



پهنه‌بندی حساسیت زیر حوضه‌های حوضه نکارود نسبت به سیل‌خیزی، نکا-مازندران  
محمد مهدی حسین‌زاده<sup>1\*</sup>، علیرضا صالحی میلانی<sup>2</sup>، فاطمه رضائیان زرندینی<sup>3</sup>

1- دانشیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

2- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

3- کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: 1401/11/17

تاریخ دریافت: 1401/03/29

### چکیده

سیلاب به‌عنوان یک رخداد طبیعی و غیرمنتظره، در دهه‌های اخیر به فراوانی رخ داده است. در راستای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و مدیریت سیلاب، ارزیابی احتمال خطر و تهیه نقشه‌های مناطق احتمال خطر امری ضروری می‌باشد. در دهه‌های اخیر در حوضه آبخیز نکارود سیل‌های مخرب زیادی رخ داده است. به همین دلیل جهت مدیریت سیلاب، کاهش خسارات و استفاده درست از منابع آبی، پتانسیل سیل‌خیزی زیر حوضه‌های حوضه آبریز نکارود مورد مطالعه قرار گرفته است. رودخانه نکا به طول 176 کیلومتر یکی از رودخانه‌های مهم استان مازندران و حوضه‌ی آبخیز نکا از حوضه‌های آبخیز دریای خزر است. در این پژوهش به منظور تهیه نقشه حساسیت زیر حوضه‌ها نسبت به سیلاب‌خیزی حوضه از 11 لایه اطلاعاتی فاکتورهای تجمع جریان، فاصله از شبکه زهکشی، طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب، تراکم شبکه زهکشی، نقشه بارش، نقشه کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شاخص قدرت جریان، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص انحنای توپوگرافی استفاده شده است. لایه‌ها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، وزن‌دهی و در نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی در نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های استاندارد شده به وزن مربوطه ضرب و سپس نتایج تمام متغیرها با همدیگر جمع و رویهم‌گذاری شدند و نقشه حساسیت نهایی به پنج طبقه تقسیم گردید. نتایج پژوهش نشان می‌دهند حساسیت سیلاب در زیر حوضه‌های رودخانه نکا متفاوت می‌باشد. از میان عوامل محیطی موثر در مبحث سیل‌خیزی عوامل ارتفاع و تراکم آبراهه تاثیرگذارترین عوامل در خطر رخداد سیلاب بوده‌اند.

**کلمات کلیدی:** سیلاب، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، پهنه‌بندی سیل، نکارود، شمال ایران.

## 1- مقدمه

مخاطرات محیطی یکی از مخرب‌ترین عوامل آسیب‌رسان به انسان و محیط زندگی او بوده است. سیل یکی از بلایای طبیعی است که خسارات وارد شده آن به انسان نسبت به سایر بلایا مانند خشکسالی و قحطی بیش‌تر می‌باشد (گرین، 2002). در حال حاضر، با توجه به تغییرات آب و هوایی، وقوع سیلاب‌ها بسیار پویا و فاجعه‌آمیز است.

از جمله مباحث مهم و حیاتی در مطالعات هیدرولوژی مبحث سیل و سیل‌خیزی است. با گسترش روزافزون مناطق شهری و از بین بردن اراضی جنگلی، مرتعی و کشاورزی، زمین‌های نفوذناپذیر افزایش یافته که این موضوع موجب افزایش حجم رواناب ناشی از بارش در فضاهای شهری شده است (اصغری‌مقدم، 1386: 26).

مدیریت پایدار مخاطرات طبیعی که پاسخی جامع به مخاطرات را ممکن می‌سازد در حال حاضر یکی از مهم‌ترین چالش‌های بشر بوده است (ادجوسان-سوسوو و همکاران، 2020: 76). پیش‌بینی حساسیت به سیل می‌تواند تلفات ناشی از سیل و خسارات اقتصادی را کاهش دهد. تعیین مناطق حساس به سیل یک جزء استراتژیک در هر استراتژی کاهش سیل است. نخستین گام کاهش پیامدهای زیانبار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و پهنه بندی این مناطق از لحاظ ضریب آسیب‌پذیری نقاط سیل‌گیر است تا بتوان براساس نتایج به دست آمده با مدیریت یک‌پارچه و برنامه‌ریزی شهری جامع مانع از پیامدهای زیانبار سیلاب‌های شهری شد (احمدزاده و همکاران، 1394: 4).

اهمیت مطالعات خطر سیل و خسارات سالانه ناشی از آن باعث شده است تا لزوم توجه به مطالعات آن در دستور کار اتحادیه اروپا قرار گیرد. به این ترتیب که در تاریخ 23 اکتبر 2007 مجموعه کشورهای عضو این اتحادیه ملزم به تهیه نقشه خطر سیل برای کشور خود شدند (مول و همکاران، 2009: 291). اوزترک و باتورک (2011) به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره و معرفی برنامه تحت عنوان GIS\_MCDA اقدام به پهنه‌بندی با انتخاب و تهیه لایه‌های موثر در ایجاد سیلاب حوضه مارمارای جنوبی در ترکیه شامل بارندگی سالانه، مساحت زیر حوضه‌ها، ارتفاع، شیب، جهت شیب و ضریب زهکشی کرده‌اند.

کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعه پهنه‌بندی سیلاب در پاپاناسام تالوک، حوضه‌ی تانجور هند توسط تامیلنتی و همکاران (2011) مورد مطالعه قرار گرفته است. در نهایت منطقه مورد مطالعه را به 5 ناحیه وسیع سیلابی که عبارتند از ناحیه سیلابی خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، تقسیم کرده‌اند. همچنین با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، شاخص‌های مساحت، تعداد تلفات جانی، تعداد خانه‌های ویران شده و میزان خسارت اقتصادی مستقیم توسط چن و همکاران (2011) برای پهنه‌بندی خطر سیلاب در 30

استان چین به کار برده شد و آنها به این نتیجه رسیدند که روش سلسله مراتبی فازی روشی مناسب برای پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌باشد.

در ویتنام نیز با استفاده از روش AHP و کمی‌سازی میزان تاثیر عوامل موثر در سیل‌خیزی توسط موکاند و همکاران (2011)، به شناسایی عوامل موثر در خطر سیلاب پرداختند. خطر فرسایش سطحی سیلاب در دره‌های خشک شمال فرانسه به کمک مدل اتومات سلولی توسط دوویونت و همکاران (2015) ارزیابی شده است. در این مطالعه بارش‌هایی که با 50 تا 100 میلی‌متر که باعث یک جریان گل‌آلود سیلابی می‌شدند را به وسیله‌ی مجموعه‌ای از قواعد هیدرولوژیکی براساس میزان بارندگی، برآورد حداکثر دبی، حداکثر جریان مخصوص، زمان وقوع سیلاب را پیش‌بینی کرده‌اند. در مطالعه‌ای سی جاتا و همکاران (2018) در حوضه رود یوم تایلند با استفاده از آنالیزهای مکانی GIS و در نظر گرفتن 6 عامل بارندگی، شیب، ارتفاع، تراکم رودخانه، کاربری اراضی و نفوذپذیری خاک و با استفاده از فرآیند سلسله مراتبی و ماتریس زوجی به تهیه نقشه خطر سیل این حوضه پرداختند.

