری مربوط به سنجنده Sentinel 1، ماهواره Soyuz سازمان فضایی اروپا با فرمت GRD از نوع مد Image با پلاریزاسیون VV، که مربوط به تاریخ ۲۶ تیر ماه ۱۴۰۰ است، و یک سین تصویر چند طیفی مربوط به سنجنده Sentinel 2 استفاده شد. تحلیل های انجام گرفته با استفاده از نرم افزارهای ENVI و SNAP 6 انجام گرفت. همچنین مدل ارتفاع رقومی استفاده شده در این تحقیق از نوع SRTM 30 می باشد. سیل خیزی منطقه به عوامل مختلف هیدرولوژی و ژئومورفولوژی بستگی دارد (۷ و ۱۵)، بر این اساس در این پژوهش از هشت عامل تاثیرگذار شامل معیار جریان تجمعی، قابلیت تخلیه، ارتفاع، فاصله از آبراهه، پوشش زمین، ضریب رواناب، شیب و لیتولوژی استفاده شد که در ادامه به ماهیت و نحوه تهیه هر لایه اشاره می شود.

ایجاد سیلاب می‌شود (۱۲) نقشه پوشش زمین با استفاده از روش طبقه‌بندی بر روی تصاویر سنتینل ۲ استخراج شد.

شیب

شیب زمین نقش بسیار مهمی در نفوذپذیری و کنترل عواملی مانند سیل‌خیزی، دارد. شیب سرعت و انباشتگی جریان آب را کنترل می‌کند. شیب زیاد به تخلیه سریع آب کمک کرده درحالی که شیب کم ممکن است به جمع شدن آب منجر شده و باعث جاری شدن سیل شود (۱). به منظور تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی SRTM ۳۰ متری استفاده شد.

لیتولوژی

نوع سنگ و خصوصیات وابسته به آن نظیر تخلخل و بافت نقش مهمی در نفوذپذیری اولیه و میزان جریان آب سطحی و در نتیجه ظرفیت نفوذ و رواناب یک منطقه دارد. به طور مثال معمولاً آبرفتها نفوذپذیری بهتری نسبت به ماسه سنگ‌ها دارند (۳). در این پژوهش نقشه لیتولوژی منطقه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زرنند تهیه شد.

روش حد آستانه در شناسایی سیلاب

روش حد آستانه شامل تفکیک تصویر به محدوده‌های مختلف در مقیاس خاکستری بر اساس پیک‌های هیستوگرام است (۹) این روش عمدتاً بر این فرض استوار است که مقادیر بازتاب طیف توسط ناحیه سیل‌زده در تصاویر SAR بسیار کم است و بنابراین، کافی است پیکسل‌هایی را انتخاب کنید که زیر یک مقدار آستانه معین هستند تا مناطق سیل‌زده را شناسایی کنید. تعیین حد آستانه مناسب تاثیر زیادی در نتایج دارد. بنابراین، پیکسل‌های مربوط به سیل با استفاده از واریانس روشنایی تخمین زده می‌شوند. پیکسل‌های سیل‌زده از رابطه زیر شناسایی می‌شوند:

$$PD = (\{\mu [D]\} - kf * \{\sigma [D]\}) \quad [1]$$

ابزار Point Density و همچنین تلفیق لایه تراکم آبراهه‌ای و ارتفاع جهت تهیه معیار قابلیت تخلیه در محیط ArcGIS انجام گرفت.

ضریب رواناب

ضریب رواناب معیاری است که نشان‌دهنده نسبت بین میزان رواناب مستقیم و کل بارش رخ داده در حوضه آبریز است. از این از آن به عنوان یکی از معیارهای مهم در کنترل سیلاب نام می‌برند (۲۳). این پارامتر عمدتاً نشانگر تاثیر لیتولوژی، شیب و کاربری زمین برای تولید رواناب است. بنابراین برای تهیه آن، لایه پوشش زمین، شیب و لیتولوژی با هم تلفیق می‌شوند.

فاصله از آبراهه

همواره مناطقی که در فاصله کمتری از شبکه آبراهه قرار دارند نسبت به مناطقی که در فاصله بیشتری قرار گرفته‌اند، احتمال بیشتری وجود دارد که دچار سیلاب شوند، زیرا مناطق نزدیک‌تر در مسیر جریان سطحی قرار دارند (۲۳). لایه فاصله از آبراهه با استفاده از لایه آبراهه‌ها و از طریق ابزار Buffering در محیط GIS استخراج شد.

ارتفاع

ارتفاع یکی از مهمترین پارامترها در توانایی سیل‌خیزی در دشت‌های سیلابی است. مناطقی که ارتفاع کمی دارند به دلیل ورود آب از مناطق بالاتر آسیب‌پذیرند (۱۶) لایه مذکور از روی مدل ارتفاع رقومی ۳۰ متر تهیه شد.

پوشش زمین (پوشش اراضی و کاربری اراضی)

نوع پوشش زمین فرایندهای هیدرولوژیکی را به طریق مختلف کنترل می‌کند. به طوری که همواره کاربری‌های مسکونی، زمین‌های خشک و بیابانی به ایجاد سیل کمک می‌کنند در حالی که پوشش گیاهی باعث نفوذ آب و مانع از

زیرمجموعه‌ای از روش‌های مختلف است مانند روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش تحلیل شبکه‌ای (ANP)، روش فازی و تلفیق روش‌های مختلف، که در این تحقیق از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی و فازی جهت بررسی معیارهای مختلف موثر در امر سیل‌خیزی استفاده شده است. چالش بزرگ و اصلی این روش تنها انتخاب معیارهای واقعی، دقیق و تاثیرگذار در امر سیل‌خیزی است. نحوه انتخاب معیارها، به دانش کافی در زمینه هیدرولوژی نیاز دارد. علاوه بر این یکی از مهمترین مراحل فرآیند تصمیم‌گیری تعیین وزن معیارها است. به طوری که وزنه‌ای که به معیارها داده می‌شود مستقیماً بر روی نتیجه تجزیه و تحلیل تاثیر خود را نشان می‌دهد. دقت تجزیه و تحلیل بستگی به تعیین وزن با دقت مناسب دارد. روشهای مختلفی برای تعیین وزن معیارها وجود دارد، و از آنجا که این روشها به لحاظ میزان دقت، سهولت استفاده و ساختار نظری از یکدیگر متفاوت هستند، انتخاب روش وزن-دهی به اولویت تصمیم‌گیران بستگی دارد.

روش Fuzzy-AHP

روش Fuzzy-AHP اولین بار توسط چانگ (۵) ارائه شده است. تفاوت اساسی این روش نسبت به روش AHP تفاوت در نحوه وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها است به طوری که در این روش وزن‌دهی به صورت فازی انجام می‌گیرد. و ماتریس مقایسات دودویی به صورت فازی بیان می‌گردد. جدول شماره ۱ مقیاس‌های فازی مورد استفاده در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی را نشان می‌دهد. بنابراین در روش Fuzzy-AHP فرایند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از مفاهیم اساسی نظریه مجموعه‌های فازی و به ویژه اعداد فازی، به فضای فازی توسعه داده می‌شود (۱۸). مراحل انجام این روش به منظور تهیه نقشه خطر سیلاب حوضه آبریز زرنند شامل موارد زیر می‌باشد.

که در آن PD پیکسل‌های سیل شده، μ میانگین پیکسل‌ها و σ انحراف استاندارد پیکسل‌ها است. مقدار بهینه kf (حد آستانه) برای این ناحیه بر اساس چندین تکرار ۱.۵ تعیین شد. بسیاری از معیارها در طول کالیبراسیون مقدار kf ، از جمله مقدار نویز باقیمانده و پوشش آن، و تمایز انواع مشخصه سیل (به عنوان مثال طغیان بسترهای خشک و نزدیکی به رودخانه‌ها) آزمایش می‌شوند.

در مرحله پیش پردازش، تصاویر SAR به صورت رادیومتری کالیبره می‌شوند و سپس برای کاهش نویز فیلتر می‌شوند. یک فیلتر 3×3 بر روی تصویر خام اعمال شد زیرا این نوع فیلتر، قابلیت از بین بردن نویزهای بالاتری نسبت به سایر فیلترها دارد (۲۵) سپس تصاویر فیلتر شده به تصاویر Sigma Naught در واحد دسی بل (dB) تبدیل شدند. در مرحله پس پردازش، حذف اثر سایه از مراحل ضروری است. اثر سایه در جایی اتفاق می‌افتد که موج رادار از رسیدن به سطح زمین محدود می‌شود و نتیجه آن مشابه بازتابی مناطق آبی در SAR است، در نتیجه مناطقی با نقاط مثبت کاذب برای سیل ایجاد می‌کند. برای این منظور از مدل رقومی ارتفاع (DEM) استفاده شد، به طوری که مناطق در نقشه سیلاب با مقادیر شیب بیش از ۱۵ درجه سایه فرض شده و از نتایج حذف شدند. از تصاویر سنتینل ۱ جهت اعتبارسنجی روش Fuzzy-AHP استفاده شد. بدین صورت که با اعمال روش حد آستانه بر روی تصاویر سنتینل ۱ مناطق سیل‌زده در محدوده مورد مطالعه شناسایی و با نقشه سیلاب به دست آمده از روش مذکور مقایسه می‌شود.

تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)

یکی از روش‌های تصمیم‌گیری در موضوعات مختلف، بررسی و آنالیز معیارهای مختلف درگیر و موثر آن موضوع است. بدین منظور روشی به نام تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره طراحی و استفاده شده است. این روش خود شامل

جدول ۱. طریقه وزن‌دهی معیارها در روش Fuzzy-AHP (۲۱)

Table 1. How to weigh the criteria in Fuzzy-AHP method

معکوس اعداد فازی	اعداد فازی	مقیاس زبانی برای وزن‌دهی
(1, 1, 1)	(1, 1, 1)	عیناً یکسان
($\frac{3}{2}, 1, 2$)	($\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}$)	اهمیت برابر یا عدم ترجیح
($\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1$)	($1, \frac{3}{2}, 2$)	نسبتاً مهم‌تر
($\frac{2}{5}, \frac{1}{2}, \frac{2}{3}$)	($\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2}$)	مهم‌تر
($\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{1}{2}$)	($2, \frac{5}{2}, 3$)	خیلی مهم‌تر
($\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5}$)	($\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2}$)	کاملاً مهم‌تر

تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. اساس اختلاف این روش با روش‌های دیگر، در تعریف تابع عضویت است. تابع عضویت نشانگر درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌های آن است. در این تحقیق با استفاده از توابع عضویت خطی، نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌اند.

شاخص خطر سیلاب

پس از محاسبه وزن و رتبه بندی هر پارامتر، از رابطه زیر برای تهیه شاخص خطر سیل (FHI) استفاده شده است (۷).

$$FHI = \sum_{i=1}^{j=1 \text{ to } 5} r_{ij} \cdot w_i \quad [۲]$$

جایی که r_{ij} رتبه بندی پارامتر i ام برای دسته j ام، w_i وزن پارامتر i ام است که از طریق FuzzyAHP به دست می‌آید، و n تعداد معیارها (پارامترها) است. در نهایت، برای به دست آوردن مناطق خطر، مقادیر لایه رستری FHI به پنج کلاس طبقه بندی می‌شود. شکل شماره ۲ فلوچارت مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

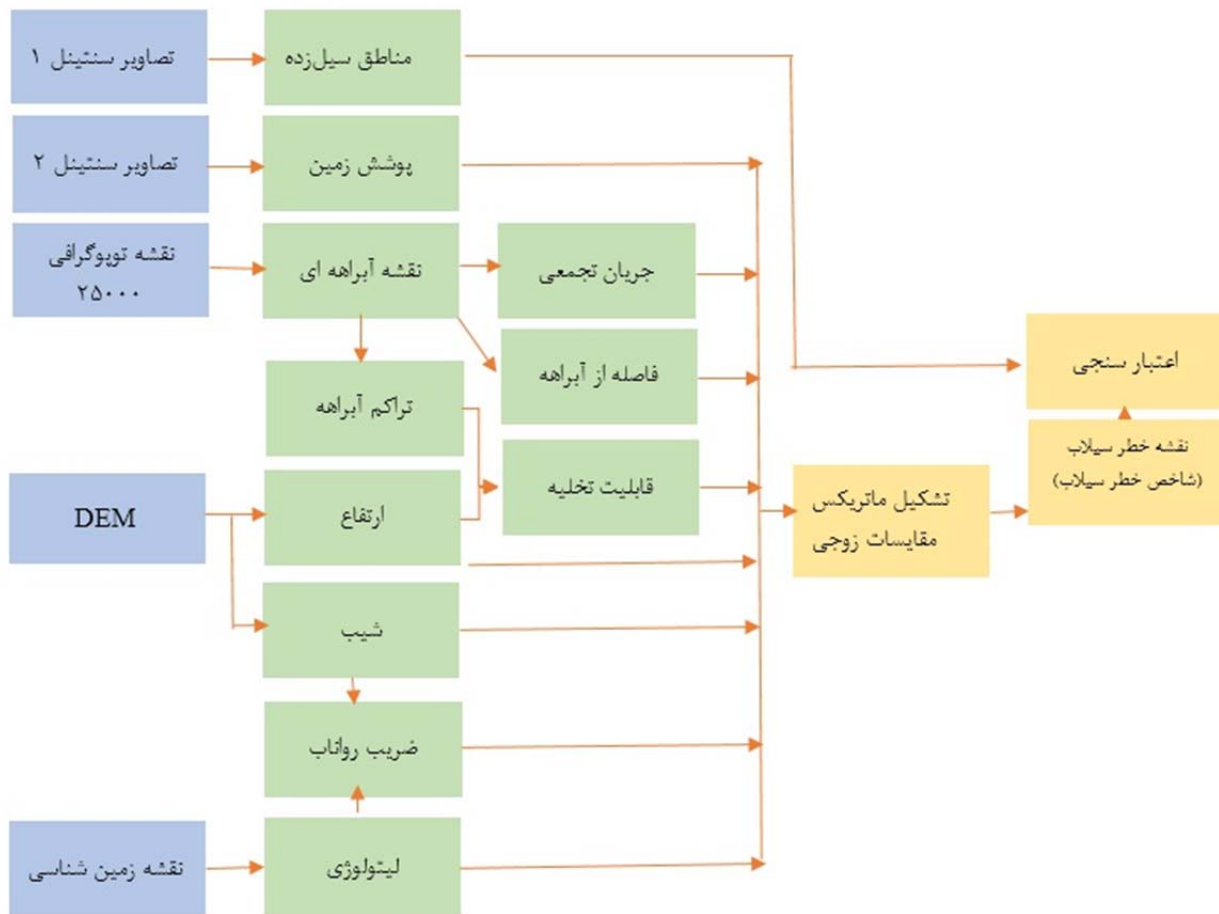
۱- ساخت پایگاه داده‌های فضایی و ایجاد و سازماندهی داده‌های فضایی مربوط به پتانسیل‌یابی و ساماندهی آنها در قالب مدل‌های برداری و رستری.

۲- مرحله پردازش داده‌ها که شامل استخراج نقشه‌های مشتق شده از لایه‌های مختلف است.

۳- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی با بکارگیری اعداد فازی: ماتریس مقایسه زوجی با کمک نظرات تصمیم‌گیرندگان درباره اهمیت عوامل نسبت به یکدیگر به صورت زوجی تشکیل می‌شود. درایه‌های این ماتریس اعداد فازی مثلثی هستند که مولفه اول آن میزان حداقل نظرات، مولفه دوم میانگین نظرسنجی‌ها و مولفه سوم میزان حداکثر نظرسنجی‌ها می‌باشد. در این راستا از ۲۰ متخصص نظرسنجی شد. بر اساس نظرات کارشناسی، معیارها دو به دو مقایسه شده و بر اساس اعداد فازی جدول شماره ۱، وزن نهایی هر معیار محاسبه می‌شود.

۴- محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن نهایی.

تعیین درجه عضویت فازی بر اساس توابع عضویت و تهیه نقشه فازی هر یک از عوامل، یکی از اساسی‌ترین مباحث در



