نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

صفحات ۲۳ -۴۰

پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه نکارود، نکا– مازندران

محمد مهدی حسین‌زاده[1]؛ دانشیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

علیرضا صالحی میلانی؛ استادیار، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

فاطمه رضائیان زرندینی؛ کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۱۰/۰۲ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۲/۱۵

چکیده

سیل یکی از مخرب‌ترین و مهم‌ترین بلایای طبیعی می‌باشد که براساس آمارهای موجود خسارات جانی و مالی زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. یکی از اقدامات کلیدی، شناخت مناطق دارای پتانسیل وقوع سیلاب می‌باشد. در این پژوهش احتمال وقوع سیلاب رودخانه نکارود واقع در استان مازندران با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) مطالعه شده‌است. باتوجه به روش، از ۴ معیار اصلی شامل ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی در این پژوهش استفاده شده‌است. پس از آماده‌سازی معیارها، هرمعیار به صورت نزولی در ۹ کلاس ارزش‌گذاری و با توجه به تاثیر هر معیار در احتمال وقوع سیلاب طبقه‌بندی شدند. سپس شاخص وزن نرمال‌شده (NWI) محاسبه شد و نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب با تلفیق معیارها به روش وزن‌دهی خطی (WLC) در ۵ طبقه تهیه گردیده‌است. نتایج بدست آمده، نشان می‌دهد که، حدود ۹۸۲.۵۸ کیلومتر مربع (۵۱.۴۲ درصد) از دو طرف رودخانه نکارود دارای پتانسیل احتمال خطر زیاد و خیلی‌زیاد وقوع سیلاب است. قسمت ورودی شهر نکا و محدوده‌هایی که دارای کاربری مسکونی و زراعی هستند، به دلیل تراکم بالای شبکه آبراهه و همینطور شیب ۶ تا ۱۰ درجه دارای بیشترین میزان خطر می‌باشند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، روشی سریع و کم هزینه برای استفاده در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی احتمال وقوع سیلاب در حوضه‌های فاقد اطلاعات هیدرومتری می‌باشند.

واژه های کلیدی: سیل، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره ، نقشه خطر، نکارود، مخاطرات طبیعی.

[1] . نویسنده مسئول: Email: m_hoseinzadeh@sbu.ac.ir

مقدمه

سیل یکی از مخرب‌ترین و مهم‌ترین بلایای طبیعی می‌باشد که براساس آمارهای موجود خسارات جانی و مالی زیادی را به خود اختصاص می‌دهد. عواملی چون تغییرات جوی و دخل و تصرف انسان در طبیعت، بهره برداری بیش از حد از اراضی، فعالیت های صنعتی، توسعه و رشد بی‌قاعده شهری و عدم توجه به منابع طبیعی آسیب‌پذیر باعث شده در دهه‌های اخیر سیل بعنوان یک بلای مخرب شناخته شود (Falah et al, ۲۰۱۹). به همین دلیل تحقیقات گسترده ای در سطح جهان انجام شده تا بتوان بر اساس پیش‌بینی‌های صورت گرفته از زیانهای این مخاطره طبیعی بکاهد.

طغیان سیل یک فاجعه طبیعی است که در اثر بارندگی شدید ایجاد می‌شود و این امر سبب خسارت به زیرساخت‌ها، محصولات زراعی و خسارات جانی می‌شود (Hudson et al,۲۰۱٤). حداقل یک‌سوم از همه ضرر و زیان ناشی از نیروهای طبیعی را می‌توان به جاری شدن سیل نسبت داد (Rashid, ۲۰۱۱).

تحقیقات نشان می‌دهد حتی اگر نواحی مختلف کشور ایران، در معرض سیلاب‌های بزرگ نباشد، سیلاب‌های کوچک نیز می تواند باعث وقوع خسارات فراوان شود (ابراهیمیان و براری، ۱۳۹۷). وسعت مناطق سیل‌خیز کشور حدود ۹۱ میلیون هکتار برآورد شده‌است؛ به عبارتی ۵۵ درصد از سطح کل کشور در تولید رواناب نقش دارند، که از مقادیر فوق، حدود ۴۲ میلیون هکتار آن دارای شدت سیل‌خیزی متوسط تا زیاد است (احمدی ایلخچی و همکاران، ۱۳۸۱). با توجه به تغییرات آب و هوایی، تغییر الگوی بارش و افزایش سطح آب دریاها، شرایط لازم برای افزایش سیل در جهان در آینده وجود دارد و علاوه بر آن رشد جمعیت و توسعه شهری و سکونتگاه‌های انسانی سبب شده سیل به عنوان یکی از مهمترین مخاطره برای انسان تبدیل شود (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰). تا سال ۲۰۵۰ احتمال داده می شود بیش از ۱/۳ میلیارد نفر در معرض مخاطره سیل قرار گیرند (Falah et al, ۲۰۱۹). تلاش برای کاهش خسارات ناشی از سیل و کنترل سیلاب امری ضروری است؛ در این باره تجارب کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین مرحله جهت کاهش آثار زیان‌بار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و درجه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا براساس نتایج حاصله بتوان در رابطه با چگونگی استفاده از اراضی و کاربری‌های مختلف ازجمله کشاورزی، شهری، صنعتی و غیره تصمیم‌گیری نمود و زیان‌های ناشی از سیل را به حداقل ممکن کاهش داد (حمیدی و همکاران، ۱۳۹۵).

بنابراین تدوین برنامه‌ای جامع با هدف مهار، کنترل و بهره‌برداری بهینه با اعمال اقدامات مدیریتی، متناسب با کلیه عوامل دخیل در ایجاد و طغیان سیلاب‌های منطقه‌ای ضروری می‌باشد. از جمله اقدامات مدیریتی که می‌تواند نقش به‌سزایی در کاهش خسارات ناشی از وقوع سیلاب داشته باشد، پهنه‌بندی خطر سیل است (وهابی، ۱۳۸۵).

یکی از کارهای مهم و ضروری در حوضه‌های آبریز، تهیه نقشه‌های احتمال خطر سیل و تحلیل آن می‌باشد، که در دهه‌های اخیر محققان برای به‌دست آوردن نقشه‌های احتمال خطر سیلاب در یک منطقه از تکنیک‌های سنجش از دور و سیتسم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌کنند. یکی از روش‌های تحلیل داده‌های مکانی، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) می‌باشد. تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره توسط ووگ در سال ۱۹۸۳ به‌عنوان روشی برای تحلیل تصمیم‌گیری ترکیبی ارائه گردید. در دهه ۱۹۶۰ روش‌های متعددی برای بررسی روش تصمیم‌گیری چند معیاره ارائه گردید. روش جدید تصمیم‌گیری چند معیاره اغلب با فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP) و تکنیک سیتسم اطلاعات

جغرافیایی (GIS) برای ارتقا دادن به این رویکرد ترکیب شده‌است (Hajkowicz and Collins , ۲۰۰۷; Lyu et al, ۲۰۱۹). در راستای شناسایی مناطق مستعد سیلاب در ایران مطالعات فراوانی انجام گرفته که می توان به موارد ذیل اشاره کرد.

استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب درحوضه لیقوان چای (حجازی و همکاران، ۱۳۹۴)، پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز شیطور بافق با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (حسن‌زاده نفوتی و خواجه بافقی، ۱۳۹۵)، پیش‌بینی اثرات اقدامات کنترل سیلاب با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره در حوضه آبخیز جعفرآباد استان گلستان (Mostafazadeh et al,۲۰۱۷)، اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌های آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و TOPSIS و شناسایی متغیرهای مهم شامل درصد اراضی نفوذناپذیر، شماره منحنی و شیب آبراهه اصلی (رضوی و شاهدی، ۱۳۹۵)، اولویت‌بندی سیل‌گیری زیرحوضه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره تاپسیس و تعیین پارامترهای درجه شیب، تراکم آبراهه و پارامتر اقلیمی بارندگی به عنوان مهمترین عوامل (امیری و همکاران، ۱۳۹۷)، ارائه راهکارهای مدیریتی در مقابله با مخاطرات هم‌زمان سیلاب‌های ساحلی و درون‌شهری، با معرفی استراتژی‌های کاهش‌دهنده اثرات مخرب سیلاب با استفاده از روش سلسله مراتبی و ۵ معیار درجه کاهش خطر، زیبایی، هزینه ساخت، هزینه نگهداری و بهره‌برداری و سطح سازگاری با طبیعت (کارآموز و طاهری، ۱۳۹۷)، ریزپهنه‌بندی خطر سیلاب در شهر لامرد با استفاده از مدل AHP، GIS و منطق فازی (غلامی و احمدی، ۱۳۹۸)، پهنه‌بندی احتمال خطر سیلاب در اراضی حاشیه رودخانه گاماسیاب با توجه به روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و استفاده از ۴ معیار ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰)، ارزیابی سناریوهای بهینه تغییر کاربری اراضی و تاثیر آن بر واکنش هیدرولوژیک جریان در حوضه آبریز اهل ایمان در قسمت غربی استان اردبیل (ضیائی و همکاران،۱۴۰۰)، پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC (اسفندیاری درآباد و همکاران، ۱۴۰۰) و برآورد دبی سیلابی حوضه آبریز کشکان واقع در استان لرستان با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی هیبریدی نوین شامل شبکه عصبی مصنوعی -تفنگدار خلاق، شبکه عصبی مصنوعی-عنکبوت بیوه سیاه و شبکه عصبی مصنوعی -ازدحام مرغ در طی دوره‌ی زمانی ۱۴۰۰- ۱۳۹۰ (رستمی و همکاران،۱۴۰۰) از جمله این مطالعات است که با هدف مقایسه روش ها و عوامل مورد استفاده در مدل سازی مورد بررسی قرار گرفت.