در مطالعه‌ای دیگر داس (2019) برای نقشه‌برداری مکانی حساسیت سیل حوضه UIhas هند به استفاده از فرآیند AHP و پاسخ هیدروژئومورفیکی به سیل به وسیله فرآیند آنالیز زمین‌شناسی و مدل‌سازی نیروی جریان واحد پرداخت. در پایان با داده‌های به‌دست آمده در محیط GIS به تهیه نقشه خطر سیل پرداخت.

تأثیر گسترش شهر مشهد بر الگوی زهکشی طبیعی و تشدید سیلاب‌های شهری (حسین‌زاده و جهادی طرقي، 1386) آسیب‌پذیری سیلاب در بافت قدیمی و فرسوده شهر سبزوار (امیر احمدی و همکاران، 1390)، شیبه-سازي سیلاب رودخانه‌ی کشکان (حسین‌زاده و همکاران، 1392) از جمله مطالعاتی است که در ایران انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان می‌دهد که روند افزایش سطح سیل‌گیر در دوره بازگشت‌های 5 تا 100 سال سیر صعودی‌تر دارند در حالیکه مساحت پهنه سیلاب در دوره‌ی بازگشت 100 ساله و 200 ساله با هم اختلاف چندانی ندارند.

پهنه‌بندی خطر سیلاب شهری با استفاده از GIS و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی محدوده شهر تهران توسط صالحی و همکاران (1392) مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مدل از 5 معیار فاصله از شبکه زهکشی، تجمع جریان، شیب، ارتفاع و اراضی ساخته شده و ساخته نشده استفاده شده است. همتی و همکاران (1394) به پهنه‌بندی سیلاب رودخانه چرداول بازه چنار با استفاده از HEC\_RAD در محیط GIS اقدام نموده و نقشه‌های پهنه‌بندی سیل با دوره بازگشت‌های 5-25-50-100 و 200 ساله تهیه کرده‌اند.

بررسی خطر وقوع سیل در دشت سیلابی رودخانه زرينه رود توسط رضایی مقدم و همکاران (1395) مطالعه شد. در این تحقیق اثرات مورفولوژیکی سیلاب‌های رودخانه زرينه رود، با استفاده از روش HEC-RAS و سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی و بررسی گردید و به این نتیجه رسیدند که سیلاب‌های با دوره‌ی بازگشت مختلف، خطر چندان‌ی برای سکونت‌گاه‌های شهری و روستایی ایجاد نمی‌کنند؛ اما می‌توانند خسارات زیادی به اراضی کشاورزی وارد سازند. عابدینی و همکاران (1395) در مقاله‌ای با عنوان پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین شهر با استفاده از مدل ویکور و بکارگیری 10 پارامتر به عنوان عوامل موثر برای ایجاد سیلاب در منطقه شناسایی شدند. نتایج مطالعه نشان داد عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند.

به منظور تعیین حریم رودخانه‌ها در رودخانه گاماسیاب با هدف پهنه‌بندی مخاطره سیلاب با استفاده از روش HEC-RAS توسط حسین‌زاده و همکاران (1398) مطالعه گردید. با توجه به نتایج تحقیقاتشان، در منطقه مطالعاتی میزان خسارت سیلاب 100 ساله نسبت به 25 ساله به‌طور متوسط بیش از 25/6 درصد بوده است. همچنین پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز شهر چای میانه را با استفاده از مدل ویکور توسط رضایی مقدم و همکاران (1400) مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که شیب، بارندگی و جهت شیب بیشترین تأثیر را در وقوع سیلاب، در این حوضه دارند.

کشور ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک به حساب می‌آید، با این حال سیل همه سال یکی از تهدیدهای اصلی در جهت خسارات وارد آمده به جامعه انسانی و محیط‌زیست می‌باشد، و هر سال شدت تخریب این بلای طبیعی بیشتر شده است. براساس مطالعات انجام گرفته، سالیانه 40 رخداده کوچک و بزرگ سیل در نقاط مختلف کشور رخ می‌دهد و سطح مناطق سیل‌خیز کشور حدود 91 میلیون هکتار برآورد شده است (حسین‌زاده و همکاران، 1398: 556). بارندگی در کشور در نوروز 1398 در چند دوره متوالی صورت گرفته است.

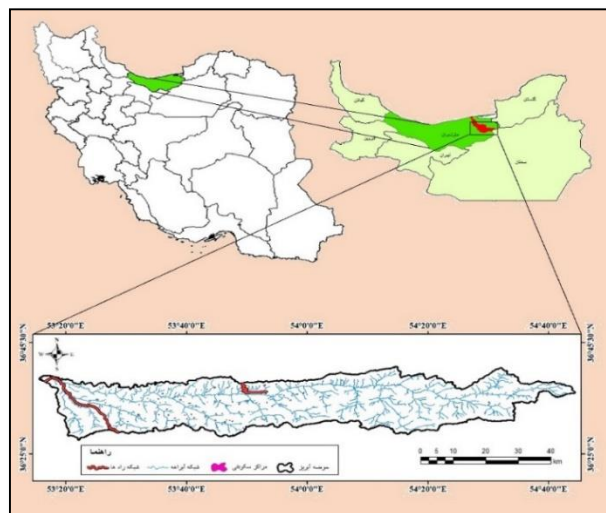
از جمله راهکارهایی که می‌شود برای کاهش خسارت سیل بیان کرد: مهار کردن سیل در منشأ آن یعنی زیرحوضه‌های آبخیز است. برای این کار نیاز به شناسایی مناطق سیل‌خیز حوضه است، به دلیل وسعت و گستردگی زیاد حوضه‌های آبخیز، عملیات اجرایی و اصلاحی در سراسر حوضه امکان‌پذیر نیست (امیدوار و همکاران، 1389: 78). بنابراین با استفاده از نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب می‌شود در جهت کاهش خسارت سیل گام برداشت. پهنه‌بندی سیل می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را در رابطه با طبیعت، سیلاب‌ها و اثرات آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه‌ها ارائه دهد (نیک‌نژاد و علیزاده، 1385: 5).

در دهه‌های اخیر در حوضه آبخیز نکارود سیل‌های مخرب زیادی از جمله سیل تیرماه و مردادماه سال 1378 و سیل اسفند 1398 رخ داده است. به همین دلیل جهت مدیریت سیلاب، کاهش خسارات و استفاده درست از منابع آبی، پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبریز نکارود مورد مطالعه قرار گرفته است.

