

پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر استدلال شهودی دمپستر - شافر (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکارود)

محمد کریمی فیروزجایی - دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS، دانشگاه تهران
جمعه نیسانی سامانی* - استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۹

چکیده

سیل در میان سوانح طبیعی بیشترین خسارت را به بخش‌های مختلف کشور وارد می‌کند و به‌شدت در فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارد. حوضه آبخیز نکارود به دلیل خصوصیات خاص محیطی مستعد رخداد سیل‌های متعدد و خطرناکی است. هدف از مطالعه حاضر پهنه‌بندی ریسک‌پذیری حوضه آبخیز نکارود ناشی از سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر استدلال شهودی است. برای برطرف کردن عدم قطعیت موجود در نظر کارشناسان متخصص در مورد درجه اهمیت معیارهای مؤثر در ریسک‌پذیری سیل، از تئوری استدلال شهودی و مدل دمپستر - شافر استفاده شده است. سپس، با بهره‌گیری از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نقشه ریسک‌پذیری ناشی از سیل برای منطقه تهیه شده و در سطح زیرحوضه و کاربری‌های اراضی منطقه تحلیل شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از بررسی طبقات مختلف ریسک‌پذیری، زیرحوضه پایاب نکا و سراب نکا به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت مربوط به طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین، برای کاربری‌های جنگل انبوه، جنگل تنک، و مرتع نسبت مساحت طبقه ریسک کم و خیلی کم بیشتر از نسبت مساحت طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد است؛ ولی این نسبت برای کاربری‌های ساخته‌شده، زراعی، و باغ و آبی برعکس است.

کلیدواژه‌ها: استدلال شهودی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، ریسک‌پذیری، سیل، نکارود.

مقدمه

سیل آب فراوانی است که با سرعت جاری می‌شود و پهنه‌ای از زمین را، که در شرایط عادی زیر آب نیست، در بر می‌گیرد و یکی از بزرگ‌ترین بلایای طبیعی است (گناهن و گبری، ۲۰۱۵: ۲). در میان سوانح طبیعی سیلاب بیشترین خسارت را به بخش‌های کشاورزی، شیلات، مسکن، و زیرساخت‌ها وارد می‌کند و به‌شدت در فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی تأثیر می‌گذارد. این امر در کشور ما نیز صادق است. در اغلب سال‌های گذشته، حدود ۷۰ درصد اعتبارات سالانه طرح کاهش اثرهای بلایای طبیعی و ستاد حوادث غیرمترقبه صرف جبران خسارات ناشی از سیل شده است و این خسارات مرتباً در حال افزایش است. رشد ۲۵۰ درصدی خسارات ناشی از سیل در پنج دهه گذشته مؤید این ادعاست. پهنه‌بندی خطر سیل بخشی از اقدامات غیرسازه‌ای برای جلوگیری و کاهش اثرهای مخرب سیل است (دمیر و کیسی، ۲۰۱۶: ۲).

امروزه، استفاده از علوم جدید به‌ویژه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا ارزیابی سریع از پتانسیل خطرهای طبیعی از جمله سیل را در حداقل زمان داشته باشند. بنابراین، از تصاویر

ماهوره‌ای و GIS برای شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گسترده سیل، پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر، و برآورد خسارات وارده در سطح وسیعی استفاده می‌شود. GIS دارای تحلیلگر شبکه، تحلیلگر مکانی، تحلیلگر سه‌بعدی، و بسیاری تحلیلگرهای دیگر برای پیاده‌سازی و مدیریت سیستم‌های یک‌پارچه مختلف با قابلیت اجرای تحلیل‌های فضایی و آماری است. چنین سیستمی می‌تواند به کمک توابع غنی و توانمند پاسخ بسیاری از مشکلات مربوط به تصمیم‌گیری و مدیریت کلان را با ضریب اطمینان بالا در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار دهد. آنالیز تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)^۱ روش و تکنیک مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده را، که اغلب شامل داده‌ها و معیارهای مقایسه‌ناپذیرند، فراهم می‌آورد (گامپار و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۹۴).

کارایی تلفیق GIS و MCDA برای آنالیز خطرهای طبیعی (راشد و ویکس، ۲۰۰۳؛ گامپار، ۲۰۰۶) و سایر مطالعات زیست‌محیطی (کولات و همکاران، ۲۰۰۶؛ دایی و همکاران، ۲۰۰۱) در مطالعات متعددی به اثبات رسیده است. کین و همکاران (۲۰۱۱) 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 فرایند سلسله‌مراتبی (AHP)^۲ پرداختند. میر و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی با استفاده از رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره به تهیه نقشه ریسک سیل‌خیزی برای رودخانه مولد در آلمان اقدام کردند. در این مطالعه برای ارزیابی خطر سیل در منطقه از تلفیق دو قانون تصمیم‌گیری چندمعیاره مختلف و رویکرد اضافه‌وزن‌دار استفاده شده است. لاجوردی و همکاران (۱۳۹۲) به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مردق‌چای اقدام کردند. آن‌ها در این پژوهش به برآورد ضریب رواناب و حداکثر دبی سیل، شناخت عوامل مؤثر در سیل‌خیزی، و پهنه‌بندی مناطق بر اساس شدت پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مورد مطالعه پرداختند. در این تحقیق با استفاده از مدل وزنی و با تلفیق نقشه‌های بارندگی، خاک، شیب، و کاربری اراضی در محیط GIS نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی سالانه حوضه با دوره‌های بازگشت مختلف تهیه شد. ملکیان و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز اختراآباد را پهنه‌بندی کردند. آن‌ها نخست عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را شناسایی و وزن هر یک از معیارها را با استفاده از نظر کارشناسان از طریق فرایند سلسله‌مراتبی فازی محاسبه کردند. سپس، برای طبقه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه، نقشه نهایی به‌دست‌آمده از منطقه را در هفت کلاس طبقه‌بندی کردند. امیدوار و همکاران (۱۳۸۹)، با به‌کارگیری روش‌های آماری تحلیل عاملی و تحلیل خوشه‌ای، به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبخیز کنجانچم اقدام کردند. آن‌ها پس از تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به زیرحوضه‌ها، متغیرها را در قالب پنج عامل شکل، آبراهه، شیب، زهکشی، و رواناب خلاصه کردند. بر اساس امتیاز عاملی، منطقه مورد مطالعه به پنج دسته سیل- خیلی زیاد، نسبتاً زیاد، متوسط، نسبتاً کم، و کم- طبقه‌بندی شد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها در محیط GIS تولید شد. علاوه بر موارد فوق، مطالعات متعدد دیگری در زمینه پهنه‌بندی خطر سیلاب به وسیله سیناکودن و همکاران (۲۰۰۳)، هودسن و همکاران (۲۰۰۳)، والسکی و همکاران (۲۰۰۶)، مروارید و همکاران (۲۰۰۸) انجام شده است.

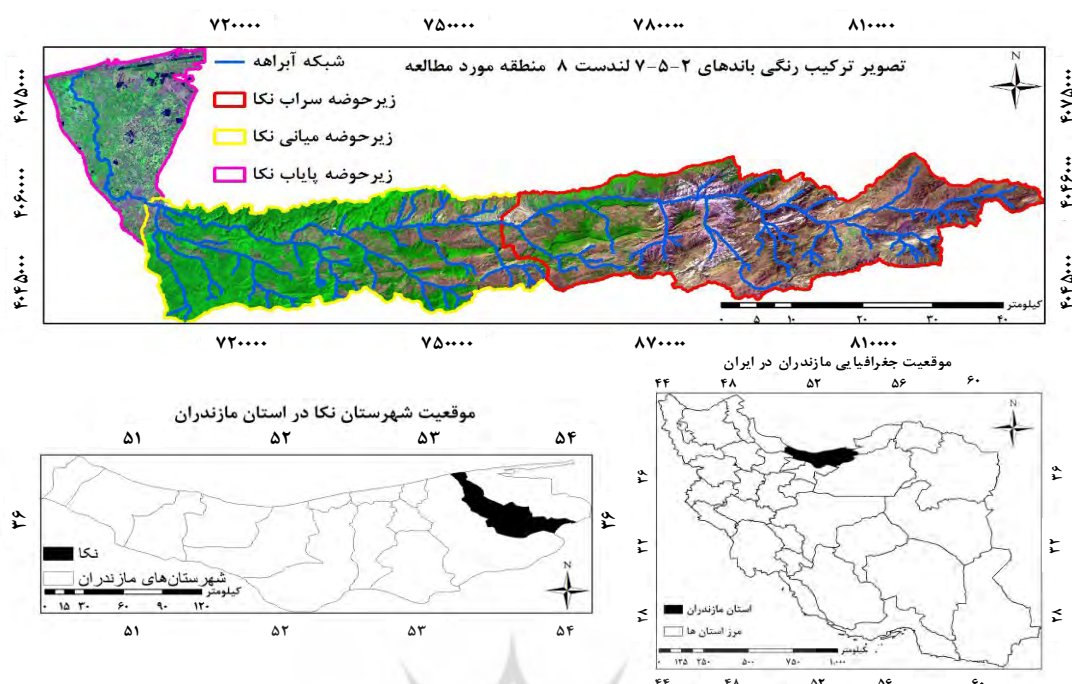
در بیشتر مطالعات قبلی در زمینه پهنه‌بندی خطر سیل جهت رسیدن به وزن معیارهای مختلف مؤثر بر خطر سیل از روش‌های مرسوم همچون AHP و ANP استفاده شده است که عدم قطعیت در این مدل‌های وزن‌دهی در نظر گرفته نمی‌شود. تصمیم‌گیری در دنیای واقعی مستلزم در نظر گرفتن شواهد و اطلاعات به‌دست‌آمده از منابع مختلف است که در تصمیم‌گیری مؤثر باشد. در یک فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره، تصمیم‌گیرنده باید بر اساس معیارهای موجود از میان