فرناندز و لوتز (Fernández and Lutz, ۲۰۱۰)، در آرژانتین با استفاده از MCDA وGIS روشی را برای بررسی ۵ پارامتر ارتفاع از سطح دریا، شیب، فاصله از کانالهای زهکشی شهری، عمق آب زیرزمینی در محل چاه‌های پیزومتریک و کاربری‌های شهری ابداع نمود که در آن رتبه‌دهی به پارامترها از پرسشنامه AHP استفاده نمود. ژیائو و همکاران (Xiao et al, ۲۰۱۷)، به مطالعه یکپارچگی ارزیابی خطر سیل مبتنی بر روش متوسط میانگین وزنی محاسبه شده پرداخته‌اند. در این مطالعه با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی یک چهارچوبی از تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش میانگین وزنی انجام دادند. همچنین در این مطالعه، اهمیت نسبی معیارها از طریق روش فازی محاسبه گردیده،که ارزش این روش بر این است که فرایند تصمیم‌گیری در ناهمگنی فضایی ارزیابی خطر لحاظ می‌شود. میشرا و سینها (Mishra and Sinha, ۲۰۲۰)، در تحقیقی به مطالعه سیل در رودخانه کوسی در بیهار، شرق هند پرداختند، این مطالعه آسیب‌پذیری خطر سیل با

داده‌های ژئومورفولوژیکی، هیدرولوژیکی و اجتماعی-اقتصادی با استفاده از نرم‌افزار GIS و با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و تحلیل سلسله‌مراتبی را ارزیابی کردند، طبق نتایج ذکرشده، این پژوهش پیامدهای قابل توجهی برای توسعه اقدامات و طرح‌هایی دارد که به دولت و سازمان‌های امدادی در شناسایی مناطق سیل‌خیز و برنامه‌ریزی استراتژی‌های مدیریت اضطراری در این منطقه کمک می‌کند. اوگاتو و همکاران (Ogato et al, ۲۰۲۰) به مطالعه تجزیه و تحلیل خطر سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه آبخیز شهر امبو پرداختند. معیارهای کاربری زمین، پوشش گیاهی، ارتفاع، شیب، تراکم زهکشی، خاک و بارندگی را به عنوان عوامل مهم خطر سیل در نظر گرفتند.

از جمله محققانی که با استفاده از تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره به ارزیابی و پهنه‌بندی سیلاب در محیط‌های شهری پرداخته‌اند می‌توان به سون و تونگ (Sun and Tong, ۲۰۱۳) و پاپیانو و همکاران (Papaioannou et al, ۲۰۱۵) اشاره کرد. پژوهشگرانی که با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره به بررسی احتمال خطر سیل در حوضه‌های آبریز با کمک شاخص‌های ژئوموفیک به شناسایی مناطق مستعد سیلاب پرداخته‌اند می‌توان به کارهای سامانتا و همکاران (Samanta et al, ۲۰۱۶)، ثقفی و رضایی مقدم، ۱۳۹۱ اشاره نمود.

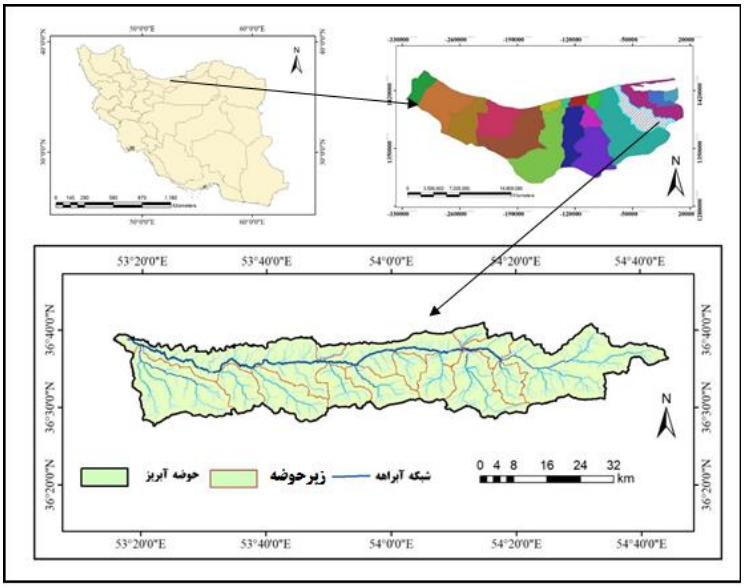
روش تصمیم‌گیری چندمعیاره با تعیین وزن معیارها و تلفیق آنها در علوم محیطی مختلفی از جمله پهنه‌بندی سیلاب، مکان‌یابی سکونتگاه‌های شهری، مکان‌یابی دفن زباله و همینطور پهنه‌بندی زمین‌لغزش و استفاده کرد که وزن‌دهی معیارها در این روش به دانش کارشناس بستگی دارد (Malczewski, ۲۰۰٤). با استفاده از رویکرد تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره ، مناطق مستعد در معرض خطر سیلاب با شاخص‌ها و فرایندهای فیزیکی مکانیسم‌های تولید کننده سیلاب مرتبط می‌شوند (Papaioannou et al, ۲۰۱۵). با توجه به وقوع سیل‌های متعدد با خسارات و زیان های سنگین که در حوضه آبریز نکارود در دهه‌های اخیر (سیل ۱۳۷۸ بر اساس گزارش اداره کل آب و منطقه ایی استان مازندران و سیل اسفند ۱۳۹۷ بر اساس مشاهده نگارنده) رخ داده و افزایش سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های انسانی در حوضه مذکور، ضرورت دارد پژوهشی تحت عنوان پهنه‌بندی حساسیت سیلاب در حوضه آبریز نکارود برای مدیریت موثرتر در این منطقه صورت گیرد. بنابراین هدف این تحقیق شناسایی مناطق با خطر بالای سیل با استفاده از معیارهای محدودتر و با سرعت بالا و هزینه کمتر در حوضه مورد مطالعه است.

داده ها و روش کار

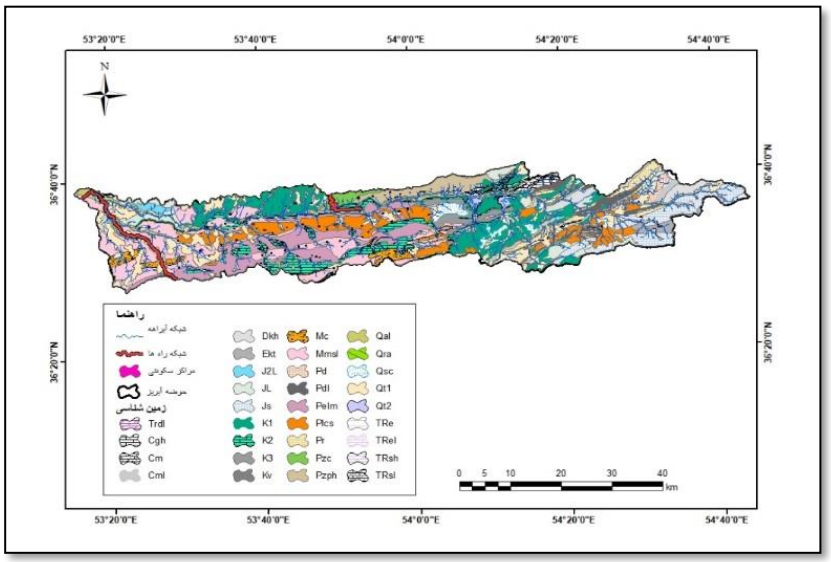
برای تعیین محدوده مورد مطالعه، ابتدا حدود طبیعی حوضه آبریز نکا بر روی نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ ترسیم گردید. این حوضه حدودا بین ۵۳ درجه و ۱۷ دقیقه الی ۵۴ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه الی ۳۶ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده‌است. حوضه آبریز نکارود با مساحت ۱۹۲۲ کیلومتر مربع از لحاظ تقسیمات سیاسی جزء استان مازندران می‌باشد (شکل۱). ارتفاع بلندترین نقطه حوضه ۳۵۰۰ متر (ارتفاعات شاه‌کوه) و ارتفاع پست‌ترین نقطه حوضه در منطقه خروجی (ایستگاه آبلو) حدود ۵۰ متر و در محل اتصال به دریای خزر -۲۰ متر می‌باشد. حدود ۶۱٪ حوضه در محدوده استان مازندران و ۳۹٪ آن در محدوده استان گلستان واقع شده‌است. زیر حوضه‌های هفتگانه این حوضه می‌توان به لکشا، گلورد، برما، متکازین، کیاسر، الارز و سرخ گریه اشاره کرد. زیرحوضه سرخ گریه از بالاترین ارتفاع (۲۴۴۲ متر) و