## 2- مواد و روش

### 2-1- منطقه مورد مطالعه

رودخانه نکا به طول 176 کیلومتر یکی از رودخانه‌های مهم استان مازندران و حوضه‌ی آبخیز نکا از حوضه‌های آبخیز دریای خزر است. این حوضه از شمال به کردکوی و اراضی کوهپایه‌ای و دشتی (بهشهر- بندرگز و...)، از جنوب به بخشی از سلسله جبال البرز و ارتفاعات تفکیک‌کننده حوضه آبریز رودخانه‌های نکارود- زارم‌رود، از غرب به شهرستان ساری و اراضی تحت آبخور رودخانه تجن و از شرق نیز به ارتفاعات شاهوار و گاوخسبان محدود است (شکل 1).



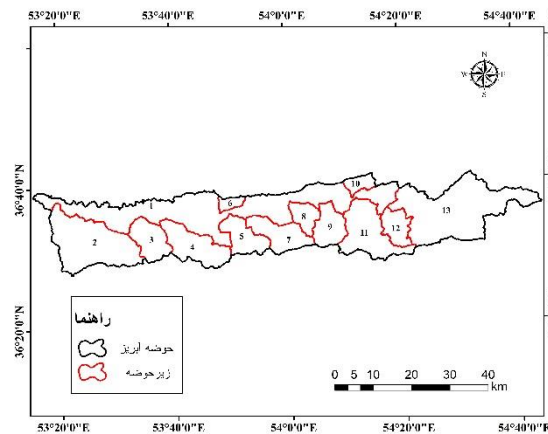
شکل (1): نقشه محدوده مورد مطالعه

Fig (1): The study area

سطح حوضه آبریز این رودخانه از منتهی‌الیه ارتفاعات تا محل آبلو (ایستگاه ورودی به دشت)، در حدود 2590 کیلومتر مربع و ارتفاع بلندترین نقطه حوضه 3500 متر (ارتفاعات شاه‌کوه) و ارتفاع پست‌ترین نقطه حوضه در منطقه خروجی (ایستگاه آبلو) حدود 50 متر و در محل اتصال به دریای خزر 20- متر می‌باشد. حدود 61٪ حوضه در محدوده استان مازندران و 39٪ آن در محدوده استان گلستان واقع شده‌است (سلیمانی و همکاران،

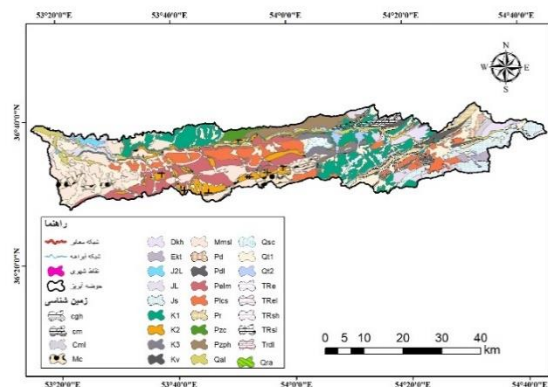
1381:27). مهم‌ترین زیر حوضه‌های این حوضه لکشا، گلورد، برما، متکازین، کیاسر، الارز و سرخ‌گریه است (شکل 2). طول کلی نکارود 176 کیلومتر است، که در گهرباران وارد دریا می‌شود.

زمین‌شناسی حوضه: یکی از عوامل مهم در تقویت وقوع سیلاب، عامل زمین‌شناسی است. بین میزان نفوذپذیری یک سازند و میزان رواناب ارتباط قوی وجود دارد، سازندهای نفوذپذیر با نفوذآب، جریان به نفع آب‌های زیرزمینی خواهد بود و برعکس سنگ‌های نفوذناپذیر مانند سنگ‌های بلورین باعث افزایش رواناب سطحی می‌شوند و سازندهای کارستی به‌طور قابل توجهی در ایجاد مخاطر سیلاب نقش ویژه‌ای دارند (کازاکیس و همکاران، 2015: 557؛ داس، 2019: 65) (شکل 3).



شکل (2): نقشه زیر حوضه‌های حوضه آبریز نکا

Fig (2): Map of the sub-basins of the Neka watershed



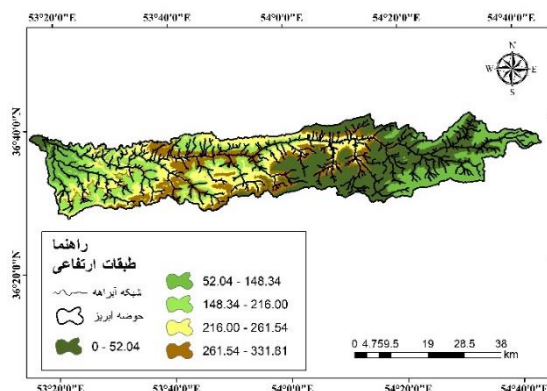
شکل (3): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig (3): Map of geology

با توجه به نقشه زمین‌شناسی حوضه (شکل 3) مارن، ماسه‌سنگ آهکی، آهک ماسه‌ای، کنگلومرا و آهک توده‌ای بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند، و از ویژگی‌های جنس این سنگ‌ها نفوذپذیری کم، در نتیجه انباشت و ایجاد رواناب تسهیل پیدا می‌کند، که خود عامل مهمی در سیل‌خیزی حوضه می‌باشد.

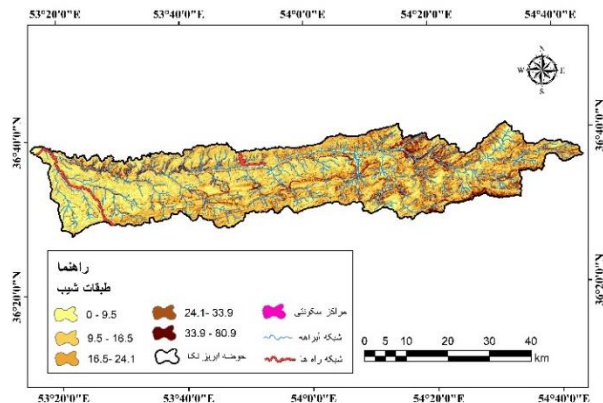
ارتفاع حوضه: این پارامتر نقش مهمی در کنترل سیلاب‌ها دارد و ارتفاع حرکت جریان آب را کنترل می‌کند، یعنی حرکت جریان آب به سمت مناطق با ارتفاع کمتر و پست‌تر می‌باشد (لی و همکاران، 2012: 741). در حوضه‌های مناطق مرتفع نه‌تنها بارندگی بیش‌از حوضه‌های پست است بلکه در قله ارتفاعات غالباً نزولات جوی به صورت برف می‌باشد که نقش مهمی در تولید رواناب مستقیم دارد (علیزاده، 1388). نقشه طبقات ارتفاعی حوضه‌آبریز با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک 10 متر تهیه گردید. متوسط طبقات ارتفاعی غالب منطقه مورد مطالعه در ارتفاع 0 تا 52 متر می‌باشد و زیرحوضه 13 بیشترین ارتفاع و بعد از آن زیرحوضه 12 می‌باشد (شکل 4).