چندین گزینه بهترین گزینه را تعیین کند. از آنجا که نمی‌توان انتظار داشت تصمیم‌گیرندگان یک مسئله چندمعیاری دانش کافی از همه جنبه‌های حاکم بر مسئله داشته باشند و تصمیم‌گیری و معیارهای مؤثر بر آن را با همه جزئیات و به صورت کامل بشناسند، عدم قطعیت همواره در نتایج مقایسات وجود خواهد داشت (سیلاوی و همکاران، ۱۳۸۵). به همین منظور، به یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره نیاز است که امکان مدل‌سازی عدم قطعیت در داده‌ها و مراحل مختلف تصمیم‌گیری را داشته باشد. برای رفع این مشکل، مالپیکا و همکاران (۲۰۰۷) روشی ارائه کرده‌اند که ایده‌ای برای ترکیب تئوری استدلال شهودی دمپستر- شافر با روش سنتی تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی به نام تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی دمپستر- شافر است. تئوری استدلال شهودی یکی از روش‌های بسیار مفید برای مدل‌سازی عدم قطعیت است که ایده‌های اصلی آن از پژوهش‌های دمپستر (۱۹۶۸) و شافر (۱۹۷۶) نشئت می‌گیرد.

رودخانه نکارود از میان شهر نکا عبور می‌کند. با توجه به شرایط خاص حوضه آبخیز نکا سیل‌های متعددی در این منطقه طی سال‌های گذشته رخ داده است. در پژوهش حاضر از GIS برای تهیه نقشه پهنه‌بندی ریسک سیل حوضه آبخیز نکارود استفاده می‌شود. نخست، عوامل مؤثر بر آسیب‌پذیری و خطر ناشی از سیل در سطوح مختلف شناسایی و دسته‌بندی شده است. از تئوری شهود و قاعده دمپستر- شافر برای تلفیق آرای کارشناسان متخصص جهت محاسبه وزن نهایی هر یک از عوامل تأثیرگذار در ریسک سیل استفاده شده است. سپس، نقشه‌های آسیب‌پذیری و خطر ناشی از سیل برای منطقه مورد مطالعه تهیه و با توجه به آن‌ها نقشه ریسک سیل حاصل شده است. با استفاده از پارامترهای آماری میانگین و انحراف معیار نقشه ریسک‌پذیری نرمال‌شده نقشه طبقه‌بندی ریسک سیل برای منطقه حاصل شده است. در نهایت، وضعیت ریسک‌پذیری زیرحوضه‌ها و کاربری‌های مختلف موجود در منطقه مورد مطالعه تحلیل شده است.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه نکا از شمال به اراضی کوهپایه‌ای و دشتی، از جنوب به بخشی از سلسله‌جبال البرز و ارتفاع تفکیک‌کننده حوضه آبخیز رودخانه‌های نکارود- زرامرود، از غرب به شهرستان ساری و اراضی تحت آبخور تجن، و از شرق نیز به ارتفاعات شاهوار و گاوخسبان محدود است. سطح حوضه آبخیز این رودخانه از منتهی الیه ارتفاعات تا محل آبلو (ایستگاه ورودی به دشت) در حدود ۲۵۹۰ کیلوکتر مربع است (عسگری، ۱۳۵۱: ۷۸). کمترین عرض حوضه آبخیز ۷ کیلومتر در شرق و بیشترین آن به طول ۶۰ کیلومتر است. شیب متوسط حوضه آبخیز ۲۵/۵ درصد و ارتفاع میانه ۱۶۰۷ متر است. طول و عرض مستطیل معادل حوضه آبخیز رودخانه نکا به ترتیب ۱۴۵/۸ و ۱۳/۱۱ کیلومتر محاسبه شده است (سازمان آب منطقه‌ای مازندران، ۱۳۶۹). این رودخانه با طی مسافت ۱۳۰ کیلومتری در داخل کوهستان در ۷ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر نکا از کوهستان خارج و وارد جلگه نکا می‌شود. در فاصله کوهستان تا شهر نکا شعبه پُراب زرن‌دین نیز به داخل آن می‌ریزد. پس از طی مسیر پُریچ و خم ۳۹ کیلومتری (فاصله مستقیم تا دریا ۲۲ کیلومتر) به داخل دریای خزر می‌ریزد. طول کلی رودخانه نکا ۱۷۶ کیلومتر است (افشین، ۱۳۷۳). شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

داده‌ها

داده‌های اولیه مورد استفاده در پژوهش حاضر شامل مدل رقومی ارتفاع^۱ حاصل شده از داده‌های سنجنده ماهواره‌ای SRTM، ۸ عدد تصویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ برای ماه‌های مختلف سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۹۵ جهت تهیه نقشه پوشش گیاهی، نقشه کاربری اراضی ۱/۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان جنگل‌بانی، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی، شیب فایل خطوط هم‌باران تهیه شده توسط سازمان هواشناسی، شیب فایل شبکه‌های راه تهیه شده توسط سازمان راه و شهرسازی، شیب فایل شبکه آبراهه‌ها تهیه شده توسط سازمان آب منطقه‌ای، آمار جمعیتی تهیه شده توسط استانداری، و اطلاعات مربوط به اراضی زراعی و باغات منطقه مورد مطالعه تهیه شده توسط سازمان جهاد کشاورزی است.

روش پژوهش

میزان ریسک با توجه به میزان خطرپذیری^۲ و آسیب‌پذیری^۳ عناصر درون فضای مورد مطالعه تعریف می‌شود. دو پارامتر خطرپذیری و آسیب‌پذیری از یکدیگر مستقل فرض می‌شوند. خطر به تنهایی به نتایج زیان‌بار منجر نمی‌شود، بلکه بیانگر امکان وقوع آسیب است. در مقابل، آسیب واقعی وابسته به در معرض خطر بودن و خصیصه‌های واحد دریافت‌کننده خطر است. این به معنای آن است که تعیین‌کننده اصلی بحران آسیب‌پذیری هر نوع سیستم یا واحد واقع در معرض خطر است (زو و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۳۶). بنابراین، برای مدل‌سازی ریسک سیل منطقه در نظر گرفتن هم‌زمان خطرپذیری و آسیب‌پذیری ضروری است. ریسک سیل برای منطقه مورد مطالعه با توجه به رابطه ۱ مدل‌سازی می‌شود (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۴۷۴؛ مسکری، ۱۹۸۹).

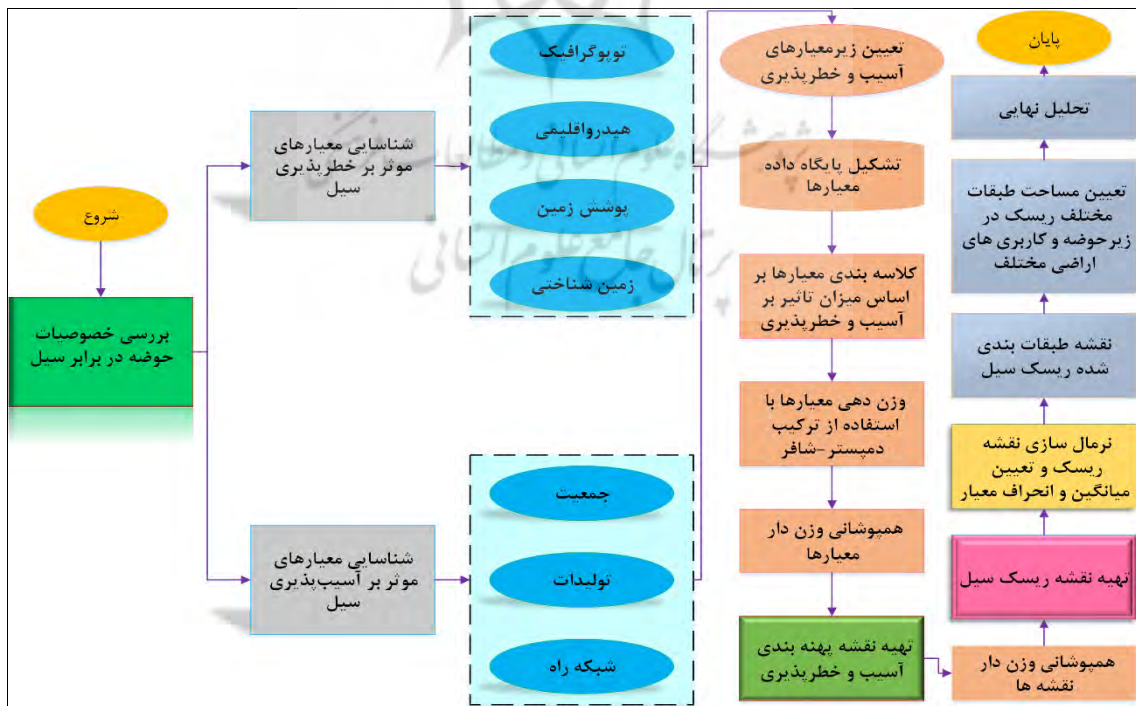
1. Digital Elevation Model
2. hazard
3. vulnerability