زیرحوضه لکشا از کمترین ارتفاع (۵۸ متر) و بیشترین سطح (۲۵۲/۳۷ کیلومتر مربع) و زیرحوضه متکازین از کمترین سطح (۳۸/۳۶ کیلومتر مربع) در حوضه نکارود برخوردارند، بیشترین شیب متوسط در زیرحوضه سرخ گریه با ۲۲/۴۳ درصد و کمترین آن مربوط به زیرحوضه لکشا با ۱۱/۸۵ درصد است (سلیمانی و حبیب نژاد، ۱۳۸۱).

از نظر زمین شناسی بیشتر حوضه از تشکیلات آهکی و مارنی است. در جنوب و جنوب‌غربی رودخانه نکا، جنس سنگ اغلب رس و مارن آهکی است که سبب می‌شوند این حوضه دارای پتانسیل فرسایش‌پذیری بالایی داشته باشد (شکل۲). از لحاظ میزان بارندگی در منطقه مورد مطالعه از غرب به شرق و از ارتفاع ۰ تا ۱۳۳۰ متر از سطح دریا دارای گرادیان منفی است و با کاهش عمومی مقدار بارندگی همراه است.



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

برای انجام مطالعه پهنه‌بندی خطر سیل گیری منطقه با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری و مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۲۰ متر (سایت سازمان زمین شناسی آمریکا) استخراج گردیده‌است. جهت بررسی مخاطره سیلاب در رودخانه نکارود از ۴ معیار زیر استفاده شده‌است:

- **ارتفاع:** یکی از عوامل موثر در مخاطره سیلاب به ویژه در قسمت پایین دست حوضه می‌باشد، در این پژوهش لایه طبقات ارتفاعی در ۹ کلاس طبقه‌بندی شده‌است. نقشه طبقات ارتفاعی حوضه‌آبریز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲۰ متر تهیه شده از نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج گردید.
- **شیب:** شیب معیاری برای فرسایش خاک، نفوذ و تراکم رواناب سطحی می‌باشد و همانند لایه ارتفاع، این لایه به ۹ کلاس طبقه‌بندی شده‌است.
- **فاصله از رودخانه:** یکی از عوامل تاثیرگذار دیگر، معیار فاصله از رودخانه می‌باشد، زیرا میزان فاصله از رودخانه با خطر سیلاب رابطه مستقیم دارد. برای بدست‌آوردن مناطق مجاور رودخانه‌ای در این پژوهش از نرم‌افزار GIS و دستور Euclidean Distance استفاده گرده‌است و سپس لایه به ۹ کلاس طبقه‌بندی شده‌است.
- **کاربری اراضی:** لایه کاربری اراضی منطقه در محیط نرم‌افزار GIS با توجه به میزان حساسیت هر کدام از کاربری‌ها به ۷ کلاس طبقه‌بندی گردیده‌است.

در پژوهش حاضر مدل‌سازی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در ۴ مرحله به شرح ذیل انجام گردیده‌است.

- **ارزش گذاری نزولی:** پس از تهیه لایه‌ها و طبقه‌بندی هر معیار با توجه به نظر کارشناسی، مقادیر اختصاص یافته به هر معیار تعیین گردیده‌شد، و ارزشی بین ۱ تا ۹ داده‌شده‌است، این ارزش‌گذاری بدین معناست که بالاترین کلاس۹، به معنی بیشترین میزان آسیب‌پذیری در احتمال وقوع خطر سیلاب می‌باشد، و کمترین کلاس۱، به معنی کمترین میزان آسیب‌پذیری در احتمال وقوع خطر سیلاب است (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰).
- **نرمال کردن هر کلاس[۲]:** بعداز کلاس‌بندی هر معیار، به منظور نرمال شدن داده ها، ارزش هر کلاس بر مجموع نرخ کل کلاس‌ها در هر معیار تقسیم شده و میزان شاخص نرمال شده در هر طبقه دامنه‌ای بین ۰.۲ تا ۰.۰۲ محاسبه گردید (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰).
- **وزن شاخص نرمال شده [۳]:** برای به‌دست آوردن وزن شاخص نرمال شده، باید به هرکدام از معیارها وزنی اختصاص داده‌شود، در این پژوهش، ارزش۴ به معیار فاصله از رودخانه اختصاص داده‌شده‌است، زیرا مناطق اطراف رودخانه از حساسیت بالاتری در آسیب‌پذیری وقوع سیلاب برخوردارهستند، و ارزش ۱ به معیار کاربری اراضی اختصاص یافته‌است (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰).

اعتبارسنجی مدل های پیش بینی برای بررسی صحت نقشه های پهنه بندی یک رخداد انجام می شود. صحت نقشه پهنه بندی سیلاب را می توان به صورت گرافیکی با روش درصد مساحت زیرمنحنی (ROC) و مقدار AUC محاسبه کرد. مقادیر AUC بین ۰/۵ تا ۱ بیشترین سطح زیر منحنی را داشته و گویای مدل مناسب است. مقادیر ارزیابی تخمین ۱-۰/۹ عالی،

۲. Normalized Rating Index, NRI
۳. Normalized Weight Index, NWI

۰/۰-۸/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط و ۰/۵-۰/۶ ضعیف خواهد بود. در این مطالعه از این روش برای ارزیابی نقشه پهنه بندی سیلاب استفاده شد.

- **تلفیق معیارها به روش ترکیب وزندهی خطی** (WLC): انجام عملیات ترکیب وزندهی خطی به میانگین وزنی تعدادی از پارامترهای انتخاب شده به نظر کارشناسی بستگی دارد. یکی از ساده‌ترین روش موجود به منظور تلفیق پارامترها روش وزندهی خطی می‌باشد، و نتایج حاصل از آن به‌طور قابل توجهی بین کارشناسان متفاوت می‌باشد. با توجه به وزن اختصاص یافته به هر معیار بر اساس نظر کارشناسی، هر یک از معیارها در وزن اختصاص یافته ضرب گردید و در انتها معیارها باهم جمع شده و نقشه نهایی پهنه‌بندی بدست آمد (رابطه۱)، (Malczewski, ۲۰۰٤).

$$WLC = \sum_{i=1}^{n} wi * Xstd \qquad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه Xstd معیار استاندارد شده و Wi وزن‌های به‌دست آمده برای هر معیار می‌باشد.

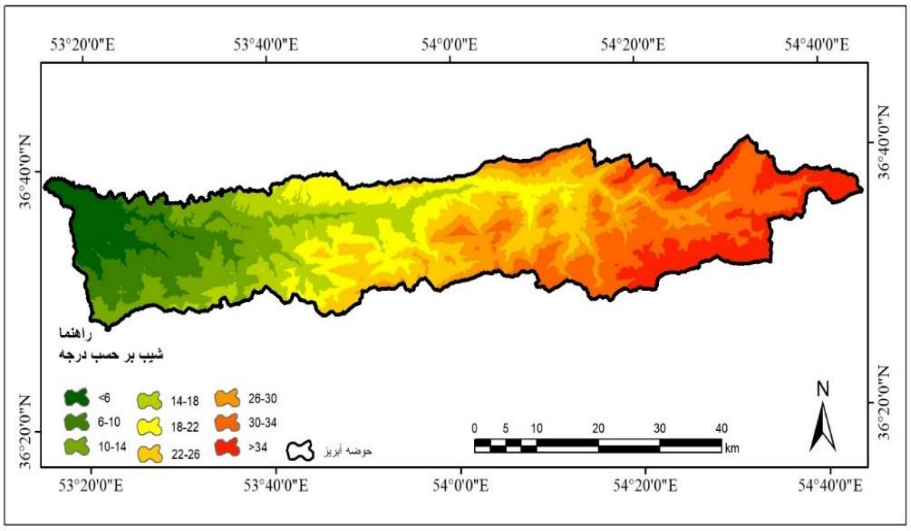
شرح و تفسیر نتایج

امروزه ضرورت مطالعه مخاطره سیلاب در بسیاری از مناطق کشور احساس می شود. حوضه نکا به دلیل وقوع سیلاب های متعدد در سال های گذشته نیازمند بررسی و شناخت نواحی پر خط در ارتباط با این مخاطره طبیعی است. در این پژوهش با استفاده از عوامل تاثیرگذار بر سیلاب، آسیب پذیری منطقه نسبت به سیلاب پهنه بندی شد.