شیب حوضه: شیب تا حد زیادی میزان فرآیند نفوذ را کنترل می‌کند. سرعت رواناب سطحی با افزایش میزان شیب به میزان قابل توجهی افزایش یابد در نتیجه، میزان نفوذ کاهش می‌یابد، بدین صورت مناطقی با کاهش ناگهانی نفوذ، دارای بالاترین میزان احتمال وقوع سیل هستند و با افزایش میزان شیب میزان قدرت فرسایشی رودخانه افزایش می‌یابد (پرادهان، 2009؛ ژائو و همکاران، 2017: 1039) (شکل 5). با توجه به نقشه شیب حوضه آبریز نکا، زیرحوضه 1 بیشترین شیب را دارد و پس از آن زیرحوضه شماره 13 و در نقشه شیب حوضه، قسمت شرقی حوضه به مراتب از شیب بیشتری برخوردار است.



شکل (4): نقشه طبقات ارتفاعی منطقه

Fig (4): Map of elevation



شکل (5): نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

Fig (5): Map of slope

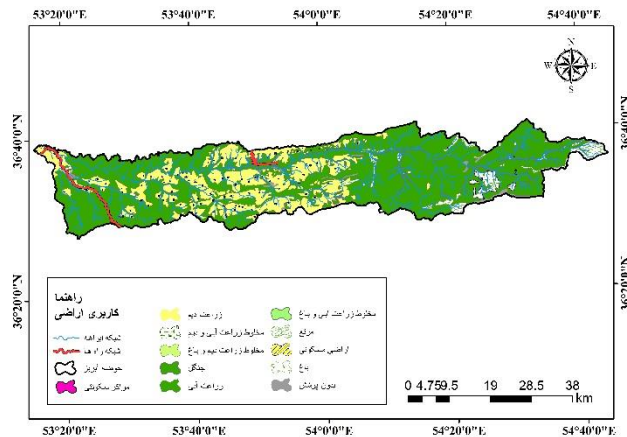
کاربری اراضی: یکی از الگوهای تاثیرگذار بر تکرار رخداد سیل، الگوی کاربری راضی و تحولات زمانی کاربری اراضی در یک منطقه می‌باشد. کاربری اراضی نشان‌دهنده‌ی میزان نفوذپذیری و سرعت رواناب در یک سطح می‌باشد. مناطقی که دارای پوشش گیاهی هستند به علت رابطه منفی بین سیل و تراکم پوشش گیاهی، پتانسیل کمتری برای ایجاد رواناب و جاری شدن سیل دارا می‌باشند، به بیان دیگر مناطق مسکونی و جاده‌ها، به علت دارا بودن سطح غیرقابل نفوذ، نبود پوشش در سطح، باعث افزایش رواناب می‌شوند. پوشش گیاهی بالادست حوضه، اغلب مرتعی می‌باشد. پوشش جنگلی غالباً در میانه حوضه قرار داشته و در قسمت پایین‌دست، کاربری‌های اراضی آن عمدتاً کشاورزی و مسکونی می‌باشد (جدول 1 و شکل 6).

جدول (1): مساحت کاربری اراضی (کیلومتر مربع) حوضه آبریز نکا

Table (1): The Land use area (Km<sup>2</sup>) of the Neka watershed

کاربری اراضی	مساحت	کاربری اراضی	مساحت
زراعت دیم (D)	397/28	زراعت آبی (L)	49/41
دیم و باغ (Dg)	1/48	آبی و باغ (Lg)	3/76
آبی و دیم (DI)	24/25	بدون پوشش (r)	14/45
جنگل (F)	1357/22	مرتع (R)	53/53
باغ (G)	6/38	ارضای مسکونی (U)	7/71





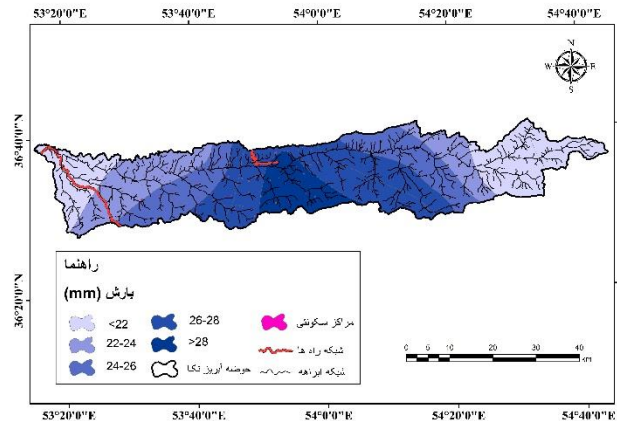
شکل (6): نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

Fig (6): Map of land-use

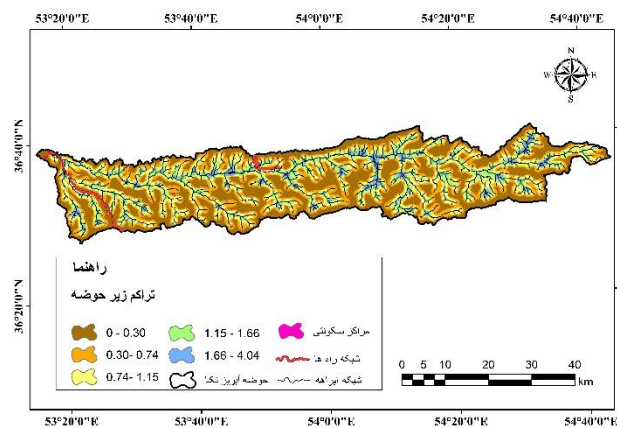
نقشه بارش: تغییرات جهانی آب و هوایی و متغیرهای اقلیمی محلی به طرق مختلف همراه با رطوبت خاک و ذخیره برف بر روی سیلاب تأثیر می‌گذارند. به طور کلی، یک اتمسفر گرم می‌تواند بخار آب بیشتری را در خود نگه‌دارد، که ممکن است باعث افزایش بارندگی شدید و در نتیجه سیل شود. بارندگی شدیدتر به معنای احتمال بیشتر سیل است (اوگاتو و همکاران، 2020: 2218).

نقشه بارش حوضه آبریز نکا با استفاده از رابطه رگرسیونی حاصل ایستگاههای منطقه در نرم‌افزار ARC-GIS تهیه گردیده و نقشه میانگین بارش روزانه حوضه آبریز بدست آمد. مقدار بارندگی حوضه آبخیز نکارود از غرب به شرق کاهشی و از ارتفاع 0 تا 1330 متر از سطح دریا دارای گرادیان منفی است (شکل 7).