$$\text{ریسک‌پذیری} = \text{خطرپذیری} + \text{آسیب‌پذیری} \quad (۱)$$

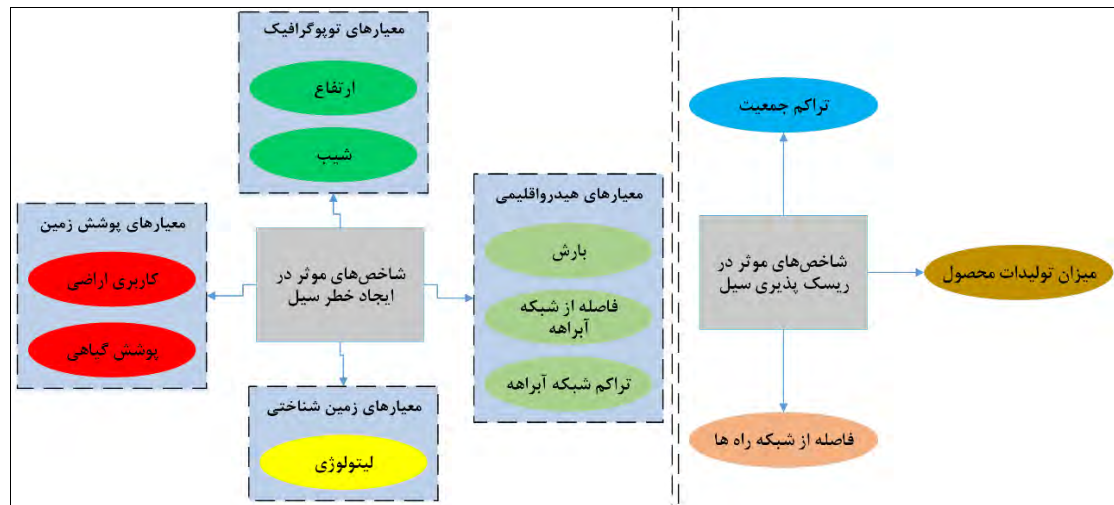
برای مدل‌سازی ریسک‌پذیری سیل و تحلیل نتایج با توجه به شکل ۲ به ترتیب مراحل زیر انجام می‌شود. در گام اول، معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر خطرپذیری و آسیب‌پذیری سیل شناسایی می‌شود. در گام دوم، معیارها و زیرمعیارهای مختلف از نظر اهمیت در خطرپذیری و ریسک‌پذیری سیل به کلاس‌های مختلف تقسیم‌بندی می‌شود. در گام سوم، بر اساس نظر کارشناسان و قوانین دمپستر- شافر، وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها تعیین می‌شود. در گام چهارم، با هم‌پوشانی لایه‌های مختلف مربوط به معیارها و زیرمعیارها، نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و خطرپذیری سیل تهیه خواهد شد. در گام پنجم، با ترکیب نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری و خطرپذیری با وزن‌های به‌دست‌آمده از قواعد دمپستر- شافر، نقشه آسیب‌پذیری سیل تهیه می‌شود. در گام ششم، بر اساس مقادیر میانگین و انحراف معیار مقادیر نقشه ریسک‌پذیری سیل، نقشه طبقه‌بندی‌شده ریسک سیل به‌وجود می‌آید. در گام آخر، در زیرحوضه‌ها و کاربرهای اراضی مختلف، مساحت طبقات مختلف ریسک سیل محاسبه و تحلیل خواهد شد.

معیارهای مؤثر

با توجه به شکل ۲ یکی از مراحل مهم در پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل شناسایی عوامل تأثیرگذار در میزان خطرپذیری و آسیب‌پذیری حوضه آبخیز نکارود در اثر سیل است. با توجه به نظر کارشناس متخصص، عوامل خطرپذیری چهار دسته کلی معیارهای توپوگرافیکی، هیدرواقلمی، پوشش زمین، و زمین‌شناختی و عوامل آسیب‌پذیری نیز سه معیار جمعیت، تولیدات، و دسترسی به شبکه راه‌ها را شامل می‌شود. شکل ۳ دسته‌بندی کلی معیارهای مورد استفاده برای پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل حوضه آبخیز نکارود را نشان می‌دهد.



شکل ۲. روند کلی اجرای پژوهش



شکل ۳. دسته‌بندی کلی معیارهای مورد استفاده برای پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل

نرمال‌سازی معیارها

مطابق نظر کارشناس خیره، نقشه معیارهای کمی فاصله از شبکه راه، فاصله از شبکه آبراهه، شیب و ارتفاع و نقشه معیارهای کیفی کاربری اراضی، و لیتولوژی به طبقات مختلف تقسیم شده و معیارهای کمی دیگر همچون پوشش گیاهی، تراکم شبکه آبراهه، میزان تولیدات محصول، تراکم جمعیت، و بارش بدون طبقه‌بندی فقط مقادیرشان نرمال شده است. برای نرمال‌سازی معیارهای کمی همچون تراکم شبکه آبراهه، بارش، تولید محصول، و تراکم جمعیت که اثر مستقیم بر ریسک سیل می‌گذارد از رابطه ۲ استفاده می‌شود (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۴۷۶).

$$V_{is} = \frac{X_i - X_{i\min}}{X_{s\max} - X_{s\min}} \quad (2)$$

برای نرمال‌سازی معیار کمی پوشش گیاهی، که بر ریسک سیل اثر معکوس می‌گذارد، از رابطه ۳ استفاده می‌شود (ونگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۴۷۶).

$$V_{is} = \frac{X_{s\max} - X_i}{X_{s\max} - X_{s\min}} \quad (3)$$

در رابطه‌های ۲ و ۳، V_{is} مقدار نرمال‌شده پیسکل I_{is} برای معیار S ، X_i مقدار معیار برای پیسکل I_{is} معیار S ، $X_{s\max}$ بیشترین مقدار معیار S است.

سپس، با بهره‌گیری از نظر پانزده کارشناس متخصص معیارها و زیرمعیارها در سطوح مختلف نسبت به یکدیگر و با توجه به درجه اهمیتشان در خطرپذیری و آسیب‌پذیری سیل بر اساس خصوصیات حوضه آبخیز نکارود رتبه‌بندی و مقادیر ۱ تا ۹ به هر معیار و زیرمعیار اختصاص داده شده است. با توجه به وجود نایقینی و عدم قطعیت در نظر کارشناسان متخصص از تئوری شهود و قاعده دمپستر- شافر برای ترکیب آرای کارشناسان، برطرف کردن عدم قطعیت، و محاسبه درجه اهمیت هر یک از زیرمعیارها و معیارها در این پژوهش استفاده شده است.

تئوری شهود و قاعده دمپستر- شافر

نظریه ریاضی شواهد را دمپستر (۱۹۶۸) معرفی کرد و شافر (۱۹۷۶) آن را توسعه داد. این تئوری با بحث درباره باورهای موجود از یک وضعیت یا سیستمی از وضعیت‌ها حائز اهمیت است. باورها در مورد پیشامدها یکسان نیستند؛ اما به کمک این نظریه می‌توان شواهد موجود از وضعیت‌ها را در یک روش مشابه بررسی و ترکیب کرد. تئوری دمپستر- شافر بر اساس باوری است که از شواهد نتیجه می‌شود؛ به طوری که ساختار باور تئوری شاهد به مدل احتمال کلاسیک مربوط می‌شود (مالپیکا و همکاران، ۲۰۰۷). از مفاهیم مقدماتی موجود در رابطه با شواهد، می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

چارچوب تشخیص

فرض کنید Θ مجموعه متناهی از عناصر باشد. عنصر می‌تواند یک فرضیه، یک هدف یا موردی از وضعیت یک سیستم باشد. Θ چهارچوب تشخیص است. 2^Θ نیز مجموعه همه زیرمجموعه‌های Θ است. تابعی به فرم $Bel: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ که در سه شرط ۴، ۵، و ۶ صدق کند، یک تابع باور بر روی Θ نامیده می‌شود (لعلی نیت، ۱۳۹۵: ۵۱).

$$Bel(\emptyset) = 0 \quad (۴)$$

$$Bel(\Theta) = 1 \quad (۵)$$

$$Bel(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) \geq \sum_1 Bel(A_i) - \sum_{1 \leq j < k \leq n} Bel(A_i \cap A_j) + \dots + (-1)^{n+1} Bel(A_1 \cap \dots \cap A_n) \quad (۶)$$

شرط ۶ به ازای هر n (یک عدد صحیح مثبت) و هر مجموعه از زیرمجموعه‌های Θ صدق می‌کند. برای هر زیرمجموعه A از Θ مقدار $Bel(A)$ بیانگر میزان باور بر وجود واقعیت در مجموعه A است. قوانین فوق این درجات باور را مدیریت می‌کنند.