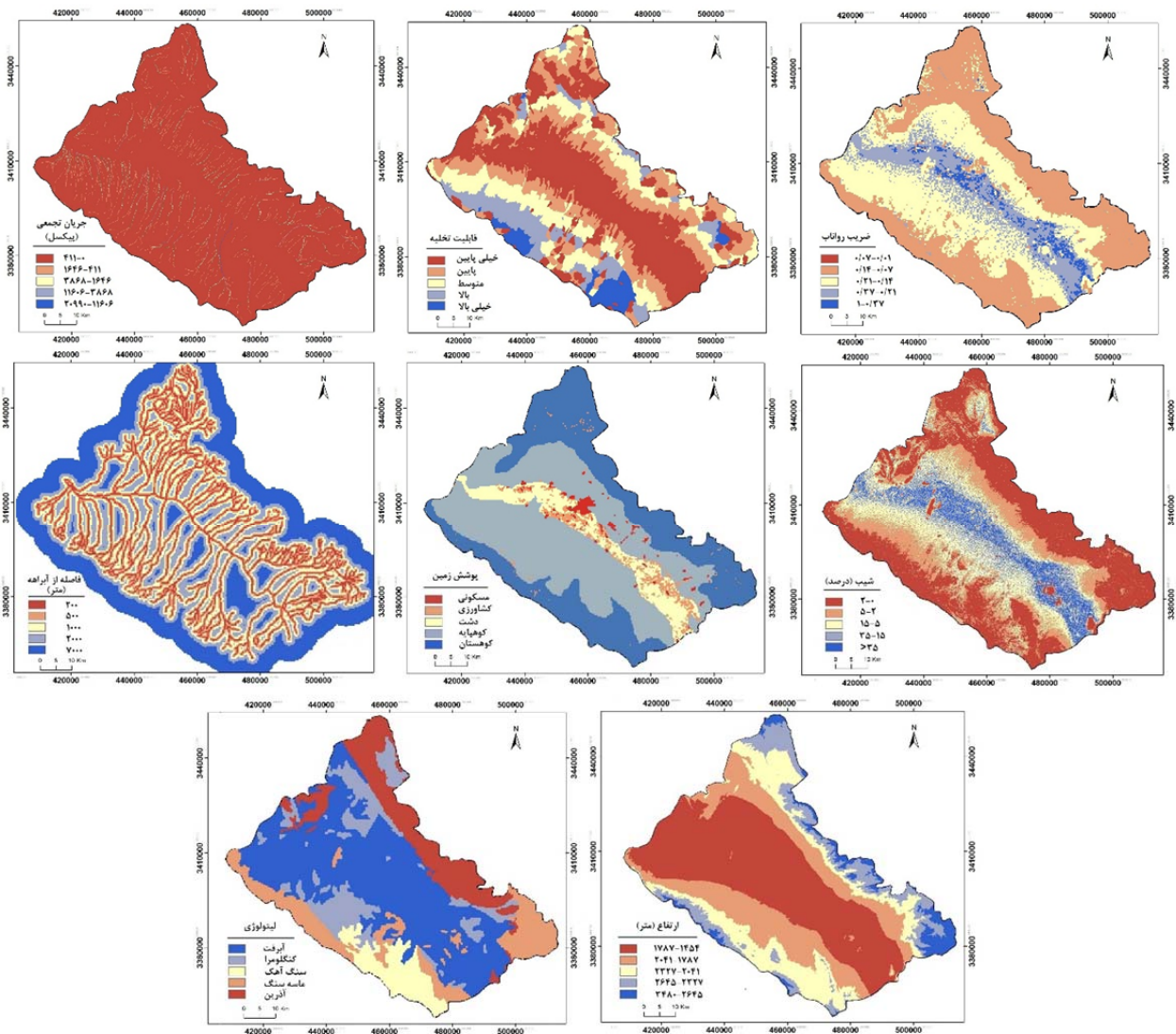
شکل ۲. فلوجارت روش تحقیق

Fig. 2. Flowchart of research methods

نتایج و بحث

نقشه معیارهای موثر در سیل خیزی

به منظور شناسایی و تهیه نقشه خطر سیلاب، عوامل و معیارهای موثر در سیل خیزی مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت به صورت نقشه در محیط GIS ترسیم شدند. نقشه ۸ معیار موثر در سیل خیزی در شکل شماره ۳ مشاهده می شود.



شکل ۳. نقشه معیارهای مختلف تاثیرگذار در سیل خیزی، a: نقشه جریان تجمعی، b: نقشه قابلیت تخلیه، c: نقشه ضریب

رواناب، d: نقشه فاصله از آبراهه، e: نقشه پوشش زمین، f: نقشه شیب، g: لیتولوژی، h: ارتفاع

Fig. 3. Map of different criteria affecting flooding, a: flow accumulation, b: draining capability, c: runoff coefficient, d: distance to drainage, e: land cover, f: slope, g: lithology, H: elevation

محاسبه شده است. بر این اساس معیار جزیان تجمعی با وزن ۰/۴۳۶ موثرترین عامل و معیار ارتفاع با وزن ۰/۰۴۳ کمترین تاثیر را در سیل خیزی دارد.

از آنجایی که هر یک از معیارهای نامبرده نیز در درون خود دارای زیرمعیارهایی هست که آنها نیز میزان تاثیرات متفاوتی در سیل خیزی دارند بایستی هر یک از آنها نیز به صورت دودویی مقایسه شده و وزن دهی شوند. در این راستا ماتریس مقایسه دودویی برای همه معیارها جداگانه تهیه شد (جدول ۳

ماتریس مقایسات دودویی معیارها و نقشه‌های فازی

به منظور دستیابی به نقشه نهایی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در روش سلسله مراتبی فازی می‌بایست ابتدا تک تک معیارها وزن دهی شده و بر اساس آن تلفیق انجام گیرد. ملاک مقایسه دودویی و وزن دهی، نظرات کارشناسی می‌باشد. جدول شماره ۲ ماتریس مقایسه دودویی معیارها را نشان می‌دهد. در این جدول ضمن تحلیل و مقایسه دودویی معیارها بر اساس اعداد فازی جدول شماره ۱، وزن نهایی هر معیار نیز

تا ۱۰). نقشه‌های فازی تهیه شده از هر یک از معیارها نیز در شکل شماره ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۲. ماتریس مقایسه دودویی معیارها

Table 2. Criteria binary comparison matrix

فاکتور	ارتفاع	لیتولوژی	شیب	پوشش زمین	فاصله از آبراهه	ضریب رواناب	قابلیت تخلیه	جریان تجمعی	وزن نهایی
ارتفاع	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	(2, $\frac{5}{2}$, 3)	(2, $\frac{5}{2}$, 3)	($\frac{5}{2}$, 3, $\frac{7}{2}$)	($\frac{5}{2}$, 3, $\frac{7}{2}$)	۰/۰۴۳
لیتولوژی	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	($\frac{5}{2}$, 3, $\frac{7}{2}$)	($\frac{5}{2}$, 3, $\frac{7}{2}$)	۰/۰۹۷
شیب	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	(2, $\frac{5}{2}$, 3)	(2, $\frac{5}{2}$, 3)	(2, $\frac{5}{2}$, 3)	۰/۱۱۵
پوشش زمین	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	۰/۱۶۳
فاصله از آبراهه	($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	۰/۲۶۸
ضریب رواناب	($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	۰/۳۶۸
قابلیت تخلیه	($\frac{2}{7}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$)	($\frac{2}{7}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	۰/۳۹۷
جریان تجمعی	($\frac{2}{7}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$)	($\frac{2}{7}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{5}$)	($\frac{1}{3}$, $\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	(1, 1, 1)	۰/۴۳۶

از بین معیارهای مختلف معیار جریان تجمعی به عنوان مهمترین عامل، محسوب می‌شود که در شکل ۳a ترسیم شده است. همان‌طور که در این نقشه مشاهده می‌شود منطقه مورد مطالعه به لحاظ جریان تجمعی به ۵ طبقه تقسیم شده است. هر چه میزان جریان تجمعی بیشتر باشد انباشتگی جریان آب

افزایش می‌یابد. در نتیجه در مرحله مقایسه دودویی و وزندهی بالاترین وزن به طبقه آخر و سپس به طبقات دیگر تعلق می‌گیرد. در ماتریس مقایسه دودویی مربوط به معیار جریان تجمعی زیرمعیار طبقه آخر وزن ۰/۲۵۸ و به زیرمعیار طبقه اول وزن ۰/۱۲۶ تعلق می‌گیرد (جدول ۳).

جدول ۳. ماتریس مقایسه دودویی معیار جریان تجمعی

Table 3. Binary comparison matrix of flow accumulation criterion

وزن نهایی	۱۱۶۰۶ - ۲۰۹۹۰	۳۸۶۸ - ۱۱۶۰۶	۱۶۴۶ - ۳۸۶۸	۴۱۱ - ۱۶۴۶	۰ - ۴۱۱	جریان تجمعی
۰/۱۲۶	($\frac{3}{2}$, 2, $\frac{5}{2}$)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$)	(1, 1, 1)	۰ - ۴۱۱
۰/۱۷۴	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$)	(1, 1, 1)	($\frac{3}{2}$, 1, 2)	۴۱۱ - ۱۶۴۶
۰/۲۰۴	(1, $\frac{3}{2}$, 2)	($\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$)	(1, 1, 1)	($\frac{3}{2}$, 1, 2)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	۱۶۴۶ - ۳۸۶۸
۰/۲۳۶	($\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{2}$)	(1, 1, 1)	($\frac{3}{2}$, 1, 2)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	۳۸۶۸ - ۱۱۶۰۶
۰/۲۵۸	(1, 1, 1)	($\frac{3}{2}$, 1, 2)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{1}{2}$, $\frac{2}{3}$, 1)	($\frac{2}{5}$, $\frac{2}{3}$, $\frac{2}{3}$)	۱۱۶۰۶ - ۲۰۹۹۰

جدول ۴. ماتریس مقایسه دودویی معیار قابلیت تخلیه

Table 4. Binary comparison matrix of draining capability criterion

وزن نهایی	خیلی پایین	پایین	متوسط	بالا	خیلی بالا	قابلیت تخلیه
۰/۰۳۵	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	خیلی بالا
۰/۱۰۵	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	بالا
۰/۲۴۶	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	متوسط
۰/۲۸۵	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{2})$	پایین
۰/۳۳۲	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{2})$	$(\frac{2}{7}, \frac{2}{3}, \frac{2}{5})$	خیلی پایین

جدول ۵. ماتریس مقایسه دودویی معیار ضریب رواناب

Table 5. Binary comparison matrix of runoff coefficient criterion

وزن نهایی	۰/۳۷ - ۱	۰/۲۱ - ۰/۳۷	۰/۱۴ - ۰/۲۱	۰/۰۷ - ۰/۱۴	۰/۰۱ - ۰/۰۷	ضریب رواناب
۰/۱۸۱	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	۰/۰۱ - ۰/۰۷
۰/۲۱۴	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	۰/۰۷ - ۰/۱۴
۰/۲۳۱	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	۰/۱۴ - ۰/۲۱
۰/۲۵۷	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	$(\frac{2}{7}, \frac{2}{3}, \frac{2}{5})$	۰/۲۱ - ۰/۳۷
۰/۳۱۸	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	$(\frac{2}{7}, \frac{2}{3}, \frac{2}{5})$	$(\frac{2}{7}, \frac{2}{3}, \frac{2}{5})$	۰/۳۷ - ۱