تراکم شبکه زهکشی: تراکم زهکشی نشانگر وضعیت رواناب و فرسایش در قسمت‌های مختلف حوضه می‌باشد، همین‌طور نشان‌دهنده‌ی شدت و ضعف مقاومت سطح و لایه زیرین خاک در مقابل فرسایش، وضعیت زمان تمرکز و زهکشی حوضه می‌باشد. زمانی مقدار تراکم آبراهه کمتر است که لایه‌های زیرین خاک از نفوذپذیری خوبی برخوردار باشد، پوشش گیاهی حوضه انبوه باشد و سطح حوضه از پستی و بلندی کمتری برخوردار باشد (علیزاده، 1388: 84). بسیاری از پژوهشگران در تحقیقات خود به این نتیجه رسیده‌اند که، هر چه میزان رواناب سطحی در یک منطقه بیشتر باشد، در مقایسه با نواحی با میزان رواناب کمتر از تراکم زهکشی بیشتری برخوردار می‌باشد. میزان تراکم زهکشی در هر حوضه شاخصی برای تعیین میزان رواناب می‌باشد (ریمبا و همکاران، 2017: 4). در این پژوهش، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع، شبکه آبراهه استخراج و برای بدست آوردن تراکم زهکشی در محیط نرم‌افزار ARC-GIS، از دستور Line Density استفاده شده‌است (شکل 8).



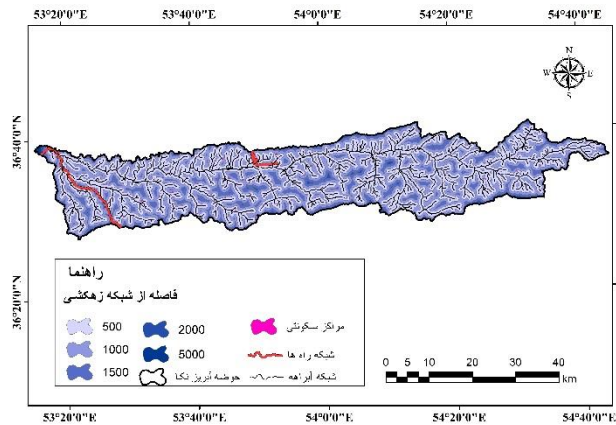
شکل (7): نقشه بارش منطقه مورد مطالعه  
Fig (7): Map of rainfall



شکل (8): نقشه تراکم شبکه زهکشی حوضه  
Fig (8): Map of drainage density

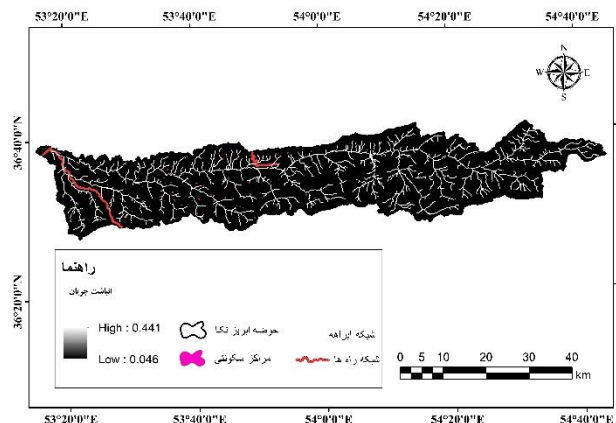
فاصله از شبکه زهکشی: مخاطره سیلاب با توزیع شبکه زهکشی در یک حوضه مرتبط می‌باشد، زمانی که سیلاب رخ می‌دهد مناطقی که نزدیک به رودخانه باشند به آسانی تحت تاثیر مخاطره سیلاب قرار می‌گیرند. در نتیجه هرچه منطقه به رودخانه نزدیکتر باشد، آن منطقه آسیب‌پذیرتر است (ژائو و همکاران، 2017: 1038). با توجه به گفته‌ی سامانتا و همکاران (2016) مناطقی که کمتر از 100 متر از رودخانه فاصله دارند، جزء مناطق مستعد سیلاب می‌باشند و مناطقی با فاصله بیش از 20000 متر از پتانسیل احتمال خطر سیلاب کمتر برخوردار می‌باشند. در این پژوهش برای بدست آوردن فاصله منطقه از شبکه زهکشی با استفاده از مدل رقومی و در محیط نرم‌افزار ARC-GIS با دستور Euclidean Distance لایه فاصله از شبکه زهکشی تهیه گردید (شکل 9).

انباشت جریان: یکی از فاکتورهای مهم در ارزیابی خطر سیل، انباشت جریان می‌باشد. مقادیر بالای تجمع جریان به معنی مقدار زیاد رواناب و در نتیجه نشانگر احتمال خطر زیاد سیلاب می‌باشد. انباشت جریان به وسیله تجمع محاسبه شماری از پیکسل‌ها در لایه رستری که طبیعتاً به سمت خروجی حوزه تشکیل شده‌است محاسبه می‌شود (پاپایوانیو و همکاران، 2015: 403). در این تحقیق، با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه در محیط نرم‌افزار ARC-GIS و با دستور Flow Accumulation به استخراج جهت جریان و تجمع جریان پرداخته شده‌است (شکل 10).



شکل (9): نقشه فاصله از شبکه زهکشی منطقه

Fig (9): Map of distance from river

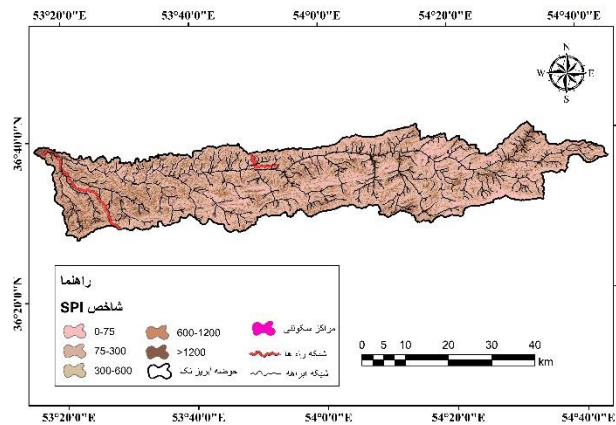


شکل (10): نقشه انباشت جریان منطقه

Fig (10): Map of flow accumulation

شاخص قدرت رود (SPI): یکی از شاخص‌های مهم در فرآیندهای یک رودخانه، شاخص قدرت رود می‌باشد.

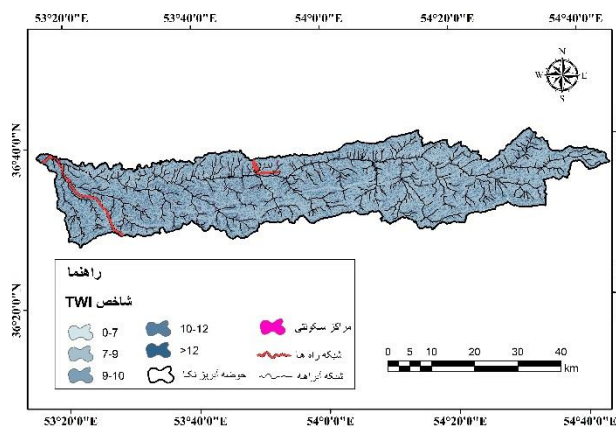
شاخص قدرت رود را می‌توان به‌عنوان عملکرد قابل توجهی از فرسایش کانال و انتقال رسوب کانال توصیف کرد (داس و همکاران، 2019: 67) (شکل 11).