تابع باور و موجه‌بودن

باوری که به یک مجموعه اختصاص می‌یابد به هر زیرمجموعه از آن نیز تعلق دارد. این نظریه به صورت ذیل بیان می‌شود:

تعریف: اگر Θ مجموعه مرجع باشد، تابع $m: 2^\Theta \rightarrow [0, 1]$ سهم احتمال اصلی نامیده می‌شود هرگاه دو رابطه ۷ و ۸ صادق باشد (لعلی نیت، ۱۳۹۵: ۵۱).

$$m(\emptyset) = 0 \quad (۷)$$

$$\sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1 \quad (۸)$$

کمیت $m(A)$ عدد احتمال اصلی A نامیده می‌شود و بیانگر میزان باوری است که صرفاً به خود مجموعه A منتسب می‌شود. شرط ۷ این حقیقت را بیان می‌کند که هیچ باوری به Θ اختصاص نمی‌یابد. شرط ۸ نیز حاکی از این است که جمع همه باورها برابر ۱ است. برای اینکه اندازه باور مطلق که به A تخصیص پیدا می‌کند سنجیده شود، باید مقدار $m(B)$ را برای همه زیرمجموعه‌های A به $m(A)$ اضافه کنیم، یعنی:

$$\text{Bel}(A) = \sum_{B \subset A} m(B) \quad (۹)$$

تابع باور $\text{Bel}(A)$ مقدار کل احتمالی را که باید در میان عناصر از A باشد اندازه‌گیری می‌کند و معنای حتمیت و معنی‌داری از باور A و به منزله حد پایینی روی احتمال A است. تابع موجه‌بودن به صورت رابطه ۱۰ و ۱۱ تعریف می‌شود.

$$\text{Pl}(A): \Omega(\Theta) \rightarrow [0, 1] \quad (۱۰)$$

$$\text{Pl}(A) = 1 - \text{Bel}(A) = \sum_{B \cap A \neq \emptyset} m(B) \quad (۱۱)$$

تابع $\text{Bel}(A)$ مقدار کل احتمالی را که باید در میان عناصری از A باشد اندازه‌گیری می‌کند و به معنای حتمیت و معنی‌داری از باور A به منزله حد پایینی روی احتمال A است. تابع $\text{Pl}(A)$ حداکثر مقدار احتمالی را که می‌تواند در میان عناصر A توزیع شود اندازه‌گیری می‌کند. $\text{Pl}(A)$ درجه باور کلی مربوط به A را توصیف می‌کند و به منزله تابع حد بالایی روی احتمال A است.

بازه باور

این فاصله فاصله باور عدم قطعیت را منعکس می‌کند. تابع موجه‌بودن به واسطه تابعی به نام شک به تابع باور مرتب می‌شود و بر طبق رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ به صورت تعریفی از باور بیان می‌شود (علی نیت، ۱۳۹۵: ۵۳).

$$\text{Pl}(A) = 1 - \text{Bel}(\bar{A}) \quad (۱۲)$$

$$\text{Pl}(A) = 1 - \text{Doubt}(A) \quad (۱۳)$$

قوانین ترکیب شواهد

اگر m_1 و m_2 دو تابع جرم به‌دست‌آمده از دو منبع اطلاعاتی متفاوت بر اساس اطلاعات در دسترس باشند، چارچوب تشخیص Θ برای هر دو منبع اطلاعاتی یکسان است. مطابق با قانون متعامد دمپستر (علی نیت، ۱۳۹۵: ۵۶) داریم:

$$m(\emptyset) = 0 \quad (۱۴)$$

$$m(A) = \frac{1}{1-k} \sum_{B \cap C \neq \emptyset} m(B)m(C) \quad (۱۵)$$

$$K = \sum_{B \cap C = \emptyset} m(B)m(C) \quad (۱۶)$$

K جرم احتمال پایه مربوط ناسازگاری میان منابع شواهد را ارائه می‌دهد. طبق رابطه ۱۶، K از مجموع ضرب توابع جرم همه زیرمجموعه‌هایی که اشتراک آن‌ها تهی است به‌دست می‌آید. عموماً K را به عنوان اندازه ناسازگاری بین منابع اطلاعاتی تفسیر می‌کنند. مقدار بزرگ‌تر K بیانگر ناسازگاری بیشتر منابع است. مخرج $1-K$ در رابطه ۱۵ فاکتور نرمال‌کردن است. m نیز تابع جرم در چارچوب تشخیص یکسان Θ است.

جمع متعامد $m = m_1 \oplus m_2$ ترکیب m_1 و m_2 را نشان می‌دهد و اطلاعات مشترک از دو منبع را دربر دارد. در ترکیب شواهد روابط زیر برقرار است.

$$m_1 \oplus m_2 = m_2 \oplus m_1 \quad (۱۷)$$

$$m_1 \oplus (m_2 \oplus m_3) = (m_1 \oplus m_2) \oplus m_3 \quad (18)$$

به طور کلی، برای n تابع جرم $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ اندازه ناسازگاری k به صورت رابطه ۱۹ محاسبه می‌شود.

$$K = \sum_{\bigcap_{i=1}^n E_i} m_1(E_1) \cdot m_2(E_2) \dots m(E_n) > 0 \quad (19)$$

در نهایت، ترکیب تابع جرم به صورت رابطه ۲۰ محاسبه خواهد شد.

$$m(A) = (m_1 \oplus m_2 \dots \oplus m_n)(A) = \frac{1}{1-K} \sum_{\bigcap_{i=1}^n E_i} m_1(E_1) \cdot m_2(E_2) \dots m(E_n) \quad (20)$$

در این تحقیق وزن‌هایی را که هر کارشناس تعیین کرده بود نرمال شد؛ به طوری که مجموع آن‌ها برابر واحد شد. در نهایت، وزن‌های تعلق گرفته از سوی افراد خبره با استفاده از روش دمپستر- شافر ترکیب می‌شود و وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها به دست می‌آید. سپس، با استفاده از وزن‌های به دست آمده، هم‌پوشانی معیارها برای به دست آوردن نقشه‌های خطرپذیری و آسیب‌پذیری انجام شده است. در نهایت، با داشتن نقشه خطر و آسیب‌پذیری و بهره‌گیری از وزن نهایی هر یک از معیارهای خطرپذیری و آسیب‌پذیری در ریسک سیل به تلفیق نقشه‌های مذکور و تهیه نقشه ریسک‌پذیری سیل اقدام شده است.

طبقه‌بندی ریسک‌پذیری منطقه

برای طبقه‌بندی ریسک‌پذیری منطقه مورد مطالعه در برابر سیل، ابتدا نقشه ریسک‌پذیری حاصل با استفاده از مقادیر ماکزیمم و مینیمم نرمال شده است. سپس با استفاده از میانگین و انحراف معیار نقشه نرمال شده مطابق با جدول ۱، منطقه مورد مطالعه از نظر درجه ریسک‌پذیری سیل به پنج کلاس ریسک خیلی کم، ریسک کم، ریسک متوسط، ریسک زیاد، و ریسک بسیار زیاد طبقه‌بندی شده است.

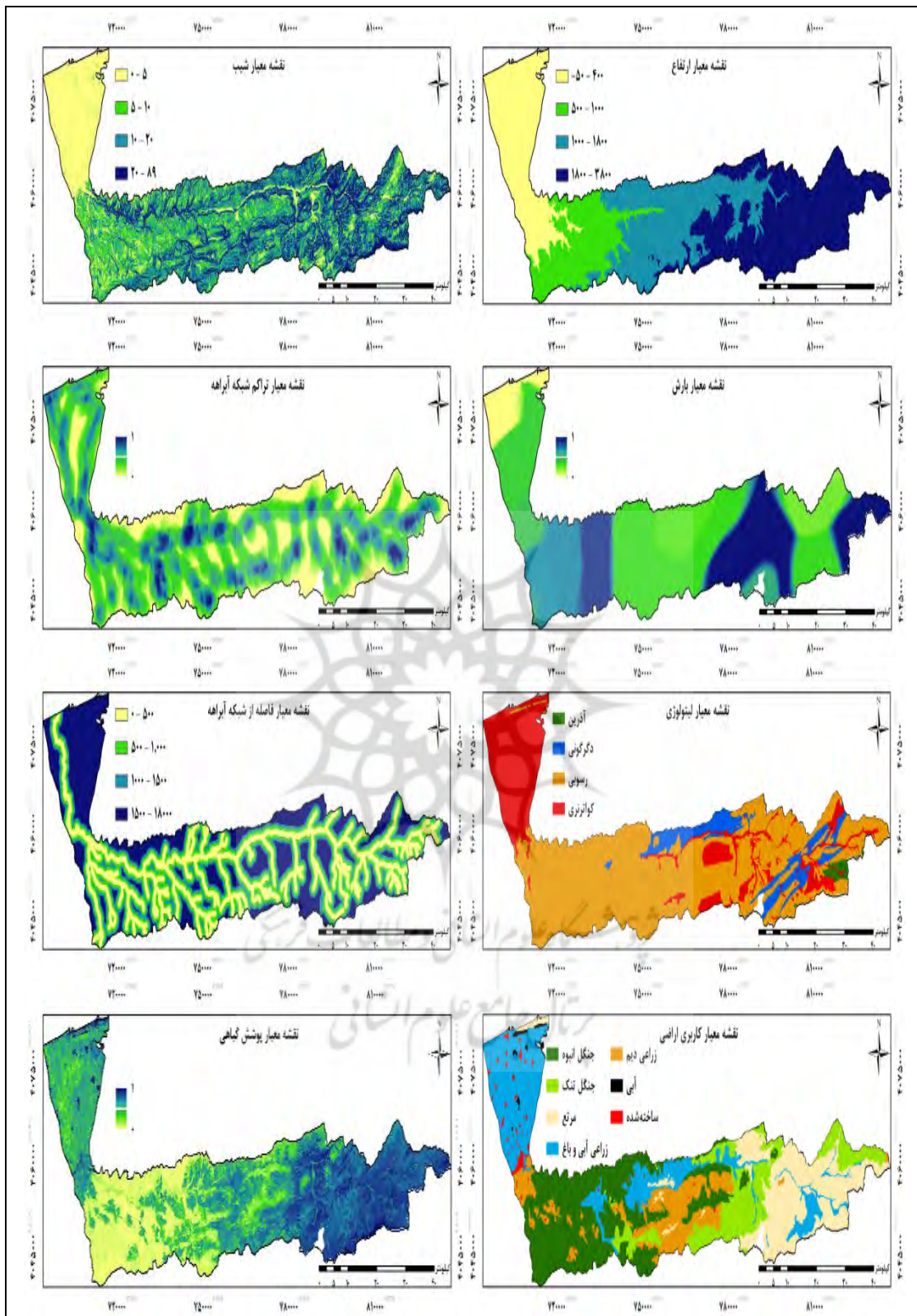
جدول ۱. نحوه طبقه‌بندی نقشه ریسک سیل به پنج طبقه ریسک