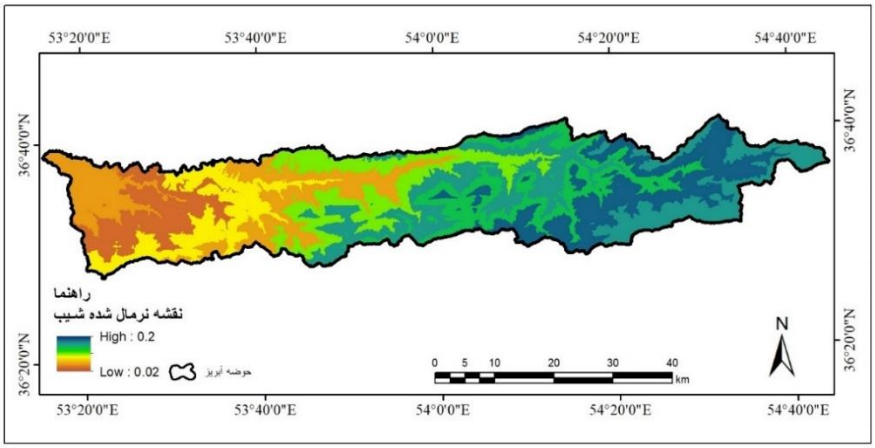
- **ارتفاع:** این پارامتر نقش مهمی در کنترل سیلاب‌ها دارد و ارتفاع حرکت جریان آب را کنترل می‌کند، به این معنی که جریان آب به سمت مناطق با ارتفاع کمتر و پست‌تر می‌باشد و مناطق با ارتفاع پایین‌تر بیشتر مستعد سیلاب هستند (Li et al, ۲۰۱۲). بر اساس مدل رقومی ارتفاع منطقه، متوسط طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه در ارتفاع ۰ تا ۵۲ متر می‌باشد. با توجه به ارتفاع متوسط غالب منطقه، حوضه‌آبریز، تحت تاثیر حساسیت به سیل‌گیری می‌باشد. مطابق جدول ۱ این منطقه به ۹ کلاس طبقه‌بندی گردیده‌است. کلاس شماره ۹ دارای بیشترین احتمال خطر سیل و کلاس شماره ۱ دارای کمترین احتمال خطر سیل با توجه به معیار ارتفاع می‌باشد. شکل۳ نقشه طبقات ارتفاعی و شکل ۴ نقشه نرمال‌شده طبقات ارتفاعی حوضه آبریز نکا جهت انجام مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره را نشان می دهد.
- **معیارشیب:** شیب دامنه ها در سطح حوضه می‌تواند اطلاعاتی همچون ضریب روان آب و نفوذ، قدرت فرسایشی روان آب و زمان تمرکز را بیان بکند. در ارزیابی هیدرولوژیکی، شیب یک منطقه نقش اساسی در تولید رواناب دارد. در منطقه مورد مطالعه با توجه به تقسیم‌بندی کلاس شیب نشان می‌دهد که شیب متوسط ۰تا ۳۰ درجه می‌باشد. جدول ۱ ارزش‌گذاری و نرمال شده طبقات شیب را نشان می‌دهد و شکل ۵ نقشه درجات شیب و شکل ۶ نقشه نرمال‌شده شیب منطقه مورد مطالعه جهت انجام مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد.

جدول ۱. ارزش گذاری و نرمال شده معیار ارتفاع و معیار شیب

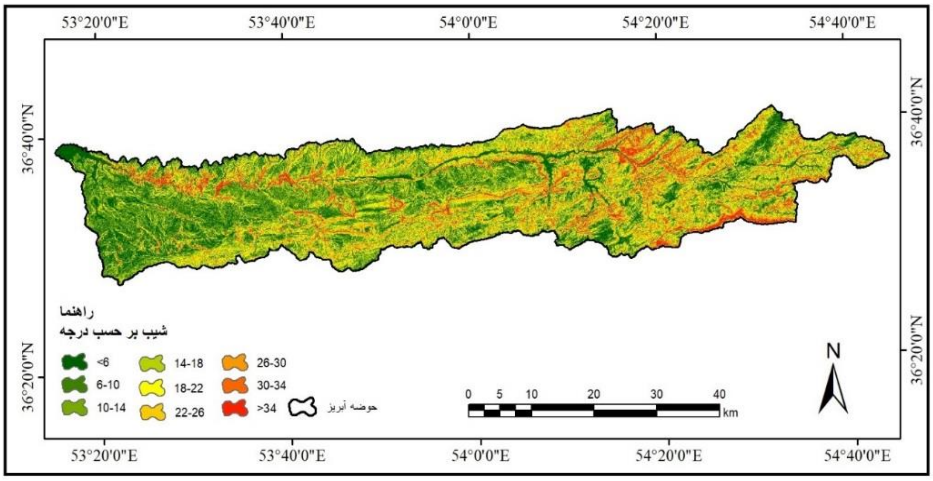
طبقات ارتفاعی	ارزش گذاری نزولی	نرمال شده هر کلاس	طبقات شیب	ارزش گذاری نزولی	نرمال شده هر کلاس
۳۵۰>	۹	۰/۲	۰-۶	۹	۰/۲
۳۵۰-۶۵۰	۸	۰/۱۸	۶-۱۰	۸	۰/۱۸
۶۵۰-۹۵۰	۷	۰/۱۶	۱۰-۱۴	۷	۰/۱۶
۹۵۰-۱۲۵۰	۶	۰/۱۳	۱۴-۱۸	۶	۰/۱۳
۱۲۵۰-۱۵۵۰	۵	۰/۱۱	۱۸-۲۲	۵	۰/۱۱
۱۵۵۰-۱۸۵۰	۴	۰/۰۹	۲۲-۲۶	۴	۰/۰۹
۱۸۵۰-۲۱۵۰	۳	۰/۰۷	۲۶-۳۰	۳	۰/۰۷
۲۱۵۰-۲۵۵۰	۲	۰/۰۴	۳۰-۳۴	۲	۰/۰۴
۲۵۵۰<	۱	۰/۰۲	۳۴<	۱	۰/۰۲



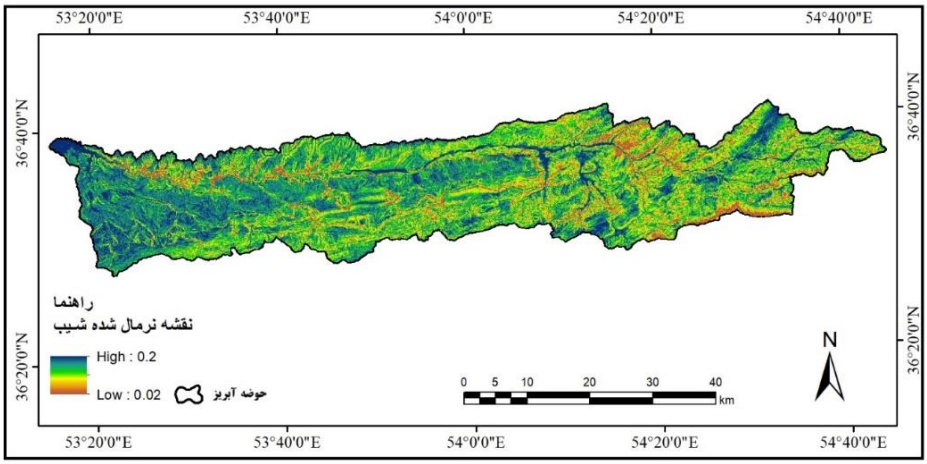
شکل ۳. نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. نقشه نرمال شده ارتفاع منطقه مورد مطالعه