شکل (11): نقشه شاخص قدرت رود منطقه

Fig (11): Map of stream power index

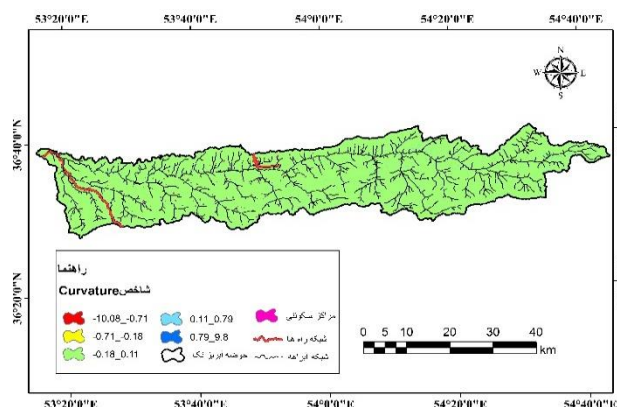
شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI): از این شاخص برای توصیف الگوهای رطوبت خاک و فرسایش استفاده می‌کنند. شاخص رطوبت توپوگرافی به‌طور کلی در محیط‌های سیلابی بالاتر است (هانگ، 2017: 1128) (شکل 12).



شکل (12): نقشه رطوبت توپوگرافی منطقه

Fig (12): Map of topographic wetness index

شاخص انحناى توپوگرافى (Curvature): انحناى توپوگرافى به معنای محدب بودن یا مقعر بودن دامنه گفته می‌شود، که ارتباط موثری در میزان رواناب و نفوذ دارد، مقادیر مثبت و منفی در انحناى عرضی دامنه به ترتیب بیانگر تحدب (واگرایی جریان) و تقعر (همگرایی جریان) بوده است، و مقادیر مثبت و منفی در انحناى طولی دامنه به ترتیب بیانگر تقعر (کاهش سرعت جریان) و تحدب دامنه (افزایش سرعت جریان) می‌باشند (کرنژادی و همکاران، 1399: 6) (شکل 13).



شکل (13): نقشه انحناى توپوگرافى منطقه

Fig (13): Map of topographic curvature

## 2-2- روش پژوهش

باتوجه به این‌که پدیده وقوع سیلاب و پهنه‌بندی آن به عوامل متعددی بستگی دارد، در این پژوهش از 11 لایه اطلاعاتی فاکتورهای تجمع جریان، فاصله از شبکه زهکشی، طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب، تراکم شبکه زهکشی، نقشه بارش، نقشه کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شاخص قدرت جریان، شاخص رطوبت توپوگرافی و شاخص انحناى توپوگرافى استفاده شده‌است. برای تهیه لایه‌های فوق از مدل ارتفاعی رقومی (DEM) با قدرت تفکیک 10 متر و نرم‌افزارهای SAGA، ArcGIS و اکسپورت چویس استفاده شده است. هر یک از لایه‌های موثر در وقوع سیلاب همچنین میزان نقش هر یک از لایه‌ها در تهیه نقشه نهایی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و بر اساس نظر کارشناسان خبره، وزن دهی شده و نرمال‌سازی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از منطق فازی انجام شد و در نهایت با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (رابطه 1)، در نرم‌افزار ArcGIS لایه‌های استاندارد شده به وزن مربوطه ضرب و سپس نتایج تمام متغیرها با همدیگر جمع و رویهم‌گذاری شدند و نقشه حساسیت نهایی به پنج طبقه تقسیم گردید.

$$WLC = \sum_{i=1}^n w_i * X_{std} \quad (1)$$

در این رابطه  $X_{std}$  معیار استاندارد شده و  $W_i$  وزن‌های به‌دست آمده برای هر معیار می‌باشد. در این پژوهش تمامی لایه‌های اطلاعاتی به 5 کلاس به غیر از لایه شیب (6 کلاس) با استفاده از نظر کارشناسی تقسیم‌بندی شده‌اند و با توجه به تاثیر هر کلاس در ارتباط با سیل خیزی ارزش 1 تا 5 اختصاص داده شد. ارزش 1 دارای بیشترین تاثیر در سیل خیزی، و ارزش 5 دارای کمترین تاثیر در سیل خیزی می‌باشد. برای تمامی لایه‌ها بعد از اعمال وزن‌دهی، عمل جمع‌فازی و با توجه به ویژگی‌های هر لایه نسبت به تاثیرگذاری آنها در حساسیت خطر سیلاب گزینه‌های linear (برای لایه‌هایی با تاثیرگذاری مستقیم) و small (برای لایه‌هایی با تاثیرگذاری معکوس) انجام گرفته‌است.

### 3- یافته‌ها و بحث

حوضه نکا به دلیل وقوع سیلاب‌های متعدد در سال‌های گذشته نیازمند بررسی و شناخت نواحی پر خط در ارتباط با این مخاطره طبیعی است. در این پژوهش با استفاده از عوامل تاثیرگذار بر سیلاب‌خیزی، قابلیت سیل‌خیزی زیرحوضه‌های رودخانه نکا پهنه بندی شد.

#### 1-3- وزن‌دهی به لایه‌های مورد نظر

بعد از انجام طبقه‌بندی لایه‌ها، براساس نظر کارشناسی به هرکدام از معیارها وزن اختصاص داده شده‌است و در نرم‌افزار Expert choice با توجه به نقش تأثیرگذار هر معیار، اولویت‌بندی انجام گرفته‌است (جدول 2).

جدول (2): ماتریس مقایسه زوجی و وزن محاسبه شده برای هر لایه اطلاعاتی  
Table (2): Comparison matrix and relative score of each parameter

معیارها	شیب ارتفاع	فاصله از شبکه زهکشی	تراکم شبکه زهکشی	تجمع جریان	بارش	کاربری اراضی	زمین شناسی	SPI	TWI	Curvature	وزن نهایی
ارتفاع	1	2	3	4	5	5	6	6	7	8	0/264
شیب	1/2	1	2	3	4	4	5	5	6	7	0/193
فاصله از شبکه زهکشی	1/3	1/2	1	3	3	4	4	5	6	6	0/155
تراکم شبکه زهکشی	1/4	1/3	1/3	1	2	3	3	4	5	6	0/103
تجمع جریان	1/5	1/4	1/3	1/2	1	2	3	4	5	6	0/084
بارش	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	3	5	5	0/063
کاربری اراضی	1/6	1/5	1/4	1/3	1/3	1/2	1	2	4	5	0/049
زمین شناسی	1/6	1/5	1/5	1/4	1/4	1/3	1/2	1	2	4	0/035
SPI	1/7	1/6	1/6	1/5	1/5	1/5	1/4	1/2	1	2	0/023
TWI	1/8	1/7	1/6	1/6	1/6	1/5	1/5	1/4	1/2	1	0/017
Curvature	1/8	1/8	1/7	1/7	1/7	1/6	1/6	1/5	1/3	1/2	0/013

بعد از وزن‌دهی لایه‌ها، بر اساس نظر کارشناسی به کلاس‌های طبقه‌بندی شده هر لایه نیز (زیرمعیارها) وزن داده شده است، بدین منظور که هر کلاس لایه چه میزان نقش تأثیرگذار در خطر سیل‌خیزی دارد. بدین صورت برای هر یک از زیرمعیارها با توجه به نقش تأثیرگذارشان وزن داده شده است و نقشه حاصل نرمال‌سازی فازی برای هر لایه اطلاعاتی تهیه گردید (جدول‌های 3 و شکل‌های 14، 15 و 16).