دامنه مربوط به هر طبقه	طبقه ریسک
$R \leq R_{mean} - 1.5std$	ریسک بسیار کم
$R_{mean} - 1.5std < R \leq R_{mean} - std$	ریسک کم
$R_{mean} - std < R \leq R_{mean} + std$	ریسک متوسط
$R_{mean} + std < R \leq R_{mean} + 1.5std$	ریسک زیاد
$R > R_{mean} + 1.5std$	ریسک بسیار زیاد

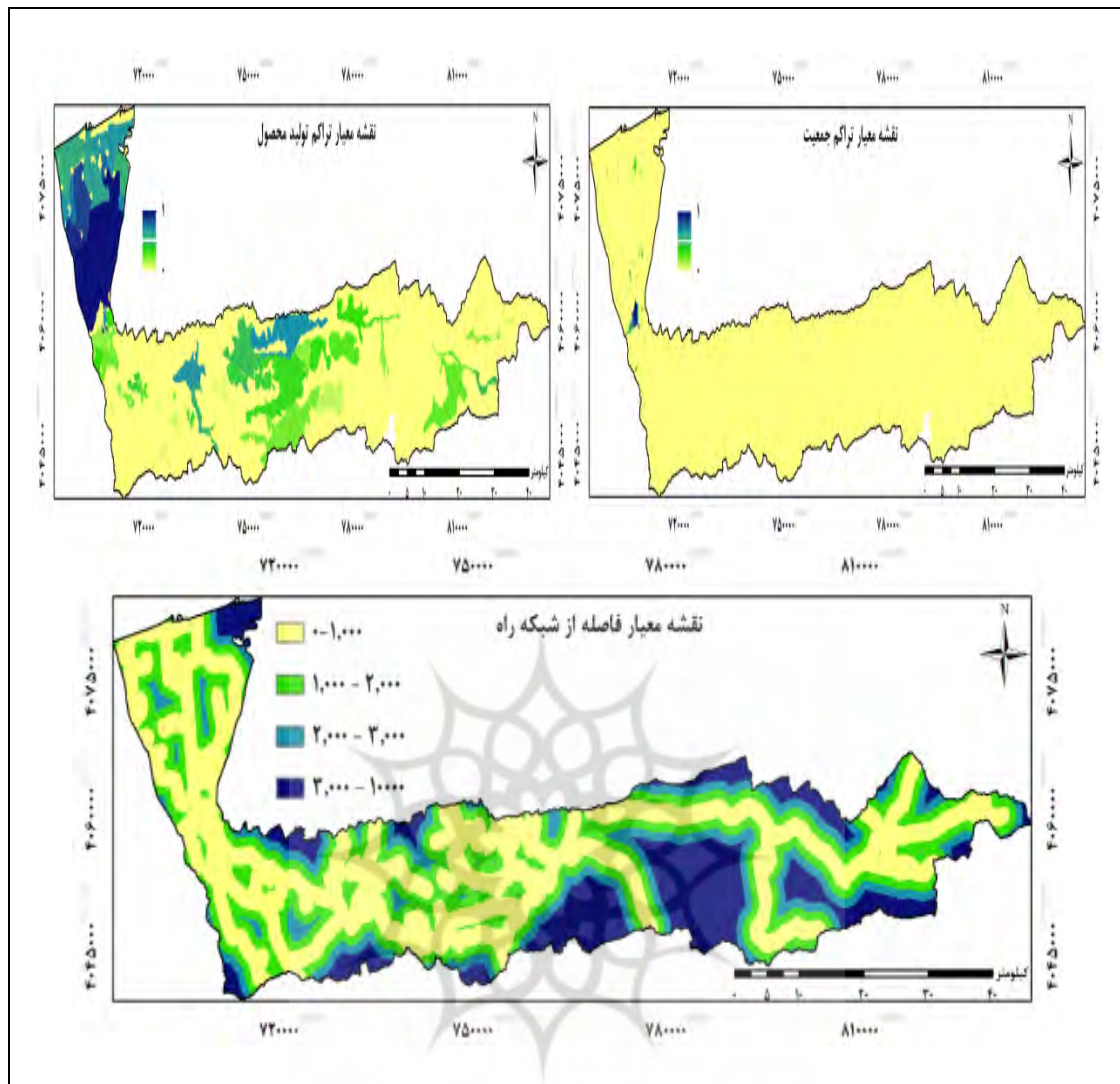
در جدول ۱، R_{mean} و std به ترتیب بیانگر مقدار میانگین و انحراف معیار نقشه ریسک نرمال شده است. در نهایت، مساحت هر یک از کلاس‌ها به صورت مجزا برای هر یک از زیرحوضه‌ها و کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه محاسبه و تحلیل شده است.

یافته‌های پژوهش

با توجه به نظر کارشناسان خبره، نقشه‌های معیار مؤثر بر ایجاد خطر، آسیب‌پذیری، و در نهایت ریسک سیل منطقه مورد مطالعه با توجه به داده‌های اولیه مورد استفاده در پژوهش تهیه شده است. شکل ۴ نقشه‌های معیار مؤثر بر خطرپذیری سیل را نشان می‌دهد.



شکل ۴. نقشه‌های معیار مؤثر بر خطرپذیری سیل در منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. نقشه‌های معیار تراکم تولید محصولات، تراکم جمعیت، فاصله از شبکه راه (متر) مؤثر بر آسیب‌پذیری

نقشه معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری سیل به صورت شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نقشه‌های معیار و زیرمعیار در نظر گرفته شده، با بهره‌گیری از نظر پانزده کارشناس متخصص، معیارها و زیرمعیارها در سطوح مختلف نسبت به یکدیگر و با توجه به درجه اهمیتشان در هر سطح تصمیم‌گیری رتبه‌بندی شده و در نهایت با بهره‌گیری از مدل دمپستر- شافر وزن‌های نهایی برای معیارها و زیرمعیارها در هر سطح محاسبه و نتایج آن به صورت شکل ۶ نشان داده شده است.

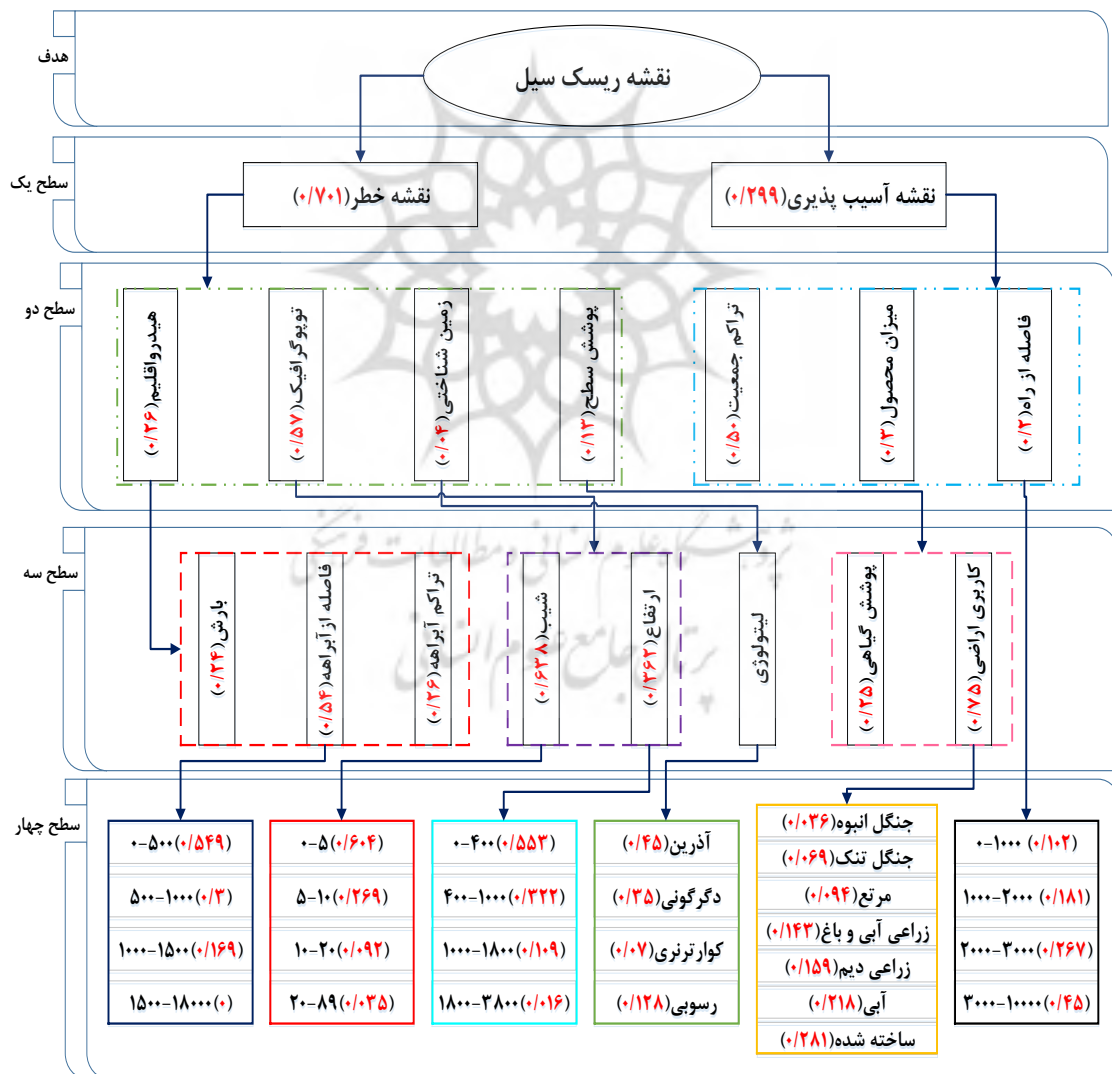
با در نظر گرفتن وزن زیرمعیارها و معیارهایی در سطح سوم و چهارم به همراه نقشه معیارهای نشان داده شده در شکل ۵، نقشه‌های عوامل مؤثر در خطر سیل، مانند هیدرواقليمی، توپوگرافیکی، زمین‌شناختی، و پوشش سطح، به دست آمده است (شکل ۷).