جدول ۶. ماتریس مقایسه دودویی معیار فاصله از آبراهه

Table 6. Binary comparison matrix of distance to drainage criterion

وزن نهایی	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۷۰۰۰	فاصله از آبراهه
۰/۱۲۶	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	۷۰۰۰
۰/۱۷۴	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	۲۰۰۰
۰/۲۰۴	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	۱۰۰۰
۰/۲۳۶	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	۵۰۰
۰/۲۵۸	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	۲۰۰

جدول ۷. ماتریس مقایسه دودویی معیار پوشش زمین

Table 7. Binary comparison matrix of land cover criterion

وزن نهایی	مناطق مسکونی	مناطق کشاورزی	دشت	کوهپایه	کوهستان	پوشش زمین
۰/۰۳۵	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	کوهستان
۰/۱۰۵	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	کوهپایه
۰/۲۴۶	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	دشت
۰/۲۸۵	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{2})$	مناطق کشاورزی
۰/۳۳۲	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{2}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{2})$	$(\frac{2}{7}, \frac{2}{3}, \frac{2}{5})$	مناطق مسکونی

جدول ۸. ماتریس مقایسه دودویی معیار شیب

Table 8. Binary comparison matrix of slope criterion

وزن نهایی	۰ - ۲	۲ - ۵	۵ - ۱۵	۱۵ - ۳۵	> ۳۵	شیب (درصد)
۰/۱۳۷	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	> ۳۵
۰/۱۶۹	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	۱۵ - ۳۵
۰/۱۷۸	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	۵ - ۱۵
۰/۲۱۹	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	۲ - ۵
۰/۲۹۸	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	۰ - ۲

جدول ۹. ماتریس مقایسه دودویی معیار لیتولوژی

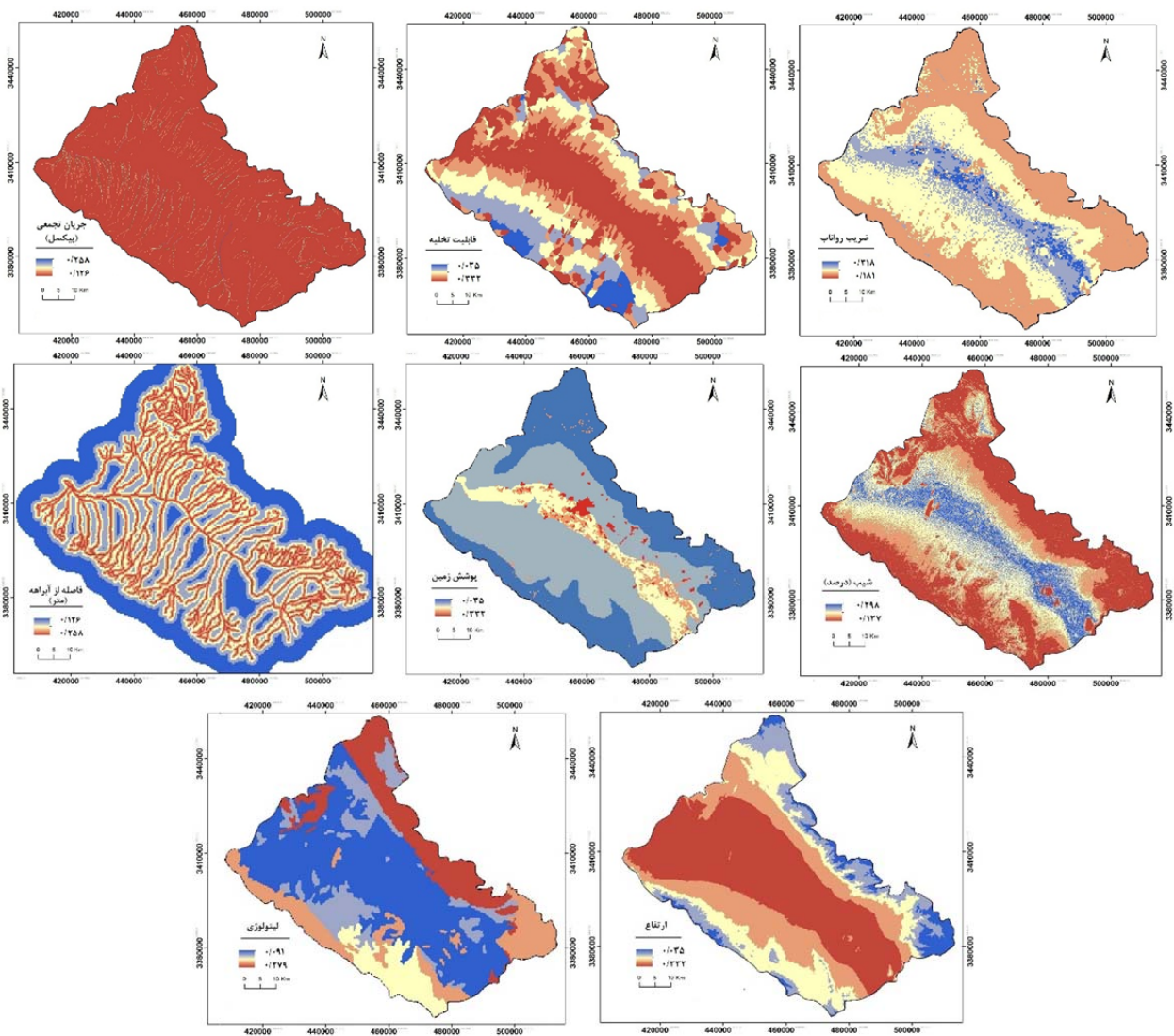
Table 9. Binary comparison matrix of litology criterion

وزن نهایی	آذرین	ماسه سنگ	سنگ آهک	کنگومرا	آبرفت	لیتولوژی
۰/۰۹۱	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	(1, 1, 1)	آبرفت
۰/۱۴۵	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	(1, 1, 1)	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	کنگومرا
۰/۱۹۹	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	(1, 1, 1)	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	سنگ آهک
۰/۲۴۶	$(1, \frac{3}{2}, 2)$	(1, 1, 1)	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3})$	ماسه سنگ
۰/۲۷۹	(1, 1, 1)	$(\frac{1}{2}, \frac{2}{3}, 1)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3})$	$(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$	آذرین

جدول ۱۰. ماتریس مقایسه دودویی معیار ارتفاع

Table 10. Binary comparison matrix of elevation criterion

وزن نهایی	۱۴۵۴ - ۱۷۸۷	۱۷۸۷ - ۲۰۴۱	۲۰۴۱ - ۲۳۲۷	۲۳۲۷ - ۲۶۴۵	۲۶۴۵ - ۳۴۸۰	ارتفاع (متر)
۰/۰۳۵	$(\frac{5}{2}, 3, \frac{7}{2})$	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	۲۶۴۵ - ۳۴۸۰
۰/۱۰۵	$(2, \frac{5}{2}, 3)$	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	۲۳۲۷ - ۲۶۴۵
۰/۲۴۶	$(\frac{3}{2}, 2, \frac{5}{2})$	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	۲۰۴۱ - ۲۳۲۷
۰/۲۸۵	$(\frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2})$	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3})$	۱۷۸۷ - ۲۰۴۱
۰/۳۳۲	(1, 1, 1)	$(\frac{3}{2}, 1, 2)$	$(\frac{2}{5}, \frac{2}{3}, \frac{2}{3})$	$(\frac{1}{3}, \frac{2}{5}, \frac{2}{3})$	$(\frac{2}{7}, \frac{1}{3}, \frac{2}{5})$	۱۴۵۴ - ۱۷۸۷



شکل ۴. نقشه‌های فازی شده معیارهای مختلف، a: نقشه جریان تجمعی، b: نقشه قابلیت تخلیه، c: نقشه ضریب رواناب، d:

نقشه فاصله از آبراهه، e: نقشه پوشش زمین، f: نقشه شیب، g: لیتولوژی، h: ارتفاع

Fig. 4. Fuzzy maps of different criteria, a: flow accumulation, b: draining capability, c: runoff coefficient, d: distance to drainage, e: land cover, f: slope, g: lithology, H: elevation

طبقه با توان تخلیه خیلی زیاد وزن 0.35 می‌گیرد (جدول ۴). فاکتورهای دیگر مؤثر سیل خیزی نیز به همین صورت طبقه‌بندی و وزندهی شده‌اند که در جداول شماره ۵ تا ۱۰ قابل مشاهده هستند.