شکل ۵. نقشه طبقات شیب منطقه مورد مطالعه



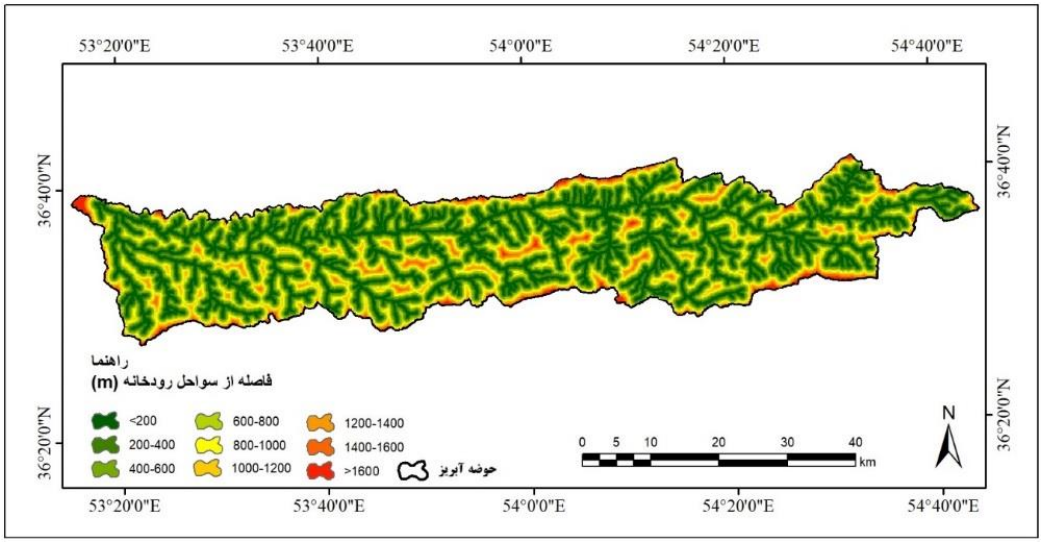
شکل ۶. نقشه نرمال شده شیب منطقه مورد مطالعه

- **معیار فاصله از رودخانه:** مخاطره سیلاب با توزیع شبکه زهکشی دریک حوضه مرتبط می‌باشد. زمانیکه سیلاب رخ می‌دهد مناطقی که نزدیک به رودخانه باشند به آسانی تحت تاثیر مخاطره سیلاب قرار می‌گیرند. در نتیجه هرچه منطقه به رودخانه نزدیکتر باشد، آن منطقه آسیب‌پذیرتر است (Xiao et al, ۲۰۱۷). مناطقی که کمتراز ۱۰۰ متر از رودخانه فاصله دارند، جزء مناطق مستعد سیلاب می‌باشند و مناطقی با فاصله بیش از ۲۰۰۰۰ متر از پتانسیل احتمال خطر سیلاب کمتر برخوردار می‌باشند (Samanta et al, ۲۰۱٦).

در این پژوهش فاصله منطقه از شبکه زهکشی از مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده شده‌است و سپس مطابق جدول ۲ به ۹ کلاس طبقه‌بندی شده‌است. جهت نرمال‌سازی معیار از نقشه فاصله از سواحل رودخانه استفاده گردید (شکل ۷)، و لایه ارزش هر طبقه بر مجموع تقسیم گردیده ودر آخر نقشه نرمال‌سازی شده آن بین ۰/۰۲ تا ۰/۲ تهیه شده‌است (شکل ۸).

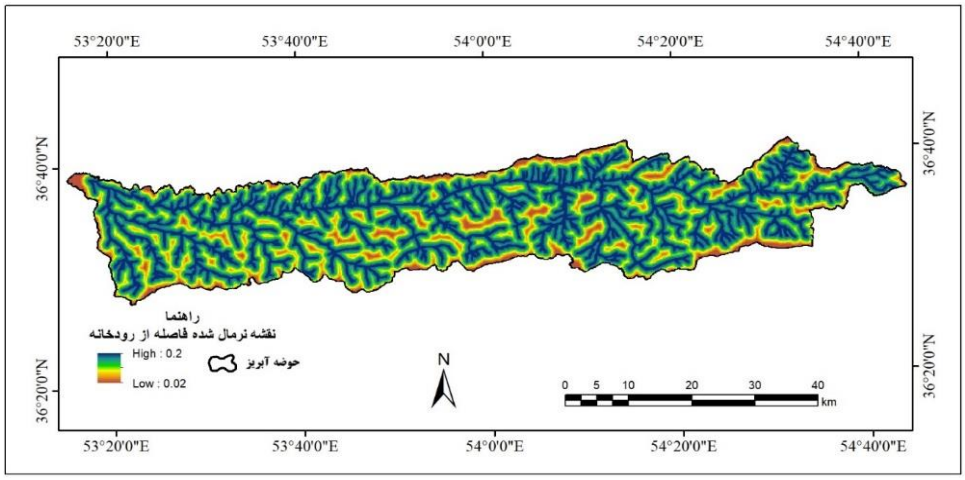
جدول (۲): ارزش گذاری و نرمال شده معیار فاصله از رودخانه و معیار کاربری اراضی

طبقات فاصله از رودخانه	ارزش گذاری نزولی	نرمال شده هر کلاس	طبقات کاربری اراضی	ارزش گذاری نزولی	نرمال شده هر کلاس
۰-۲۰۰	۹	۰/۲	اراضی مسکونی	۶	۰/۲۹
۲۰۰-۴۰۰	۸	۰/۱۸	دیم و باغ	۵	۰/۲
۴۰۰-۶۰۰	۷	۰/۱۶	آبی-باغ	۴	۰/۱۶
۶۰۰-۸۰۰	۶	۰/۱۳	جنگل	۳	۰/۱۲
۸۰۰-۱۰۰۰	۵	۰/۱۱	مرتع	۲	۰/۰۸
۱۰۰۰-۱۲۰۰	۴	۰/۰۹	بدون پوشش	۱	۰/۰۳
۱۲۰۰-۱۴۰۰	۳	۰/۰۷			
۱۴۰۰-۱۶۰۰	۲	۰/۰۴			
۱۶۰۰<	۱	۰/۰۲			



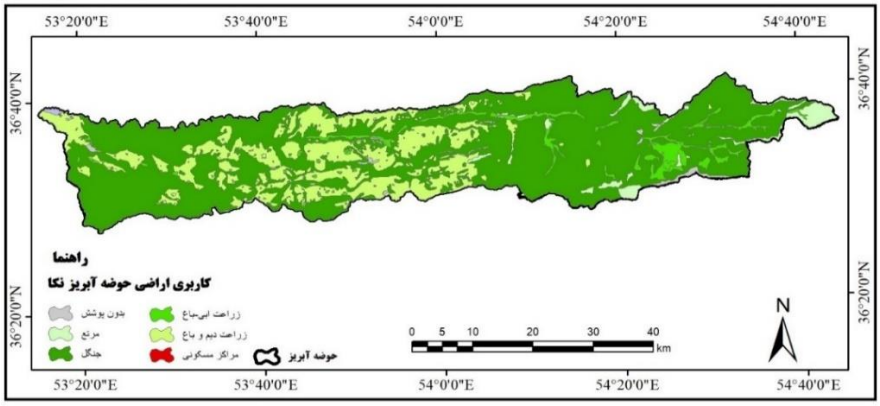
شکل ۷: نقشه فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه

- **کاربری اراضی:** یکی از عوامل تاثیرگذار بر حساسیت منطقه نسبت به سیل و تحمیل خسارت، الگوی کاربری اراضی و تغییرات زمانی کاربری اراضی در یک منطقه می‌باشد. مناطق مسکونی و جاده‌ها، به علت دارا بودن سطح غیرقابل نفوذ و نبود پوشش در سطح باعث افزایش رواناب می‌شوند. همچنین زمین های کشاورزی و باغات نیز به دلیل دخالت های انسانی زمینه افزایش رواناب را فراهم کرده و در زمان سیلاب باعث خسارت می شوند. در صورتی که مناطق دارای پوشش گیاهی (جنگل و مراتع) به دلیل نفوذپذیری بیشتر و سرعت رواناب کمتر در سطح، پتانسیل کمتری برای ایجاد رواناب و جاری شدن سیل دارند. و در صورت وقوع سیل خسارت کمتری به دنبال دارد.