پارامترهای مؤثر سطح دوم با استفاده از معیارها و زیرمعیارهای موجود در سطح سوم و چهارم محاسبه شده است. بدین منظور، با هم‌پوشانی نقشه‌های هیدرواقليمی، توپوگرافی، زمین‌شناختی، و پوشش سطح به همراه وزن هر یک در معیارها در سطح سوم، نقشه خطرپذیری سیل و با هم‌پوشانی نقشه‌های تراکم جمعیت، تراکم تولید محصول، و فاصله از

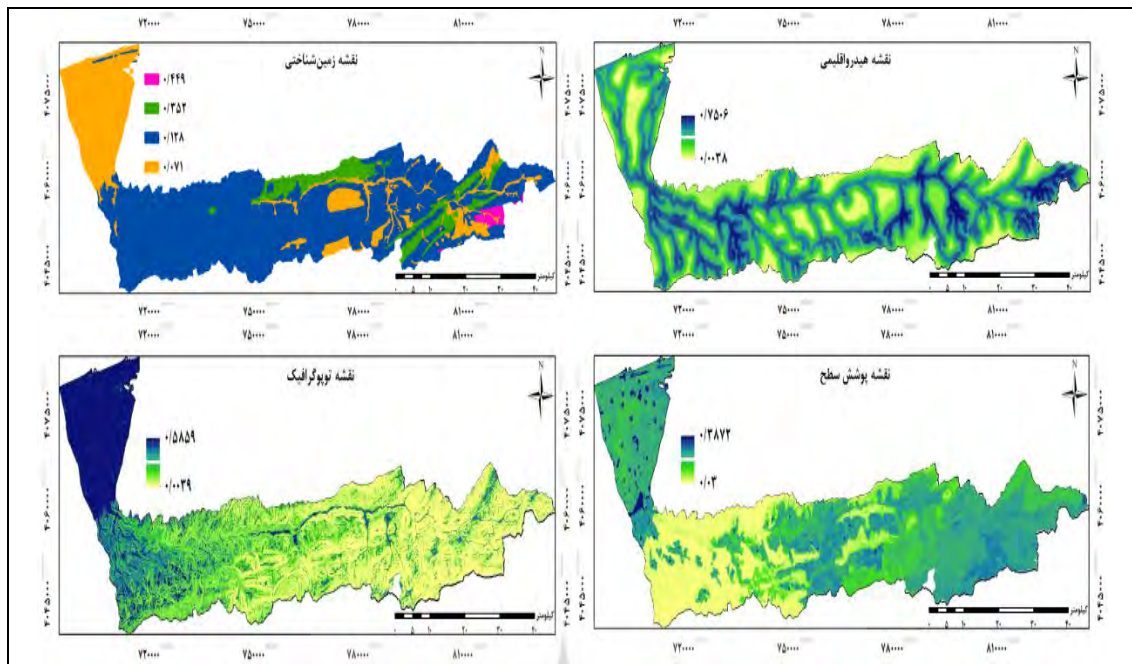
شبکه راه به همراه وزن هر یک در سطح سوم نقشه آسیب‌پذیری سیل برای منطقه مورد مطالعه به دست آمده است. شکل ۸ نقشه خطر و آسیب‌پذیری ناشی از سیل را نشان می‌دهد.

در نهایت، با تلفیق نقشه‌های خطرپذیری و آسیب‌پذیری ناشی از سیل و وزن‌های محاسبه‌شده برای سطح دوم تصمیم‌گیری، نقشه ریسک‌پذیری سیل حاصل شده است (شکل ۹). نقشه ریسک‌پذیری به دست آمده بیانگر این است که مناطق شمالی حوضه آبخیز نکارود دارای ریسک بسیار بالا در سیل است. برای تحلیل دقیق‌تر وضعیت ریسک‌پذیری منطقه مورد مطالعه نقشه به دست آمده نرمال شده و مقدار میانگین و انحراف معیار آن به دست آمده است. در نهایت، ریسک‌پذیری سیل برای منطقه مورد مطالعه به پنج کلاس مختلف طبقه‌بندی شده است. مقدار میانگین، انحراف معیار، و بازه‌های طبقات مختلف ریسک به صورت جدول ۲ و نقشه طبقه‌بندی شده ریسک سیل برای حوضه آبخیز نکارود به صورت شکل ۹ نشان داده شده است.

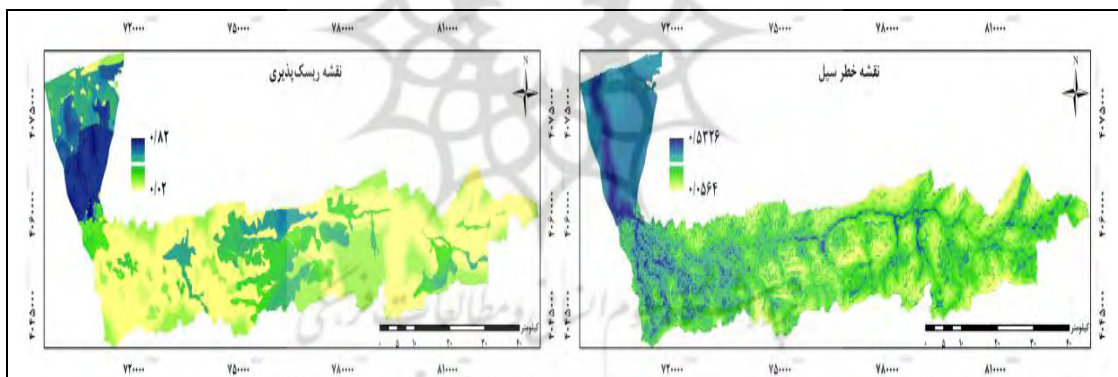
مساحت مربوط به هر یک از طبقات ریسک نشان داده‌شده در شکل ۹ محاسبه شده است (جدول ۳).



شکل ۶. وزن‌های نهایی برای معیارها و زیرمعیارها برای سطوح مختلف



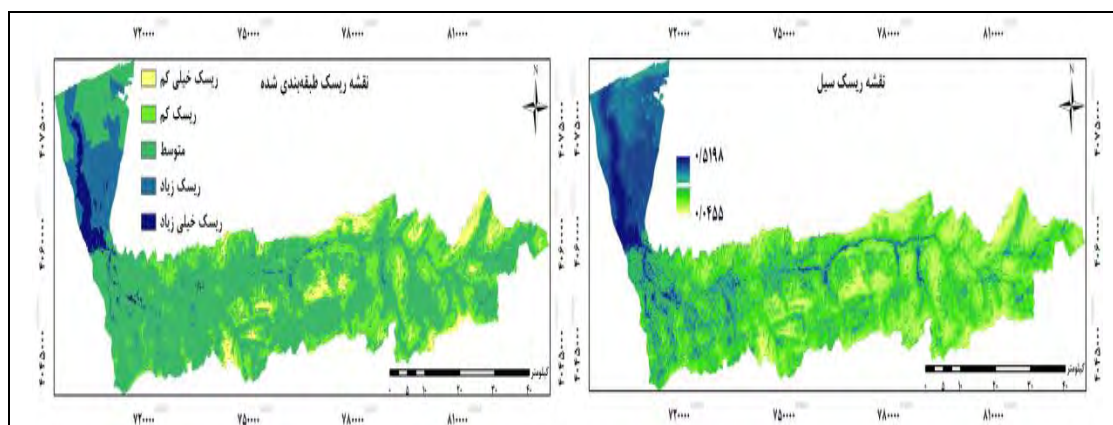
شکل ۷. نقشه‌های عوامل مؤثر در خطر سیل: هیدرواقليمی، توپوگرافیک، زمین‌شناختی، و پوشش سطح