نقشه خطر سیلاب

جدول شماره ۱۱ وزن معیارها، زیرمعیارها و وزن نهایی هر یک را نشان می‌دهد. در این جدول وزن نهایی هر یک از

فاکتور قابلیت تخلیه نیز یکی دیگر از عوامل تاثیرگذار در سیل خیزی محسوب می‌شود، به طوری که مناطق کم ارتفاع با تراکم آبراهه‌ای کم، قابلیت تخلیه کم و بیشترین استعداد در سیل خیزی را دارند. در حالی که مناطق مرتفع و دارای تراکم آبراهه‌ای بالا قابلیت تخلیه بهتری داشته و از سیلاب مصون می‌باشند. همانطور که در نقشه شماره ۴b مشاهده می‌کنید محدوده مورد مطالعه از این لحاظ به پنج طبقه تقسیم شده است که طبقه با توان تخلیه خیلی کم دارای وزن 0.332 و

بسیار بالا تقسیم می‌شود. در حدود ۵ درصد از محدوده مورد مطالعه را خطر بسیار بالا (۱۸۱۰۰ هکتار)، ۲۳ درصد خطر بالا (۹۴۱۰۰ هکتار)، ۴۴ درصد خطر متوسط (۱۷۹۷۰۰ هکتار)، ۲۲ درصد خطر کم (۸۸۲۰۰ هکتار) و ۶ درصد بسیار کم (۲۳۱۰۰ هکتار)، تشکیل می‌دهد. محدوده‌های خطر بالا و خیلی بالا بیشتر در دشت و مناطق مخروط افکنه‌ای واقع شده‌اند.

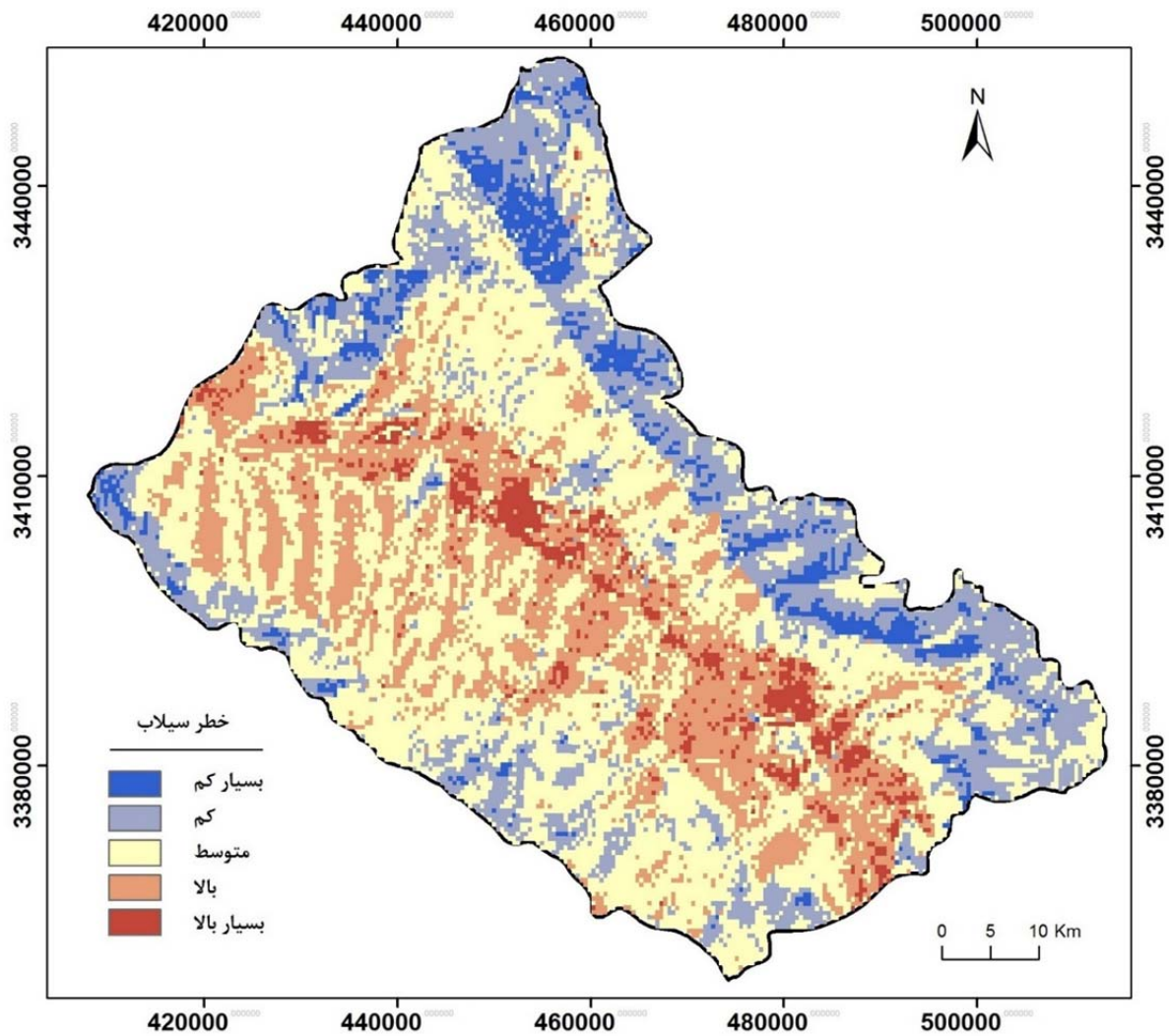
زیرمعیارها با ضرب وزن معیار اصلی در وزن زیر معیار به دست آمده است. به منظور تهیه شاخص و نقشه خطر سیلاب، تمام نقشه‌های تهیه شده و وزندهی شده به روش سلسله مراتبی فازی در محیط GIS با یکدیگر تلفیق شد. و با استفاده از روش طبقه‌بندی کمی، نقشه مذکور طبقه‌بندی شد. شکل شماره ۵ نقشه خطر سیلاب را نشان می‌دهد، همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، به لحاظ خطر سیلاب محدوده مورد مطالعه به ۵ طبقه خطر بسیار کم، کم، متوسط، بالا و

جدول ۱۱- وزن معیارها و زیرمعیارها و وزن نهایی

Table 11. Weight of criteria and sub-criteria and final weight

Fuzzy-AHP			زیر معیار	معیار
وزن نهایی	وزن زیرمعیار	وزن معیار		
۰/۰۵۵	۰/۱۲۶	۰/۴۳۶	۰-۴۱۱	جریان تجمعی
۰/۰۷۶	۰/۱۷۴		۴۱۱-۱۶۴۶	
۰/۰۸۹	۰/۲۰۴		۱۶۴۶-۳۸۶۸	
۰/۱۰۲	۰/۲۳۶		۳۸۶۸-۱۱۶۰۶	
۰/۱۱۲	۰/۲۵۸		۱۱۶۰۶-۲۰۹۹۰	
۰/۰۱۴	۰/۰۳۵	۰/۳۹۷	خیلی بالا	قابلیت تخلیه
۰/۰۴۲	۰/۱۰۵		بالا	
۰/۰۹۸	۰/۲۴۶		متوسط	
۰/۱۱۳	۰/۲۸۵		پایین	
۰/۱۳۲	۰/۳۳۲		خیلی پایین	
۰/۰۶۷	۰/۱۸۱	۰/۳۶۸	۰/۰۱-۰/۰۷	ضریب رواناب
۰/۰۷۹	۰/۲۱۴		۰/۰۷-۰/۱۴	
۰/۰۸۵	۰/۲۳۱		۰/۱۴-۰/۲۱	
۰/۰۹۶	۰/۲۵۷		۰/۲۱-۰/۳۷	
۰/۱۱۷	۰/۳۱۸		۰/۳۷-۱	
۰/۰۳۶	۰/۱۲۶	۰/۲۸۶	۷۰۰۰	فاصله از آبراهه
۰/۰۵۰	۰/۱۷۴		۲۰۰۰	
۰/۰۵۸	۰/۲۰۴		۱۰۰۰	
۰/۰۶۷	۰/۲۳۶		۵۰۰	

۰/۰۷۴	۰/۲۵۸		۲۰۰	
۰/۰۰۶	۰/۰۳۵	۰/۱۶۳	کوهستان	پوشش زمین
۰/۰۱۷	۰/۱۰۵		کوهپایه	
۰/۰۴۰	۰/۲۴۶		دشت	
۰/۰۴۶	۰/۲۸۵		مناطق کشاورزی	
۰/۰۵۴	۰/۳۳۲		مناطق مسکونی	
۰/۰۱۶	۰/۱۳۷	۰/۱۱۵	> ۳۵	شیب
۰/۰۱۹	۰/۱۶۹		۱۵ - ۳۵	
۰/۰۲۰	۰/۱۷۸		۵ - ۱۵	
۰/۰۲۵	۰/۲۱۹		۲ - ۵	
۰/۰۳۴	۰/۲۹۸		۰ - ۲	
۰/۰۰۹	۰/۰۹۱	۰/۰۹۷	آبرفت	لیتولوژی
۰/۰۱۴	۰/۱۴۵		کنگلوмера	
۰/۰۱۹	۰/۱۹۹		سنگ آهک	
۰/۰۲۴	۰/۲۴۶		ماسه سنگ	
۰/۲۷۹	۰/۲۷۹		آذرین	
۰/۰۰۲	۰/۰۳۵	۰/۰۴۳	۲۶۴۵ - ۳۴۸۰	ارتفاع
۰/۰۰۵	۰/۱۰۵		۲۳۲۷ - ۲۶۴۵	
۰/۰۱۱	۰/۲۴۶		۲۰۴۱ - ۲۳۲۷	
۰/۰۱۲	۰/۲۸۵		۱۷۸۷ - ۲۰۴۱	
۰/۰۱۴	۰/۳۳۲		۱۴۵۴ - ۱۷۸۷	