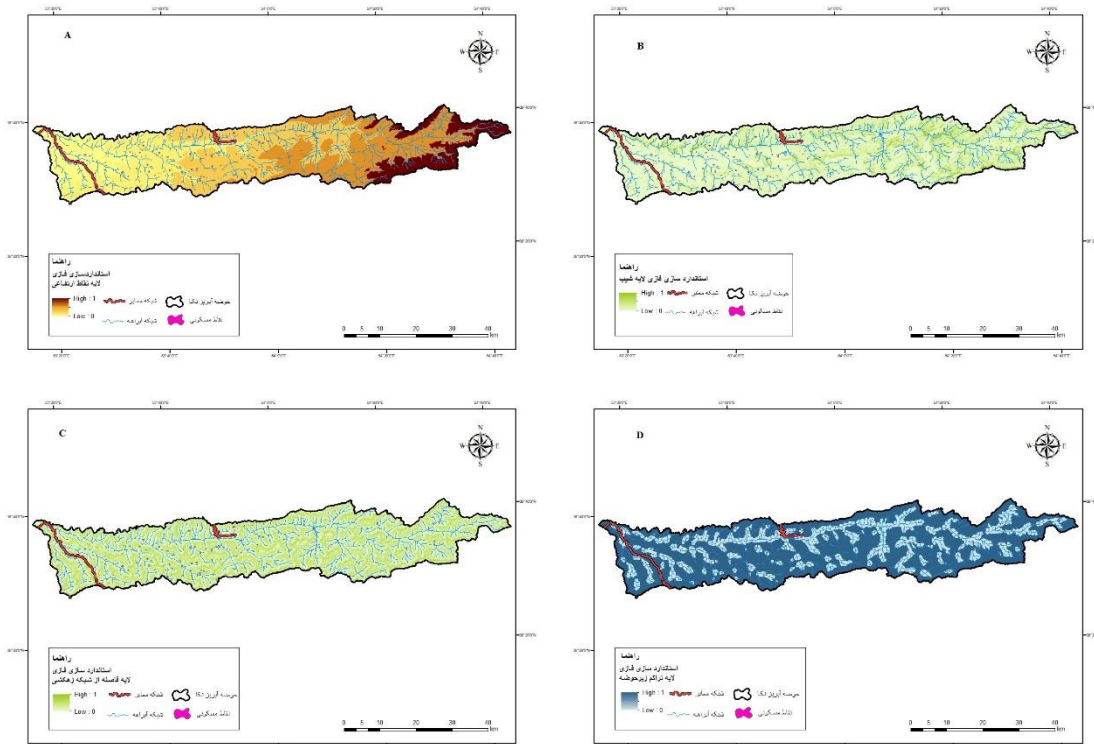
جدول (3): کلاس‌بندی فاکتورهای مورد مطالعه در تحلیل حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به سیلاب حوضه آبریز نکارود (سیل‌خیزی)

**Table (3):** Classification of the studied factors in the analysis of the sensitivity of the sub-basins to the floods of the Nekarod catchment basin (floods).

تعداد	فاکتور	ارزش‌دهی جهت		تعداد	فاکتور	ارزش‌دهی جهت	
		کلاس‌بندی	استانداردسازی فازی			کلاس‌بندی	استانداردسازی فازی
1	ارتفاع	0-600	5	0/038	کاربری اراضی	1	0/376
		600-1200	4	0/071		2	0/246
		1200-1850	3	0/156		3	0/165
		1850-2500	2	0/274		4	0/108
		2500 به بالا	1	0/462		5	0/064
2	شیب	کمتر از 3	6	0/04	زمین‌شناسی	1	0/475
		3-10	5	0/064		2	0/266
		10-20	4	0/165		3	0/142
		20-30	3	0/108		4	0/075
		30-40	2	0/246		5	0/042
		بیشتر از 40	1	0/376			
		3	فاصله از شبکه زهکشی	0-500		1	0/445
500-1000	2			0/297	2	0/272	
1000-1500	3			0/147	3	0/159	

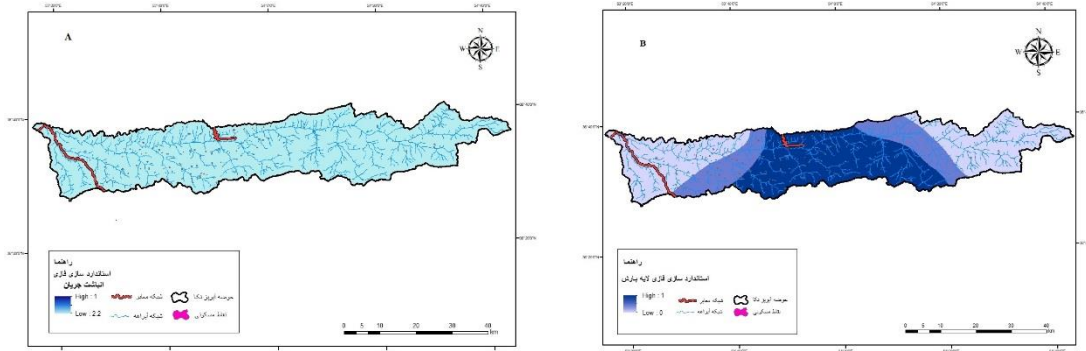
تعداد	فاکتور	ارزش‌دهی جهت			تعداد	فاکتور	ارزش‌دهی جهت						
		کلاس‌بندی	استانداردسازی	وزن			کلاس‌بندی	استانداردسازی	فازی				
4	تراکم شبکه زهکشی	1500-2000	4	0/073	10	twi	1200-600	4	0/097				
		2000-5000	5	0/037			بالاتر از 1200	5	0/059				
		0-0.5	5	0/044			7-0	1	0/039				
		0.5-1	4	0/076			4-7	2	0/074				
		1-2	3	0/144			10-9	3	0/148				
		2-3	2	0/268			12-10	4	0/299				
		بیشتر از 3	1	0/468			بیشتر از 12	5	0/439				
		5	تجمع جریان	100000			5	0/441	11	انحنای توپوگرافی	-10/08 تا -0/71	5	0/058
				100000-250000			4	0/249			-0/71 تا -0/18	4	0/09
				250000-500000			3	0/174			-0/18 تا 0/11	3	0/146
500000-750000	2			0/09	0/11 تا 0/79	2	0/249						
بیشتر از 750000	1			0/046	0/11 تا 9/18	1	0/457						
22-0	1			0/459									
6	برش	24-22	2	0/254									
		26-24	3	0/151									
		28-26	4	0/087									
		بیشتر از 28	5	0/049									