شکل ۸. نقشه‌های خطر و آسیب‌پذیری ناشی از سیل

جدول ۲. مقدار میانگین، انحراف معیار، و بازه‌های طبقات مختلف ریسک

نوع	میانگین	انحراف معیار	ریسک خیلی کم	ریسک کم	ریسک متوسط	ریسک زیاد	ریسک خیلی زیاد
مقدار	۰.۴۲	۰.۲۲	۰-۰.۰۹	۰.۰۹-۰.۲	۰.۲-۰.۴۲	۰.۴۴-۰.۷۵	۰.۷۵-۱



شکل ۹. نقشه ریسک سیل و ریسک سیل طبقه‌بندی برای حوضه آبخیز نکارود

جدول ۳. مساحت مربوط به طبقات ریسک در حوضه آبخیز نکارود (هکتار)

طبقه ریسک	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
مساحت (هکتار)	۳۱۱,۱۳	۱۲۹۶,۹	۴۰,۳۴,۴۳	۵۰,۵,۸	۱۴۶,۷

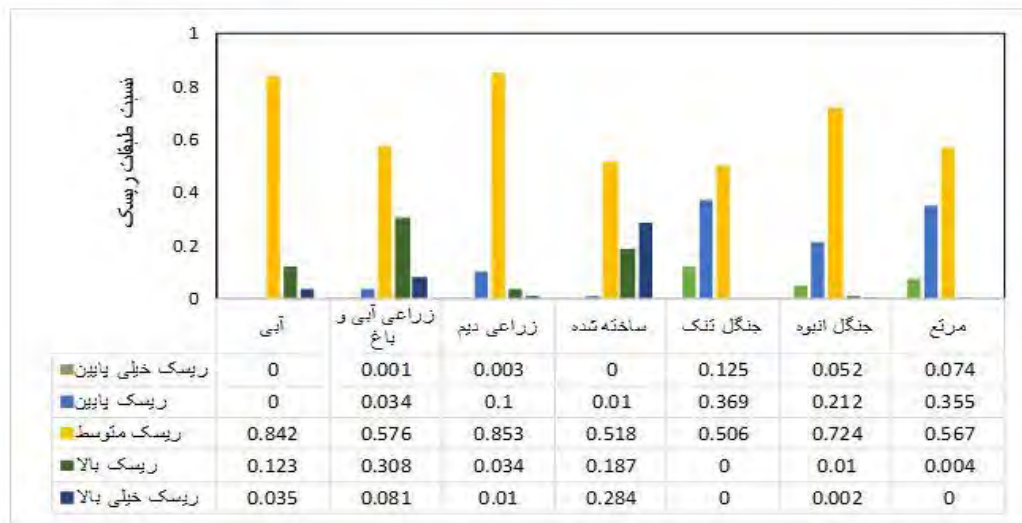
جدول ۴. مساحت طبقات ریسک سیل برای زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبخیز نکارود (هکتار)

طبقه ریسک	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
زیرحوضه پایاب نکا	۰	۰	۴۴۹,۱	۴۲۹,۹۳	۱۳۵,۳۶
زیرحوضه میانی نکا	۶۰,۱۲	۳۴۱,۹۱	۱۹۴۵,۱۷	۵۳,۱۹	۱۱,۳۴
زیرحوضه سراب نکا	۲۴۹,۷۵	۹۴۹,۸۶	۱۶۲۸,۳۷	۲۲,۳۲	۰

نتایج نشان داده شده در جدول ۳ بیانگر این است که ۰,۶۴ درصد از سطح منطقه را ریسک متوسط سیل پوشش می‌دهد. مناطق با ریسک سیل زیاد و خیلی زیاد ۱۰ درصد از سطح منطقه را پوشش می‌دهد که در بخش شمالی حوضه آبخیز نکارود قرار گرفته است. وضعیت طبقات ریسک سیل برای زیرحوضه‌های مختلف نکارود بررسی و نتایج آن به صورت جدول ۴ نشان داده شده است.

زیرحوضه پایاب نکا بیشترین مساحت طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد را در منطقه مورد مطالعه پوشش می‌دهد و زیرحوضه سراب نکا کمترین مقدار ریسک زیاد و خیلی زیاد و بیشترین مقدار ریسک متوسط را پوشش می‌دهد. به طور کلی، ۸۷ درصد از مناطق با ریسک زیاد و خیلی زیاد در زیرحوضه پایاب نکا قرار دارد که لزوم توجه و برنامه‌ریزی سازمان‌های مسئول برای این زیرحوضه را نمایان می‌کند. بررسی وضعیت عوامل مختلف مؤثر بر سیل نیز این موضوع را تأیید می‌کند. کمترین میانگین شیب و ارتفاع، فاصله از شبکه آبراهه مربوط به زیرحوضه پایاب نکا است که مجموع عوامل فوق سبب افزایش خطر سیل می‌شود. همچنین، بیشترین تراکم جمعیت و تولید محصول نیز مربوط به زیرحوضه پایاب نکا است که سبب افزایش آسیب‌پذیری محدوده در اثر سیل می‌شود.

با توجه به اهمیت وضعیت اراضی مسکونی از نظر ریسک‌پذیری سیل، برای بررسی شرایط ریسک سیل در شهر نکا و دیگر مناطق ساخته شده به نسبت دیگر مناطق، وضعیت طبقات ریسک سیل برای کاربری‌های اراضی مختلف بررسی و تحلیل شده است. شکل ۱۰ نتایج بررسی نسبت مساحت طبقات ریسک به مساحت کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰. نسبت مساحت طبقات مختلف ریسک به مساحت کاربری‌های اراضی مختلف حوضه آبخیز نکارود

نتایج نشان داده شده در شکل ۱۰ بیانگر این است که در همه کاربری‌های اراضی نسبت مساحت طبقات ریسک به مساحت کاربری مربوط به طبقه ریسک متوسط است. برای کاربری‌های جنگل انبوه، جنگل تنک، و مرتع نسبت مساحت طبقه ریسک پایین بیشتر از نسبت مساحت طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد است؛ ولی برای کاربری‌های ساخته شده، زراعی آبی، و باغ و آبی نسبت مساحت طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد بیشتر از نسبت مساحت طبقه ریسک کم و خیلی کم است. اراضی ساخته شده، زراعی آبی، و باغ و آبی به نسبت اراضی جنگل انبوه، جنگل تنک، و مرتع دارای میانگین شیب، ارتفاع، تراکم پوشش گیاهی، و فاصله از شبکه آبراهه کمتر و دارای میانگین تراکم جمعیت و تراکم تولید محصول بیشتری می‌باشند.

اراضی ساخته شده نسبت به دیگر کاربری‌ها دارای بزرگ‌ترین نسبت مساحت طبقه ریسک خیلی بالاست. نتایج شکل ۱۰ بیانگر این است که ۵۹ درصد از اراضی ساخته شده حوضه آبخیز نکارود از نظر ریسک‌پذیری سیل در طبقه زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. ریسک سیل برای شهر نکا بسیار بیشتر است و ۶۷ درصد شهر در طبقه ریسک خیلی بالا و ۹۰ درصد در طبقات ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. این موضوع نشان‌دهنده این است که شهر نکا در موقعیت خطرناک از نظر ریسک سیل در حوضه آبخیز نکارود قرار گرفته است. با توجه به عبور رودخانه نکارود از مرکز شهر نکا و قرارگیری شهر در ابتدای محدوده دشت، که شبکه‌های آبراهه نکارود بعد از طی یک مسیر بسیار طولانی ۱۳۰ کیلومتری با شرایط توپوگرافی کوهستانی توأم با ارتفاع و شیب خیلی زیاد با حجم آب بسیار فراوان، که توسط شاخه‌های مختلف به یکدیگر پیوسته‌اند، ناگهان وارد آن می‌شود، این حجم زیاد آب با سرعت بسیار بالا باید به وسیله تک کانال رودخانه ابتدا از شهر نکا و سپس دشت عبور کند و به دریا بریزد؛ به دلیل اینکه ظرفیت حمل آب به وسیله کانال محدود است، آب در محدوده شهر و دشت پخش و به سیلاب خطرناک تبدیل می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

تلفیق GIS و MCDA روش و تکنیک مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل مسائل تصمیم‌گیری پیچیده مانند پهنه‌بندی ریسک سیلاب را، که اغلب شامل داده‌ها و معیارهای مختلف و مقایسه‌ناپذیرند، فراهم می‌کند. تصمیم‌گیری در دنیای واقعی مستلزم در نظر گرفتن شواهد و اطلاعات به دست آمده از منابع مختلف است. در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره،