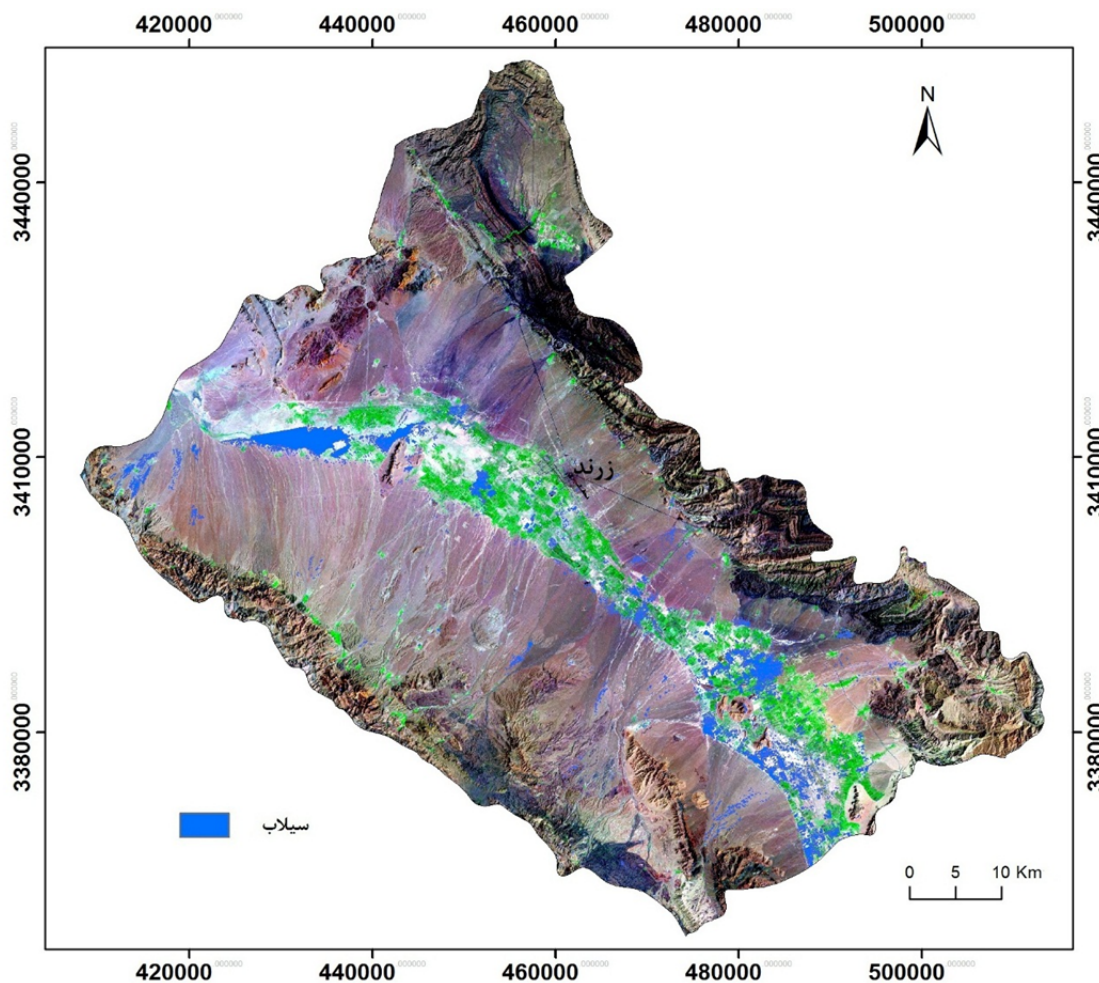
شکل ۵. نقشه خطر سیلاب

Fig. 5. Flood hazard map

روش حد آستانه بر روی تصویر مذکور استخراج شد. شکل شماره ۶ محدوده‌های سیلابی را نشان می‌دهد. مساحتی بالغ بر ۸۰۰۰ هکتار از محدوده مورد مطالعه تحت تاثیر سیلاب قرار گرفته است. شکل شماره ۷ تصاویری از مناطق سیل زده را نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی نقشه خطر سیلاب

به منظور اعتبارسنجی نقشه خطر سیلاب ایجاد شده است از روش Fuzzy-AHP از نقشه مناطق سیل زده حاصل از روش حد آستانه. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای راداری سنتینل ۱ مربوط به سیلاب ۲۶ تیرماه ۱۴۰۰ رخ داده در منطقه مورد مطالعه، استفاده شد، نقشه مناطق سیل زده با استفاده از اعمال



شکل ۶. نقشه مناطق سیل زده

Fig. 6. Flooded areas map

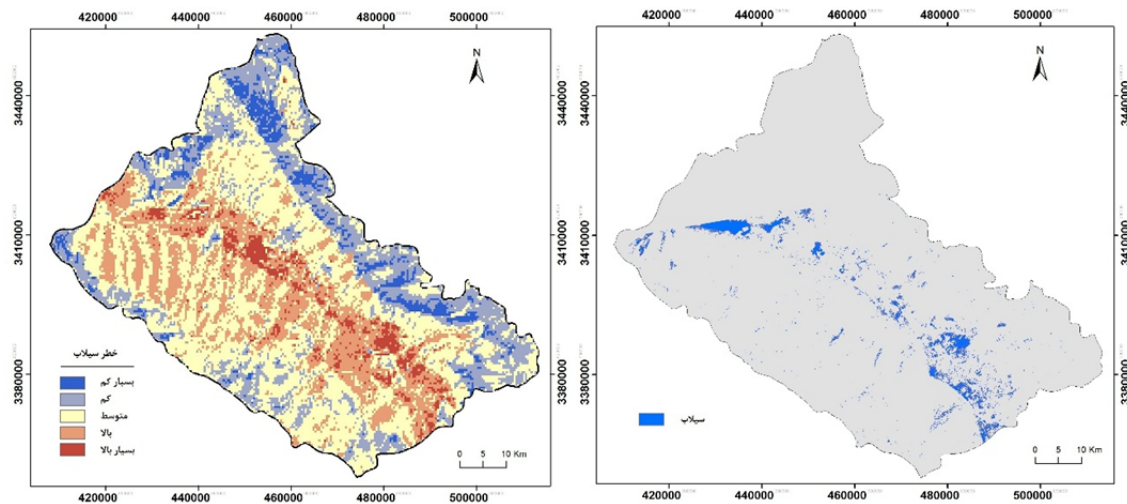
کاربری اراضی (پوشش زمین) در ارتباط با نقشه خطر سیلاب و نقشه مناطق سیل زده نشان می دهد که محدوده های کشاورزی در هر دو سناریو آسیب پذیرترین مناطق نسبت به پدیده سیلاب هستند. به طور کلی، تجزیه و تحلیل نشان می دهد که برآورد مناطق خطر سیلاب مبتنی بر شاخص کاملاً واقع بینانه است و از نزدیک با رویداد طغیان سیل مطابقت دارد.

به منظور اعتبارسنجی نقشه مناطق سیل زده با نقشه خطر سیلاب ایجاد شده است مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه این دو نشان می دهد که حدود ۳۲ و ۴۹ درصد از مساحت کل مناطق سیل زده به ترتیب در طبقات با خطر بالا و خطر بسیار بالا قرار دارد. در حالی که، حدود ۵ و ۱۰ درصد از مساحت آبرفتگی به ترتیب در طبقات با خطر کم و خطر متوسط قرار گرفته است و تنها ۴ درصد از منطقه آبرفته در کلاس بسیار کم خطر قرار دارد (شکل ۸). بررسی توزیع مکانی انواع



شکل ۷. عکس‌هایی از مناطق سیل زده

Fig. 7. Photos of flooded areas



شکل ۸. مقایسه نقشه خطر سیلاب با نقشه مناطق سیل زده

Fig. 8- Comparison of flood hazard map with flooded areas map

این روش تنها انتخاب معیارهای واقعی، دقیق و تاثیرگذار در سیل‌خیزی است. نحوه انتخاب معیارها، به دانش کافی در زمینه سیلاب نیاز دارد. علاوه بر این یکی از مهمترین مراحل فرآیند تصمیم‌گیری تعیین وزن معیارها است. به طوری که وزنهای که

با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش می‌توان چنین استدلال کرد که تکنیک آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره، نظیر Fuzzy-AHP ابزاری انعطاف‌پذیر و پشتیبان برای شناسایی سیل‌خیز است، به طوری که چالش بزرگ و اصلی

می‌توان از آنها برای پایش سیلاب استفاده کرد. در حالی که تصاویر ماهواره‌ای نوری این قابلیت را ندارند.