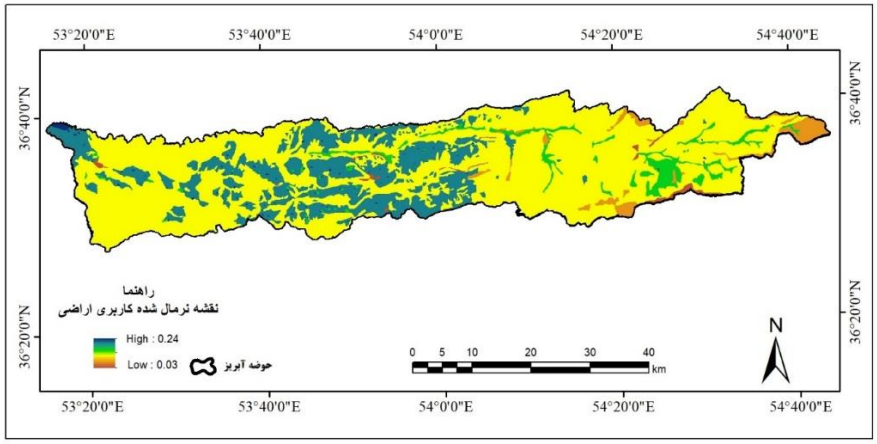


شکل ۸. نقشه نرمال شده فاصله از رودخانه منطقه مورد مطالعه

درحوضه آبریز نکا، بیشترین کاربری، زراعت دیم و پس از آن جنگل می‌باشد (شکل ۹). منطقه موردمطالعه به ۷ نوع کاربری تقسیم گردیده‌است و با توجه به حرکت رواناب و نفوذپذیری، معیار کاربری اراضی به شرح جدول ۲ کلاس‌بندی شده‌است و در نهایت نقشه نرمال‌شده آن در جهت انجام مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بدست آمده‌است (شکل ۱۰)



شکل ۹. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

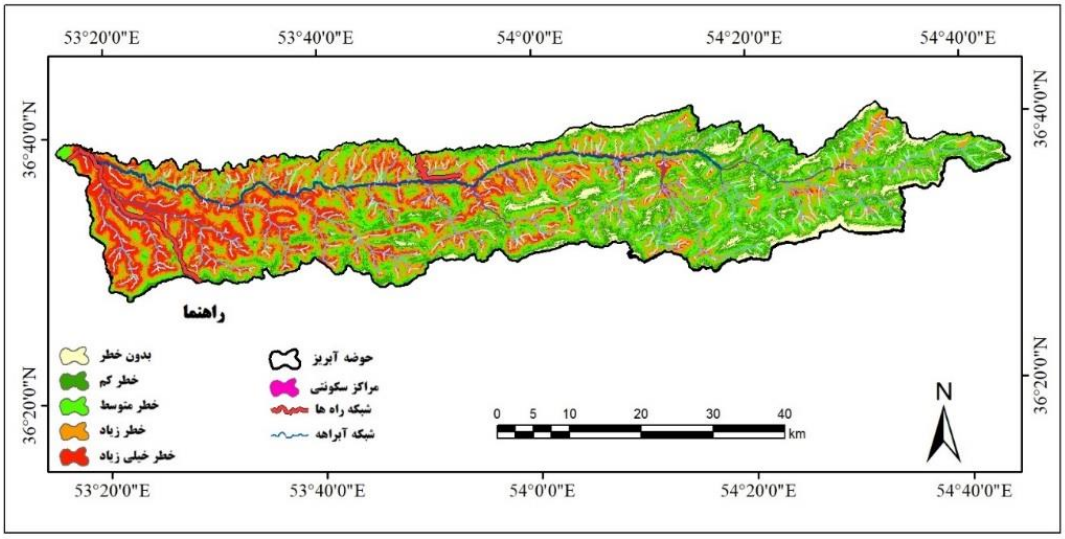


شکل ۱۰. نقشه نرمال شده کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

نقشه احتمال خطر سیلاب: در این پژوهش با استفاده از مدل سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز نکارود تهیه شد. با توجه به وزن اختصاص یافته به هر معیار بر اساس نظر کارشناسی (جدول ۳)، نقشه احتمال خطر نهایی ارزشی بین ۰/۰۲ تا ۰/۲ دارد که در نهایت به ۵ کلاس از نطر خطر سیلاب تقسیم شده‌است. دامنه ارزشی ۰/۰۲ تا ۰/۰۶جزء منطقه دارای پتانسیل بدون خطر، دامنه ۰/۰۸ تا ۰/۱۱ جزء منطقه دارای پتانسیل خطر کم، دامنه ۰/۱۱ تا ۰/۱۳ جزء منطقه دارای پتانسیل خطر متوسط، دامنه ۰/۱۳ تا ۰/۱۶ جزء منطقه دارای پتانسیل خطر زیاد، و در انتها دامنه ۰/۱۶ تا ۰/۲۰ جزء منطقه دارای پتانسیل خطر خیلی زیاد بدست آمده‌است.

جدول ۳. وزن‌های اختصاص یافته به لایه‌ها در مدل سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره

لایه	فاصله از رودخانه	شیب	ارتفاع	کاربری
وزن	۴	۳	۲	۱
شاخص وزن	۰/۴	۰/۳	۰/۲	۰/۱



شکل ۱۱. نقشه احتمال خطر سیلاب حوضه آبریز نکار با استفاده از روشMCDA

باتوجه به تقسیمات نهایی در نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبریز (شکل ۱۱)، منطقه بدون خطر به معنی مناطقی است که احتمال وقوع سیلاب در آن خیلی پایین و نزدیک به صفر می‌باشد، و در مقابل منطقه دارای پتانسیل احتمال وقوع سیلاب زیاد و خیلی زیاد با توجه به ۴ معیار استفاده شده، قابلیت رخداد سیلاب با ریسک بالا را دارد. با توجه به نقشه نهایی پهنه‌بندی احتمال خطر سیلاب، حدود ۹۸۲ کیلومتر مربع (۵۱ درصد) دارای آسیب‌پذیری زیاد و خیلی زیاد، و همینطور حدود ۵۱۰ کیلومتر مربع (۲۶/۶۹ درصد) در پهنه آسیب‌پذیری متوسط در حوضه آبریز نکا قرار دارد (جدول ۴).

جدول (۴): نتایج حاصل از مدل سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره

ارزش	احتمال خطر سیلاب	ارزش شاخص‌های هر ریسک	مساحت هر منطقه (Km^2)	مساحت (درصد)
۱	۰.۰۲-۰.۰۸	بدون خطر	۹۸/۰۴	۵/۱۳
۲	۰.۱۱-۰.۰۸	احتمال خطرکم	۳۱۹/۹۶	۱۶/۷۴
۳	۰.۱۳-۰.۱۱	احتمال خطر متوسط	۵۱۰/۰۶	۲۶/۶۹
۴	۰.۱۶-۰.۱۳	احتمال خطر زیاد	۵۹۱/۲۶	۳۰/۹۴
۵	۰.۲۰-۰.۱۶	احتمال خطر خیلی زیاد	۳۹۱/۳۲	۲۰/۴۸

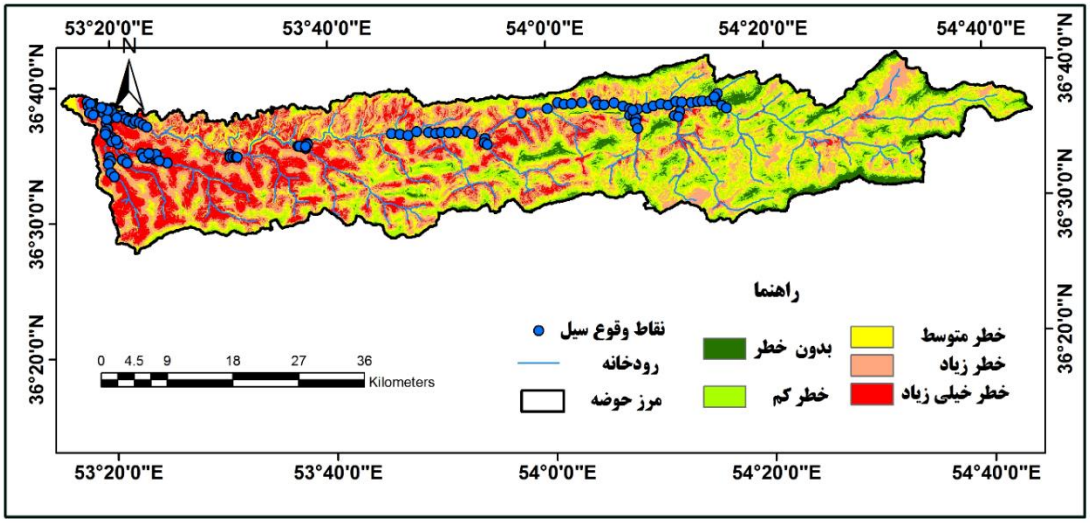
نقشه نهایی احتمال خطر سیلاب نشان می‌دهد که در قسمت غرب حوضه آبریز مورد مطالعه احتمال خطر خیلی زیاد و زیاد به نسبت قسمت‌های دیگر حوضه بیشتر می‌باشد و مساحت بیشتری را به خود اختصاص داده‌است. شرایط ایجاد شده در این قسمت حوضه را اینگونه می توان توضیح داد؛ در ابتدا همانطور که در انجام مراحل پژوهش بعداز ارزش گذاری، برای بدست آوردن نقشه نهایی به معیار فاصله از رودخانه ارزش بیشتر را داده شده‌است، زیرا نقش و تاثیر این عامل در احتمال خطر سیلاب در رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره عاملی حیاتی تر و تاثیرگذار تر می‌باشد. این منطقه با دارا بودن تراکم بالای شبکه آبراهه و پیوستگی بین آنها، از فاصله کمتری نسبت به رودخانه برخوردار است، در نتیجه احتمال خطر سیلاب را افزایش می‌دهد. دلیل دوم برخورداری از شیب ۶ تا ۱۰ درجه می‌باشد که در ارزش‌گذاری معیار شیب این طبقات بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. بنابراین این طبقه شیب باعث شده مساحت منطقه با احتمال خطر زیاد وخیلی زیاد سیلاب در این قسمت زیاد باشد. از دیگر عوامل تاثیر گذار می‌توان به معیار کاربری اراضی اشاره کرد زیرا این قسمت، از تعداد بالای مناطق سکونتی و همینطور کشاورزی برخوردار است. این نوع کاربری با افزایش ضریب تمرکز باعث افزایش رواناب و درنتیجه احتمال خطر زیاد و خیلی زیاد سیلاب را به همراه دارد .