تصمیم‌گیرنده باید بر اساس معیارهای موجود، از میان چندین گزینه، بهترین گزینه را تعیین کند. از آنجا که نمی‌توان انتظار داشت تصمیم‌گیرندگان یک مسئله چندمعیاری از همه جنبه‌های حاکم بر مسئله دانش کافی داشته باشند و تصمیم‌گیری و معیارهای مؤثر بر آن را با همه جزئیات و به صورت کامل بشناسند، عدم قطعیت همواره در نتایج مقایسات وجود خواهد داشت. به همین منظور، در پژوهش حاضر از تئوری استدلال شهودی دمپستر- شافر برای برطرف کردن عدم قطعیت موجود در آرای کارشناسان متخصص و تعیین وزن نهایی معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر ریسک‌پذیری ناشی از سیل استفاده شد. میزان ریسک‌پذیری ناشی از سیل به میزان خطرپذیری و آسیب‌پذیری عناصر درون حوضه آبخیز نکارود وابسته است. با توجه به نظر کارشناس متخصص، مجموعه معیارهای توپوگرافیکی، هیدرواقليمی، زمین‌شناختی، و پوشش سطح مؤثر بر ایجاد خطر و معیارهای تراکم جمعیت، تراکم تولید محصولات، و فاصله از شبکه راه در میزان آسیب‌پذیری ناشی از سیل مؤثر در نظر گرفته شد و با توجه به آن نقشه ریسک سیل به دست آمد. بدین منظور، معیارها و زیرمعیارها در سطوح مختلف دسته‌بندی شد و با هم‌پوشانی معیارهای مختلف با توجه به وزن نهایی حاصل شده از ترکیب آرای کارشناسان متخصص و با استفاده از تئوری دمپستر- شافر هدف نهایی- که تهیه نقشه ریسک‌پذیری سیل حوضه آبخیز نکارود بود- حاصل شد. در نهایت، نقشه ریسک‌پذیری به دست آمده نرمال شد و با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار نقشه ریسک نرمال شده، منطقه مورد مطالعه، از نظر ریسک‌پذیری سیل، به پنج کلاس طبقه‌بندی شد و وضعیت زیرحوضه‌ها و کاربری‌های اراضی مختلف از نظر طبقات مختلف ریسک سیل بررسی و تحلیل شد. نتایج بررسی نشان می‌دهد که با توجه به تلفیق آرای کارشناسان متخصص درباره اهمیت معیارهای مختلف در خطرپذیری و آسیب‌پذیری سیل با استفاده از تئوری دمپستر- شافر، مجموعه عوامل توپوگرافیکی بیشترین وزن را برای ایجاد خطر و عامل تراکم جمعیت بیشترین وزن را برای آسیب‌پذیری ناشی از سیل دارند. برای تهیه نقشه ریسک سیل، در مجموع معیارهای خطرپذیری وزن ۰/۷۰۱ و آسیب‌پذیری وزن ۰/۲۹۹ را به خود اختصاص دادند. نتایج حاصل از بررسی طبقات مختلف ریسک‌پذیری نشان می‌دهد که بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه با طبقه ریسک متوسط پوشش داده می‌شود. زیرحوضه پایاب نکا و سراب نکا به ترتیب بیشترین و کمترین مساحت ریسک زیاد و خیلی زیاد را دربر می‌گیرد. همچنین، کاربری‌های جنگل انبوه، جنگل تنک، و مرتع نسبت مساحت طبقه ریسک کم و خیلی کم بیشتر از نسبت مساحت طبقه ریسک زیاد و خیلی زیاد است؛ ولی برای کاربری‌های ساخته شده، زراعی آبی، و باغ و آبی این نسبت برعکس است. ۶۷ درصد مساحت شهر نکا در طبقه ریسک خیلی بالا و ۹۰ درصد در طبقات ریسک بالا و خیلی بالا قرار دارند. این نشان‌دهنده آن است که شهر نکا در موقعیت خطرناک از نظر سیل‌گیری در حوضه آبخیز نکارود قرار گرفته است.

منابع

- افشین، ی. (۱۳۷۳). رودخانه‌های ایران، وزارت نیرو.
- امیدوار، ک؛ کیان‌فر، آ. و عسکری، ش.ا. (۱۳۸۹). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز کنج‌تچم، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۲(۴۲): ۷۳-۹۰.
- سازمان آب منطقه‌ای استان مازندران (۱۳۶۹). گزارشی از وضعیت هیدرولوژیکی رودخانه نکا و دشت جنوبی گرگان.
- سیلاوی، ط. (۱۳۸۵). ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران با به‌کارگیری مدل‌های فازی شهودی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- عسگری، ع.ب. (۱۳۵۱). شهرستان اشرف البلاد، تهران.
- لاجوردی، م؛ خالدی، ش؛ ستاری، ش. (۱۳۹۲). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبریز مردق‌چای (آذربایجان شرقی)، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۱۷(۴۴): ۲۳۷-۲۵۵.
- لعلی‌نیت، ایلیا. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی ریسک‌پذیری انسانی زمین‌لرزه در مناطق شهری با استفاده از مدل‌های مکان مینا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات.
- ملکیان، آ؛ افتادگان خوزانی، ا. و عشوری‌نژاد، غ. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز اخترآباد با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۴۴(۴): ۱۳۱-۱۵۲.
- Afshin, Y. (1994). Iran's rivers, Ministry of Power.
- Askari, A.B. (1972). Ashraf Al-Bellad city, Tehran.
- Dai, F.C.; Lee, C.F. and Zhang, X.H. (2001). GIS-based geo-environmental evaluation for urban landuse planning: a case study, *Engineering geology*, 61(4): 257-271.
- Demir, V. and Kisi, O. (2016). Flood Hazard Mapping by Using Geographic Information System and Hydraulic Model: Mert River, Samsun, Turkey, *Advances in Meteorology*.
- Dempster, A.P. (1968). A generalization of Bayesian inference, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 30: 205-247.
- Di Baldassarre, G.; Schumann, G. and Bates, P.D. (2009). A technique for the calibration of hydraulic models using uncertain satellite observations of flood extent, *Journal of Hydrology*, 367(3): 276-282.
- Gamper, C.D.; Thöni, M. and Weck-Hannemann, H. (2006). A conceptual approach to the use of Cost Benefit and Multi Criteria Analysis in natural hazard management, *Natural Hazards and Earth System Science*, 6(2): 293-302.
- Getahun, Y.S. and Gebre, S.L. (2015). Flood hazard assessment and mapping of flood inundation area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GEORAS, HEC-RAS Model, *Journal of Civil and Environmental Engineering*.
- Hudson, P.F. (2003). Event sequence and sediment exhaustion in the lower Panuco Basin, Mexico, *Catena*, 52(1): 57-76.
- Kolat, Ç.; Doyuran, V.; Ayday, C. and Süzen, M.L. (2006). Preparation of a geotechnical microzonation model using Geographical Information Systems based on Multicriteria Decision Analysis, *Engineering geology*, 87(3): 241-255.

- Laali Niat, A. (2015). Earthquake human risk zoning in urban spaces using location-based models, master thesis, Islamic azad university Science and Reserch Branch.
- Lajvardi, M.; Khaledi, Sh. and Sattari, Sh. (2013). Zoning of flooding potential in the Mardagh tea catchment area (East Azerbaijan), *Journal of Geography and Planning*, 17(44): 237-255.
- Malkiyan, A.; Oftadegan Khozani, A.; Ashourinejad, Gh. (2012). Zoning of flooding potential in the Akhtrabad catchment area using fuzzy hierarchical analysis, *Natural Geography Research*, 44(4): 131-152.
- Malpica, J.A.; Alonso, M.C. and Sanz, M.A. (2007). Dempster–Shafer Theory in geographic information systems: A survey, *Expert Systems with Applications*, 32(1): 47-55.
- Maskrey, A. (1989). Disaster mitigation: a community based approach.
- Mazandaran Regional Water Authority (1990). A report on the hydrological situation and the Naka River in southern Gorgan plain.
- Merwade, V.; Cook, A. and Coonrod, J. (2008). GIS techniques for creating river terrain models for hydrodynamic modeling and flood inundation mapping, *Environmental Modelling and Software*, 23(10): 1300-1311.
- Meyer, V.; Scheuer, S. and Haase, D. (2009). A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany, *Natural hazards*, 48(1): 17-39.
- Omidvar, K.; Kianfar, A. and Asgari, Sh. (2010). Zoning of flooding potential in the Knjanchm catchment area, *Natural Geography studies*, 42(72).
- Qin, Q.M.; Tang, H.M. and Chen, H.K. (2011). Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fuling District, Chongqing. In 2011 International Conference on Photonics, 3D-imaging, and Visualization (pp. 820530-820530), International Society for Optics and Photonics.
- Rashed, T. and Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas, *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6): 547-576.
- Shafer, G. (1976). A mathematical theory of evidence (Vol. 1, pp. xiii+-297), Princeton: Princeton university press.
- Silavi, T. (2006). Assessment seismic vulnerability in the Tehran using fuzzy model intuitive, master thesis, Technical Faculty of Tehran University.
- Sinnakaudan, S.K.; Ab Ghani, A.; Ahmad, M.S.S. and Zakaria, N.A. (2003). Flood risk mapping for Pari River incorporating sediment transport, *Environmental Modelling and Software*, 18(2): 119-130.
- Wang, Y.; Li, Z.; Tang, Z. and Zeng, G. (2011). A GIS-based spatial multi-criteria approach for flood risk assessment in the Dongting Lake Region, Hunan, Central China, *Water resources management*, 25(13): 3465-3484.
- Wolski, P.; Savenije, H.H.; Murray-Hudson, M. and Gumbricht, T. (2006). Modelling of the flooding in the Okavango Delta, Botswana, using a hybrid reservoir-GIS model, *Journal of Hydrology*, 331(1): 58-72.
- Zou, Q.; Zhou, J.; Zhou, C.; Song, I. and Guo, J. (2013). Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis – variable fuzzy sets model and fuzzy AHP, *Stoch Environ. Res. Risk Assess*, 27: 525-549.