از آنجایی که روش Fuzzy-AHP امکان تبدیل ارزش نقشه فاکتورهای مختلف را به طیف پیوسته‌ای بین ۰ و ۱ فراهم می‌کند، باعث می‌شود تا مرز بین طبقات به صورت تدریجی تعیین شود، در نتیجه نقش هر معیار به صورت احتمالی و نه قطعی تعیین شده که این روش با ساز و کار عوامل طبیعی مطابقت بیشتری دارد. همچنین نتایج حاصل از صحت‌سنجی روش Fuzzy-AHP ضمن تایید کاربرد این روش در تعیین خطر سیلاب، موید کارایی روش مذکور، به عنوان یک روش نسبتاً دقیق در امر تصمیم‌گیری است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که همواره یک رویکرد مبتنی بر شاخص حاصل از ترکیب پارامترهای مهم می‌تواند یک راه حل معتبری برای ارزیابی خطر سیلاب باشد. در نهایت با توجه به افزایش روزافزون پدیده سیلاب، در منطقه مورد مطالعه، محدوده‌های شناسایی شده با خطر بالا و خیلی بالای سیلاب می‌تواند جهت برنامه‌ریزی و ارائه راهکارهای کنترل سیلاب و کاهش صدمات ناشی از آن مورد توجه ویژه مسئولین امر قرار گیرد. در نهایت آنچه که به عنوان جمع‌بندی می‌توان به آن اشاره کرد، این است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به خصوص تصاویر راداری می‌تواند در شناسایی سیلاب‌ها بسیار مفید و راهگشا باشد، و همواره با در نظر گرفتن عوامل موثر در ایجاد سیلاب‌ها در هر منطقه و تلفیق این عوامل با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌توان دقیقاً محدوده‌های پرخطر را شناسایی کرد و جهت کاهش خطرات ناشی از سیلاب‌های احتمالی آینده تصمیم‌های ویژه‌ای در این مناطق اتخاذ کرد. در روش Fuzzy-AHP و کاربرد آن در بررسی سیلاب، هر چه منطقه مورد مطالعه کوچکتر انتخاب شود، نتایج بهتری و دقیق‌تری کسب می‌شود، زیرا با کاهش مساحت محدوده، امکان دستیابی به داده‌ها و عوامل موثر دقیق‌تری در امر سیلاب، ایجاد می‌شود که این می‌تواند در نتیجه نهایی تاثیرگذار باشد.

به معیارها داده می‌شود مستقیماً بر روی نتیجه تجزیه و تحلیل تاثیر خود را نشان می‌دهد. دقت تجزیه و تحلیل بستگی به تعیین وزن با دقت مناسب دارد. روشهای مختلفی برای تعیین وزن معیارها وجود دارد، و از آنجا که این روشها به لحاظ میزان دقت، سهولت استفاده و ساختار نظری از یکدیگر متفاوت هستند، انتخاب روش وزن‌دهی به اولویت تصمیم‌گیران بستگی دارد.

مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با تحقیقات مشابه نشان دهنده هماهنگی و تایید برخی از نتایج است به طور مثال در تحقیق ساملا و همکاران (۱۹) از سیستم اطلاعات جغرافیا (GIS) به عنوان ابزار قوی در راستای پهنه‌بندی سیلاب یاد شده است، که با نتایج حاصل مطابقت دارد. همچنین نتایج حاصل از پژوهش‌هایی نظیر مطالعات میرموسوی و اسماعیلی (۱۵) و داتا و همکاران (۱۰) نیز به مانند پژوهش حاضر بر کارایی تصاویر ماهواره‌ای در امر بررسی و پایش سیلاب‌ها اتفاق نظر دارند.

نتیجه‌گیری

با تلفیق لایه‌های موثر در ایجاد سیلاب محدوده مورد مطالعه به لحاظ خطر سیلاب پتانسیل یابی شد. نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حدود ۵ درصد از محدوده مورد مطالعه را خطر بسیار بالا (۱۸۸۰۰ هکتار)، ۲۳ درصد خطر بالا (۹۴۱۰۰ هکتار)، ۴۴ درصد خطر متوسط (۱۷۹۷۰۰ هکتار)، ۲۲ درصد خطر کم (۸۸۲۰۰ هکتار) و ۶ درصد بسیار کم (۲۳۱۰۰ هکتار)، تشکیل می‌دهد. محدوده‌های خطر بالا و خیلی بالا بیشتر در دشت و مناطق مخروط افکنه‌ای واقع شده‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که علاوه بر زمین‌های کشاورزی بسیاری از مناطق مسکونی به ویژه در روستاها در معرض خطر سیلاب قرار دارند. انجام روش حد آستانه بر روی تصاویر راداری سنتینل ۱ نشان داد که این تصاویر قابلیت خوبی برای شناسایی سیلاب دارند. از آنجایی که امواج راداری قابلیت نفوذ در ابر را دارند، بنابراین در شرایط آب و هوای بارانی و ابری

تقدیر و تشکر

سنجش از راه دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۴۰۰ است که با حمایت دانشگاه شهید باهنر کرمان اجرا شده است.

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز زرند با استفاده از تکنیک های

منابع

1. Andualem T.G, Demeke G.G. 2019. Groundwater potential assessment using GIS and remote sensing: A case study of Guna tana landscape, upper blue Nile Basin, Ethiopia, *Journal of Hydrology: Regional Studies* 24: 100610. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100610>.
2. Azadikhah A, Bouzari S, Yassaghi A, Emami M.H. 2015. Formation of Extensional Basin in Internal Part of the Zag-Ros Orogeny in West of Sirjan, Iran, *Open Journal of Geology*, 5: 821-827.
3. Baharvand S, Rahnamarad J, Soori S. 2016. Delineation of groundwater recharge potential zones using weighted linear combination method (case study: Kuhdasht plain, Iran), *Journal of Geotechnical Geology*, 12(2): 119-125.
4. Bates P.D, Anderson M.G, Baird L, Walling D.E, Simm D. 2009. Modelling floodplain flow with a two dimensional finite element scheme, *Earth Surface Processes and Landforms*, 17: 575-588.
5. Chang D.Y. 1996. Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *Eur J Oper Res* 95: 649-655.
6. Das S. 2019. Geospatial mapping of flood susceptibility and hydro-geomorphic response to the floods in Ulhas basin, India, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 14: 60-74.
7. Dash P, Sar J. 2020. Identification and validation of potential flood hazard area using GIS-based multi-criteria analysis and satellite data-derived water index, *J Flood Hazard Management*. 13:e12620. doi:<https://doi.org/10.1111/jfr3.12620>.
8. Demir V, Kisi O. 2016, Flood Hazard Mapping by Using Geographic Information System and Hydraulic Model: Mert River, Samsun, Turkey, *Advances in Meteorology* 2(3): 334-342.
9. Deshmukh KS, Shinde G. 2005. An adaptive color image segmentation electron. *Electron Lett Computer Vis Image Anal* 5(4):12-23. doi:<https://doi.org/10.5565/rev/elcvi.a.115>.
10. Dutta D, Herath S, Musiaka K. 2003. A mathematical model for flood loss estimation, *Journal of Hydrology*, 277(2): 24-49. doi:[https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(03\)00084-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(03)00084-2).
11. Jenifer M.A, Jha M.K, 2017. Comparison of Analytic Hierarchy process, Catastrophe and Entropy techniques for evaluating groundwater prospect of hard-rock aquifer systems, *J. Hydrol. (Amst)* 548: 605-624.
12. Kazakis N, Kougias I, Patsialis T. 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and analytical hierarchy process: Application in Rhodope-Evros region, Greece. *Science of the Total Environment*, 538: 555-563. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.055>.
13. Khedmatzadeh A, Najafzadeh A. 2020. Flood Susceptibility Mapping and Risk Area Using GIS-Based Analytic Network Process (Case Study: Ghasemlou Hydrometric Station Basin), *Journal of Science and Engineering Elites*, 5(1): 6-12. (In Persian).
14. Mind'je R, Li L, Amanambu A. C, Nahayo L, Nsengiyumva J. B, Gasirabo A, Mindje M. 2019. Flood susceptibility modeling and hazard perception in Rwanda, *International Journal of Disaster Hazard Reduction*, 10: 1211.
15. Mir Mosavi S, Esmaeili H. 2021. Zoning of Flood-prone Areas Using Geographic Information System (GIS) and Remote Sensing (RS), (Case Study: Darab City), *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27): 21-46. doi:<https://doi.org/10.22111/jneh.2020.32986.1613>. (In Persian).
16. Ouma Y. O, Tateishi R. 2014. Urban flood vulnerability and hazard mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment, *Water*, 6 (6): 1515-1545.
17. Pappenberger F, Frodsham K, Beven K, Romanowicz R, Matgen P. 2007. Fuzzy set approach to calibrating distributed flood inundation models using remote sensing observations, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 739-752, doi:<https://doi.org/10.5194/hess-11-739-2007>, 2007.
18. Rajasekhar M, Raju G. S, Sreenivasulu Y, Raju R.S. 2019. Delineation of groundwater potential zones in semi-arid region of Jilledubanderu river basin, Anantapur District, Andhra Pradesh, India using fuzzy logic, AHP and integrated fuzzy-AHP approaches, *HydroResearch* 2: 97-108. doi:<https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.11.006>.
19. Samela C, Albano R, Sole A, Manfreda S, 2018, A GIS tool for cost-effective delineation of flood-prone areas, *Computers, Environment and Urban Systems* 70: 43-52.
20. Soleimani Sardoo F, Rafiei Sarooi E, Mesbahzadeh T, Azareh A. 2021. Utilizing Sentinel 1 Images for