ارزیابی نقشه پهنه بندی سیلاب به صورت گرافیکی با روش درصد مساحت زیرمنحنی (ROC) و مقدار AUC انجام گرفت (جدول ۵). برای انجام اینکار ۱۲۵ نقطه سیلگیر منطقه بر اساس مشاهدات میدانی بعد از سیل اسفند ۱۳۹۷ با نقشه پهنه بندی سیلاب خروجی مدل انطباق داده شد. در این ارزیابی مقدار AUC معادل ۰/۷۶۸ و درصد مساحت زیر منحنی ۷۶/۸۹ درصد گردید که نشان دهنده مدل سازی خوب پهنه بندی سیلاب برای منطقه مورد مطالعه بر اساس داده های موجود بوده است.

نتایج این پژوهش با نتایج سایر محققان از جمله حسن‌زاده نفوتی و خواجه بافقی (۱۳۹۵)، (پناهی و همکاران، ۱۴۰۰) و میشرا و سینها (Mishra and Sinha, ۲۰۲۰) که خطر سیلاب را با کمک رویکرد سیستم تصمیم گیری چند معیاره پهنه بندی کرده‌اند مشابهت دارد. یافته های این پژوهشگران نیز نشان داد که دشت سیلابی و پهنه هایی که توپوگرافی هموار، پست و شیب کمتر دارند بیشترین میزان آسیب پذیری و احتمال خطر سیل را خواهند داشت.

شواهد موجود و گزارش های مستند نشان می دهد که در دو دهه اخیر حوضه نکارود سیل های متعددی از جمله سیل سالهای ۱۳۷۸ و اسفند ۱۳۹۷ را تجربه کرده است. بر اساس گزارش های موجود (اداره کل آب منطقه ایی و استانداری استان

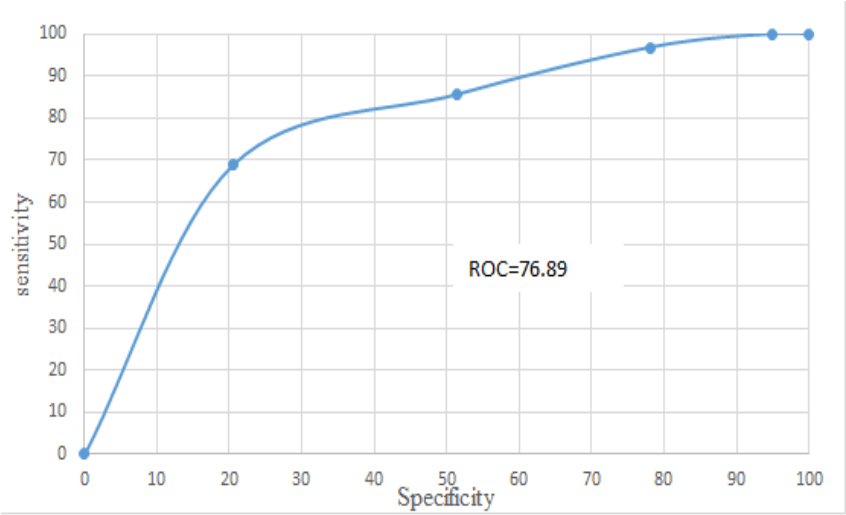
مازندران) بیشترین خسارت ها به سکونتگاهها و زمین های کشاورزی وارد شده در سیل های فوق منطبق با پهنه با خطر بالا در این پژوهش بوده است. بخش عمده وقوع سیلاب به دلیل شرایط طبیعی حوضه مورد مطالعه است که لازم است به منظور کاهش خسارت های ناشی از سیلاب در مکان گزینی کاربری های مختلف بر اساس نقشه های آسیب پذیری در مقابل سیلاب عمل کرد.



شکل ۱۲. نقشه نقاط سیلگیر منطقه بر اساس مشاهدات میدانی بعد از سیل اسفند ۱۳۹۷ با نقشه پهنه بندی سیلاب خروجی مدل

جدول (۵): نتایج حاصل از طبقه بندی حساسیت به سیلاب و نقاط سیلگیر منطقه

تراکم سیل	نقاط سیل رخ داده (درصد)	نقاط سیل رخ داده	مساحت طبقات (در صد)	مساحت (km^2)	پهنه حساسیت به سیل
۰.۰۹	۰	۰.۰۰	۵.۱۵	۹۸.۴	خیلی کم
۰.۱۴	۳.۲	۴.۰۰	۱۶.۷۴	۳۱۹.۹۶	کم
۰.۱۴	۱۱.۲	۱۴.۰۰	۲۶.۶۹	۵۱۰.۰۶	متوسط
۰.۱۸	۱۶.۸	۲۱.۰۰	۳۰.۹۴	۵۹۱.۲۶	زیاد
۰.۲۴	۶۸.۸	۸۶.۰۰	۲۰.۴۸	۳۹۱.۳۲	بسیار زیاد
		۱۲۵		۱۹۱۱	



شکل ۱۳. نمایش گرافیکی درصد مساحت زیرمنحنی (ROC) و مقدار AUC خطر سیلاب حوضه آبریز نکا

نتیجه گیری

در این تحقیق نقشه احتمال خطر سیلاب با کمک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره فضایی MCDA و با استفاده از ۴ معیار عامل ارتفاع، شیب، فاصله از رودخانه و کاربری اراضی تهیه گردیده‌است. سپس به هر کدام از لایه‌ها با توجه به تاثیر آنها در وقوع سیلاب ارزشی اختصاص داده شده‌است و به هر یک از معیارها با نظر کارشناسی وزندهی انجام شده‌است. پس از تخصیص وزن‌های معیارها نقشه نهایی پهنه‌بندی احتمال خطر سیلاب با کمک روش ترکیب وزنی خطی تهیه گردیده‌است.

نتایج بدست آمده از پهنه‌بندی خطر سیلاب بیانگر این است که، بیشترین احتمال خطر سیلاب در حوضه آبریز نکا در قسمت‌های غرب حوضه و محدوده انتهایی حوضه که به شهر نکا منتهی می شود، واقع شده است. بر اساس یافته های تحقیق مهمترین عوامل موثر در افزایش احتمال خطر سیلاب، عامل شیب در این منطقه و نیز عامل فاصله از شبکه زهکشی بوده است. توپوگرافی حوضه و موقعیت محدود و نسبتا محدود دره نکا باعث شده است تمرکز سکونتگاهها و زمین های کشاورزی در دشت سیلابی باشد. همین ویژگی شرایط را برای وقوع سیل و تشدید خسارت های ناشی از آن را به دنبال دارد. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، بیشترین مساحت حوضه در طبقه با احتمال خطر زیاد واقع شده است یعنی حوضه آبخیز نکارود قابلیت زیادی برای وقوع سیلاب دارد. با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره می توان برای تهیه نقشه-های پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه‌هایی که فاقد داده‌های هیدرومتری هستند استفاده کرد؛ همچنین این روش از نظر زمانی روشی به‌صرفه‌تر با هزینه کمتر می‌باشد. یکی از مسائل مهم در نتیجه نهایی این مدل به‌خاطر وزندهی به لایه‌ها می‌باشد که باید از کارشناسان خبره و آشنا به منطقه در این روش بهره برد و با شواهد میدانی انطباق داد.

منابع

ابراهیمیان قاجاری، یاسر و محمد براری سیاوشکلایی. ۱۳۹۷. پهنه‌بندی پتانسیل تولید رواناب با استفاده از مدل GIS-MCDA فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز تجن). *نشریه علمی-پژوهشی علوم و فنون نقشه‌برداری*، ۹ (۱): ۱۴-۲.

احمدی ایلخچی، عباس؛ محمدعلی حاج عباسی و احمد جلالیان. ۱۳۸۱. اثر تغییر کاربری زمین های مرتعی به دیم کاری بر تولید رواناب، هدر رفت و کیفیت خاک در منطقه دوراهان، چهارمحال و بختیاری. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی*، ۶ (۴): ۱۲۱-۱۰۳.

اسفندیاری درآباد، فریبا؛ صدیقه لایقی، رئوف مصطفی زاده و خدیجه حاجی. ۱۴۰۰. پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز قطورچای با روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ANP و WLC . *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۸ (۲): ۱۳۵-۱۵۰.

امیری، مهدیس؛ حمیدرضا پورقاسمی و علیرضا عرب‌عامری. ۱۳۹۷. اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوزه‌های آبخیز مهارلو در استان فارس با استفاده از پارامترهای مورفومتریک و مدل تصمیم‌گیری ویکور. *اکوهیدرولوژی*، **۵ (۳): ۸۱۳-۸۲۷.**

پناهی، رویا؛ محمدمهدی حسین‌زاده و سمیه خالقی. پهنه‌بندی احتمال خطر سیلاب در اراضی حاشیه رودخانه گاماسیاب در محدوده شهر صحنه تا شهر بیستون-استان کرمانشاه. *مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی*، ۲۶: ۶۶-۵۳.

ثقفی، مهدی و محمد حسین رضایی مقدم. ۱۳۹۱. ارزیابی کاربرد روش ژئومورفولوژی جهت طبقه بندی ریسک مخاطرات سیل با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبریز اوجان‌چای) *پژوهش های فرسایش محیطی*، ۲ (۱): ۱۳-۲۸.

حجازی، اسدالله؛ صغری اندریانی، فرهاد الماس پور و ابوالفضل مختاری اصل. ۱۳۹۴. استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سنجش از دور در محیط GIS برای بررسی مناطق حساس به وقوع سیلاب درحوضه لیقوان چای. *هیدروژئومورفولوژی*، **۲ (۳): ۶۱-۸۰.**

حسن زاده نفوتی، محمد و حبیب الله خواجه بافقی. ۱۳۹۵. پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از سیستم تصمیم گیری چندمعیاره (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شیطور بافق). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۷ (۱۴) :۳۷-۲۹.

حمیدی، نعمت اله؛ مهدی وفاخواه و **اکبر** نجفی. **۱۳۹۵.** تهیه نقشه خطرپذیری سیلاب در حوزه آبخیز شهری نور با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی. *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۱۴: ۱۹-۱۱.

رستمی، سعید؛ بابک شاهی نژاد، حجت اله یونسی، حسن ترابی پوده و رضا دهقانی. ۱۴۰۰. تحلیل مدلهای هوش مصنوعی هیبریدی نوین در برآورد دبی سیلابی:مطالعه موردی: حوضه آبریز کشکان. *هیدروژئومورفولوژی*، **۲۹: ۲۰۱-۱۸۷.**

رضوی زاده، سمانه و کاکا شاهدی. اولویت بندی سیلخیزی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز طالقان با استفاده از تلفیق AHP و تاپسیس. *اکوسیستم های طبیعی ایران*، **۷ (۴): ۳۳-۴۶.**

سلیمانی، کریم و محمود حبیب نژاد روشن. ۱۳۸۱. مقاله نقش عوامل هیدرواقلیم در وقوع سیل حوضه نکارود. *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۵ (۱) : ۳۵-۲۳.

ضیائی، خدایار؛ اباذر اسمعلی، رئوف مصطفی‌زاده و محمد گلشن. ۱۴۰۰. ارزیابی سناریوهای بهینه تغییر کاربری اراضی و تأثیر آن بر واکنش هیدرولوژیک جریان در حوضه آبریز اهل ایمان. *هیدروژئومورفولوژی*، **۲۷: ۱۳۸-۱۲۳.**

غلامی، محمد و مهدی احمدی. ۱۳۹۸. ریز پهنه بندی خطر سیلاب در شهر لامِرد با استفاده ازAHP ، GISو منطق فازی. *مخاطرات محیط طبیعی*، **۲۰: ۱۱۴-۱۰۱.**

کارآموز، محمد و مهکامه طاهری. ۱۳۹۷. ارائه‌ی راه‌کارهای مدیریتی در مقابله با مخاطرات هم‌زمان سیلاب‌های ساحلی و درون شهری. *تحقیقات منابع آب ایران*، **۱۴ (۵): ۷۱-۸۴.**

وهابی، جلیل. ۱۳۸۵ .پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدلهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی(مطالعه موردی طالقان رود). *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، ۷۱: ۴۰-۳۳.

Falah, F.; O. Rahmati, M. Rostami, E. Ahmadisharaf, I. N. Daliakopoulos and H. R. Pourghasemi. ۲۰۱۹. Artificial neural networks for flood susceptibility mapping in data-scarce urban areas. *Spatial Modeling in GIS and R for Earth and Environmental Sciences*, ۱٤: ۳۲۳-۳۳٦. DOI: https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/B۹۷۸-۰-۱۲-۸۱٥۲۲٦-۳,۰۰۰۱٤-٤

Fernández, D. S. and M. A. Lutz. ۲۰۱۰. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province, Argentina, using GIS and multicriteria decision analysis. *Engineering Geology*, **۱۱۱(۱-٤)**: ۹۰-۹۸.

Hajkowicz, S. and K. Collins. ۲۰۰۷. A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management. *Water resources management*, **۲۱(۹)**: ۱٥٥۳-۱٥٦٦.

Hudson, P. G. M. B.; W. J. W. Botzen, H. Kreibich, P. Bubeck, and J. C. J. H. Aerts. ۲۰۱٤. Evaluating the effectiveness of flood damage mitigation measures by the application of propensity score matching. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **۱٤(۷)**: ۱۷۳۱-۱۷٤۷.

Li, K.; S. Wu, E. Dai, and Z. Xu. ۲۰۱۲. Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China. *Natural hazards*, **٦۳(۲)**: ۷۳۷-۷٦۰.

Lyu, H. M.; S. L. Shen, A. Zhou, and J. Yang. ۲۰۱۹. Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. *Tunneling and Underground Space Technology*, ۸٤: ۳۱-٤٤.

Malczewski, J. ۲۰۰٤. GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. *Progress in planning*, **٦۲(۱)**: ۳-۶٥.

Mishra, K. and R. Sinha. ۲۰۲۰. Flood risk assessment in the Kosi megafan using multi-criteria decision analysis: A hydro-geomorphic approach. *Geomorphology*, ۳٥۰: ۱-۱۹. https://doi.org/۱۰,۱۰۱٦/j.geomorph.۲۰۱۹,۱۰٦۸٦۱

Mostafazadeh, R.; A. Sadoddin, A. Bahremand, V.B. Sheikh, A. Zare Garizi. ۲۰۱۷. Scenario analysis of flood control structures using a multi-criteria decision-making technique in Northeast Iran. *Natural Hazards*, ۸۷: ۱۸۲۷-۱۸۴۶.

Ogato, G. S.; A. Bantider, K. Abebe, and D. Geneletti. ۲۰۲۰. Geographic information system (GIS)-Based multicriteria analysis of flooding hazard and risk in Ambo Town and its watershed, West shoa zone, oromia regional State, Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, **۲۷**: ۱۰۰٦٥۹-۱۰۰٦۸۷.

Papaioannou, G.; L. Vasiliades, and A. Loukas. ۲۰۱٥. multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water resources management*, **۲۹(۲)**: ۳۹۹-٤۱۸.

Rashid, H. ۲۰۱۱. Interpreting flood disasters and flood hazard perceptions from newspaper discourse: Tale of two floods in the Red River valley, Manitoba, Canada. *Applied Geography*, **۳۱(۱)**: ۳٥-٤٥.

Samanta, S.; C. Koloa, D. Kumar Pal, and B. Palsamanta. ۲۰۱٦. Flood risk analysis in lower part of Markham River based on multi-criteria decision approach (MCDA). *Hydrology*, **۳(۳)**: ۲۹-٤٥.

Sun, H.T. and Y. K. ۲۰۱۳. Multi-criteria decision making under uncertainty for flood mitigation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, **۲۸(۷)**: ۱٦٥۷-۱٦۷۰.

Xiao, Y.; S. Yi, and Z. Tang. ۲۰۱۷. Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference. *Science of the Total Environment*, **٥۹۹**: ۱۰۳۴-۱۰۴۶.