- Monitoring Damage of Flood Event in March 2020, the South of Kerman Province Based on Random Forest Algorithm, *jwmseir*. 15(53) :23-32. doi:<http://jwmsei.ir/article-1-976-fa.html>. (In Persian).
21. Tseng M.L., Lin Y.H., Chiu A.S.F., Chen C.Y. 2008. Fuzzy AHP approach to TQM strategy evaluation, *IEMS* 7(1): 34–43.
22. Valizadeh Kamran K., Delire Hasannia R., Azari Amghani K. 2019. Flood zoning and its impact on land use in the surrounding area using unmanned aerial vehicles (UAV) images and GIS, *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(3):59-75. (In Persian).
23. Viglione A., Merz R., Blöschl G. 2009. On the role of the runoff coefficient in the mapping of rainfall to flood return periods, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(5): 577–593.
24. Wu Y., Zhong P. A., Zhang Y., Xu B., Ma B., Yan K. 2015. Integrated flood hazard assessment and zonation method: A case study in Huaihe River basin, China, *Natural Hazards*, 78(1): 635–651.
25. Xiao JF, Li J, Moody A. 2003. A detail-preserving and flexible adaptive filter for speckle suppression in SAR imagery. *Int J Remote Sens* 24(12):2451–2465. doi:<https://doi.org/10.1080/01431160210154885>.
26. Youssef, A. M., Hegab M. A. 2019. Flood-Hazard Assessment Modeling Using Multicriteria Analysis and GIS: A Case Study—Ras Gharib Area, Egypt, *Earth and Environmental Sciences* 3: 229-257.



Identification and validation of potential flood hazard areas using multi-criteria decision analysis (MCDA) and Sentinel 1 radar data processing technique

Ali Mehrabi¹, Mohsen pourkhosravani², Fariba pourzarej jalal-abadi³

Received: 2021-12-16 / Accepted: 2022-05-16 / Published: 2023-09-23

Abstract

Today, due to climate change and the occurrence of torrential rains, flood hazard is one of the major problems in arid areas. Zarand city in Kerman province is one of these areas that has suffered a lot of damage in infrastructure and agriculture due to this phenomenon. The purpose of this study is to identify and determine potential flood hazard areas using remote sensing and GIS techniques. In this regard, eight criteria were used to prepare the flood hazard index, these parameters include the criteria of flow accumulation, draining capability,

elevation, distance to drainage, land cover, runoff coefficient, slope and geology. The mentioned layers were weighed and combined in GIS environment after forming a pairwise comparison matrix based on Fuzzy-AHP method. Finally, according to the flood hazard index (FHI), a flood hazard map related to the study area was prepared. The results show that about 5% of the study area is very high hazard (18800 hectares), 23% high hazard (94100 hectares), 44% medium hazard (179700 hectares), 22% low hazard (88200 hectares) and 6% very low (23,100 hectares). High and very high hazard areas are mostly located in the plains and agricultural areas. In order to validate the created flood hazard map, the map of flooded areas obtained by applying the threshold method on the Sentinel 1 image was used. A comparison of the two shows that about 32 and 49% of the total area of flooded areas are in high-hazard and very high-hazard classes, respectively. The results showed that the use of GIS-based multi-criteria analysis method can be effective in flood hazard analysis.

Ali Mehrabi¹(✉), Mohsen pourkhosravani², Fariba pourzarej jalal-abadi³

1. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Lit. & Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

2. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Lit. & Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

3. MSc. Student of Spatial Planning, Department of Geography, Faculty of Lit. & Humanities, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran

DOI: 10.30495/girs.2023.691227

e-mail: mehrabi@uk.ac.ir

Statement of the Problem:

Natural hazards are unfortunate accidents that cause great and irreparable damage to the natural environment and man-made phenomena every year. In the meantime, floods are one of the most important recurring natural threats that threaten the human yard and the economy of communities. Factors influencing the increase of floods in recent years include the rapid expansion of urbanization, land use change, land conversion and destruction of vegetation and soil, encroachment and housing in the river area, climate change and the intensity of short-term rainfall. Zarand city has been prone to floods due to some special climatic and geographical conditions. Therefore, due to the need to assess flooding in Zarand plain as a predisposed area, and considering that no studies in this field have been conducted in the region so far, In this research, using Sentinel 1 multispectral image processing and Fuzzy-AHP method, which is one of the multi-criteria decision analysis techniques, in GIS environment, a map of different factors affecting flooding has been prepared. , Weight and combine to identify areas prone to flooding.

Purpose:

The main purpose of this study is to identify potential flood risk areas in Zarand city, Kerman province using multi-criteria decision analysis technique and Sentinel 1 radar images.

Methodology:

Floods in the region depend on various hydrological and geomorphological factors. In this study, eight influential factors including cumulative flow criteria, discharge capacity, height, distance from waterway, land cover, runoff coefficient, slope and lithology were used. After preparation, these layers are weighted by fuzzy hierarchical method. The Fuzzy-AHP method was first proposed by Chang (1996: 649). The main difference between this method and AHP method is the difference in the method of weighting criteria and options, so that in this method weighting is done fuzzily. And the binary comparison matrix is expressed in fuzzy. The pairwise comparison matrix is formed in pairs with the help of decision makers' opinions about the importance of factors in relation to each other. The elements of this matrix are triangular fuzzy numbers, the first component of which is the minimum number of comments, the second component of which is the average of the polls, and the third component of which is the maximum amount of the polls. In this regard, 20

experts were surveyed. Based on expert opinions, the criteria are compared in pairs and based on the fuzzy numbers in Table 1, the final weight of each criterion is calculated.

Results and discussion:

In order to identify and prepare a flood risk map, effective factors and criteria in flooding were studied and finally mapped in GIS environment. Map 8 Effective criteria for flooding can be seen in Figure 3. In order to achieve the final map of groundwater resources potential in the fuzzy hierarchical method, each criterion must first be weighted and combined accordingly. The criteria for binary comparison and weighting are expert opinions. Table 2 shows the binary comparison matrix of the criteria. Since each of the mentioned criteria also has sub-criteria within it, which also have different effects on flooding, each of them should be compared and weighed in a binary way. In this regard, a binary comparison matrix was prepared separately for all criteria (Tables 3 to 10). Fuzzy maps prepared from each of the criteria can also be seen in Figure 4. Among the various criteria, the cumulative flow criterion is considered as the most important factor, which is drawn in Figure a3. As can be seen in this map, the study area is divided into 5 floors in terms of cumulative flow. The higher the cumulative flow rate, the higher the water flow accumulation. As a result, in the binary comparison and weighting stage, the highest weight is assigned to the last floor and then to the other floors. In the binary comparison matrix, the cumulative flow criterion of the last floor sub-criterion of weight is 0.258 and the first-class sub-criterion of weight is 0.126 (Table 3). Other influential factors of flooding are classified and weighted in the same way, which can be seen in Tables 5 to 10. Table 11 shows the weight of the criteria, sub-criteria and the final weight of each. In this table, the final weight of each sub-criterion is obtained by multiplying the weight of the main criterion by the weight of the sub-criterion. In order to prepare the flood risk index and map, all the prepared and weighted maps were combined by fuzzy hierarchical method in GIS environment. And using the quantitative classification method, the map was classified. Figure 5 shows the flood risk map. As can be seen in this figure, in terms of flood risk, the study area is divided into 5 categories of very low, low, medium, high and very high risk. About 5% of the study area is very high risk (18800 hectares), 23% high risk (94100 hectares), 44% medium risk (179700 hectares),

22% low risk (88200 hectares) and 6% very low risk (23100 Hectares), forms. High and very high danger zones are mostly located in the plains and alluvial areas.

Conclusion:

By combining the effective layers in creating floods, the study area was potentialized in terms of flood risk. The results show that about 5% of the study area is very high risk (18800 hectares), 23% high risk (94100 hectares), 44% medium risk (179700 hectares), 22% low risk (88200 hectares) And constitutes a very small 6% (23,100 hectares). High and very high danger zones are mostly located in the plains and alluvial areas. The results show that in addition to agricultural land, many

residential areas, especially in rural areas, are at risk of flooding. Threshold method on Sentinel 1 radar images showed that these images have a good ability to detect floods. Because radar waves can penetrate the cloud, they can be used to monitor floods in rainy and cloudy weather. While optical satellite images do not have this capability. Also, the results of validation of Fuzzy-AHP method, while confirming the use of this method in determining flood risk, confirm the efficiency of this method, as a relatively accurate method in decision making.

Keywords: Flood Hazard Index, Remote Sensing, Sentinel 1 Images, Fuzzy-AHP, Zarand Basin.