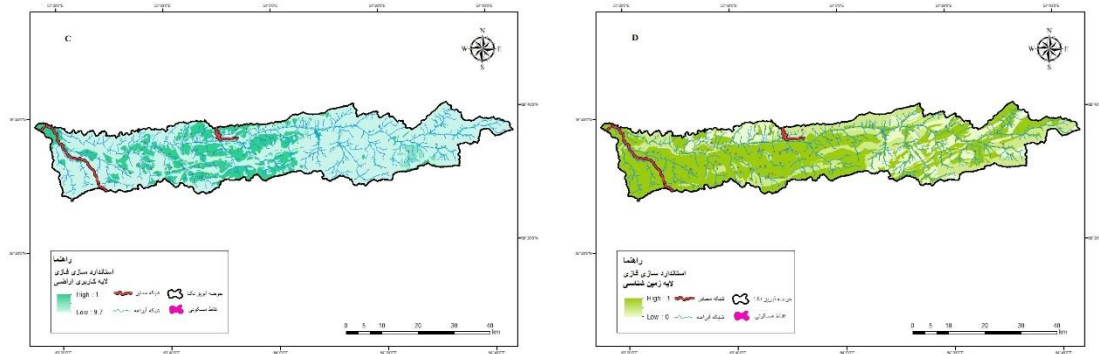




شکل (14): نقشه‌های حاصل نرمال‌سازی فازی (سیل‌خیزی)، A: عامل ارتفاع، B: عامل شیب، C: عامل فاصله از شبکه زهکشی، D: عامل تراکم شبکه زهکشی

Fig (14): Maps resulting from fuzzy normalization (flooding), A. elevation; B. slope; C. distance from river; D. drainage density





شکل (15): نقشه‌های حاصل نرمال سازی فازی (سیل‌گیری)، A: عامل انباشت جریان، B: عامل بارش، C: عامل کاربری اراضی، D: عامل زمین‌شناسی

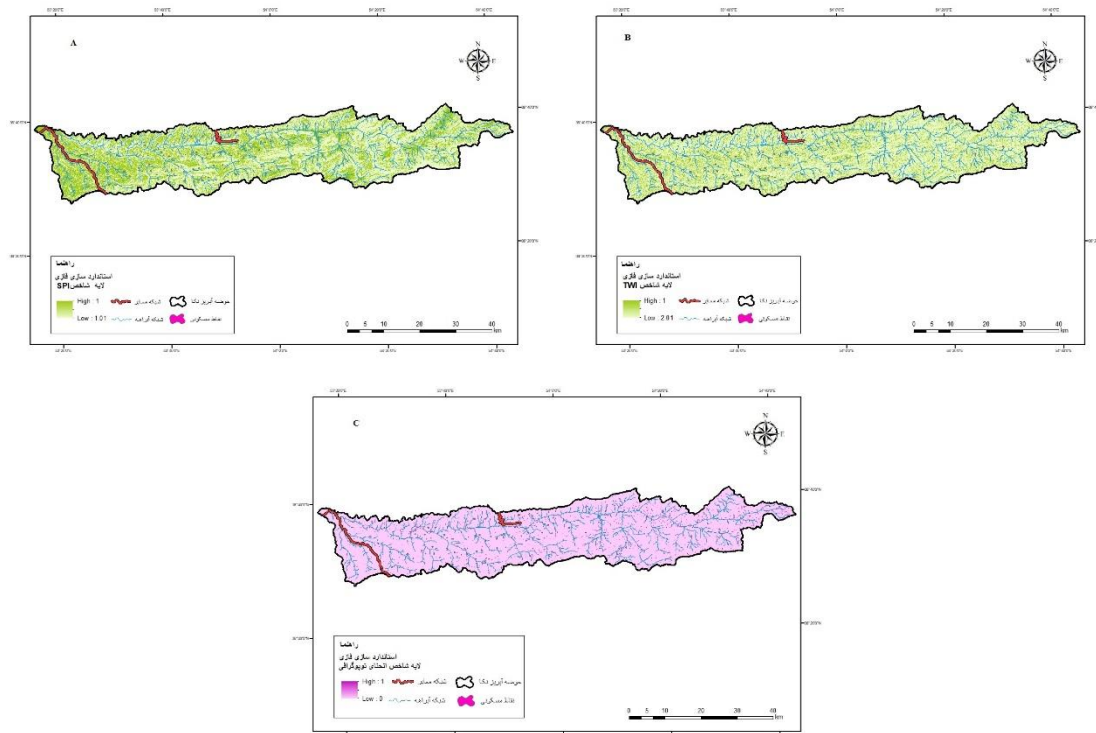
**Fig (15):** Maps resulting from fuzzy normalization (flooding), A. flow accumulation; B. rainfall; C. land-use; D. geology

حوضه نکا به 13 زیرحوضه تقسیم شده‌است، که مقادیر پارامترهای مورد مطالعه در هر کدام از زیرحوضه به شرح جدول 4 می‌باشد.

جدول (4): میانگین عوامل موثر درخطر رخداد سیلاب باتوجه به زیرحوضه های حوضه آبریز نکا

**Table (4):** The average effective factors in the risk of flooding according to the sub-basins of the Neka watershed

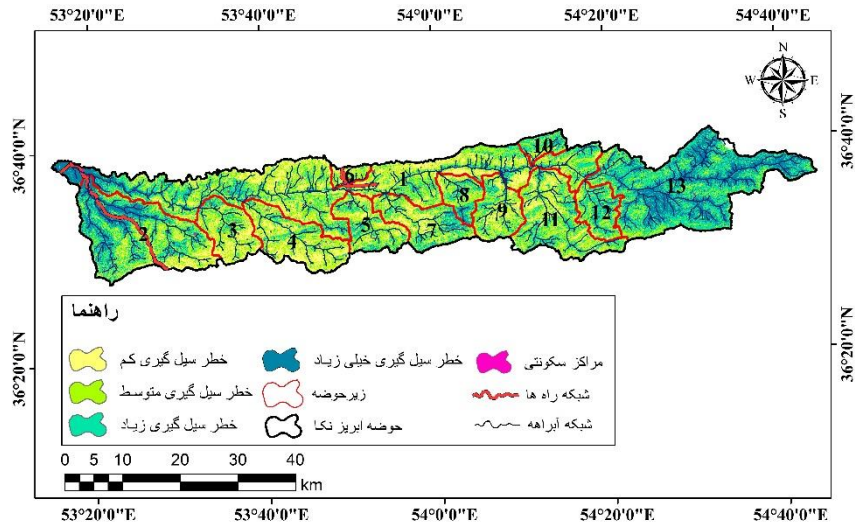
زیرحوضه	معیار	ارتفاع	شیب	فاصله از رودخانه	تراکم آبراهه	تراکم شبکه زهکشی	بارش	کاربری اراضی	زمین‌شناسی	spi	twi	انحنای توپوگرافی
میانگین زیرحوضه 1	1208	1/48	496/6	0/72	0/469	25	0/266	0/232	1060/3	137	0/147	
میانگین زیرحوضه 2	514	1/83	51/4	0/61	0/0463	27/4	0/268	0/352	415/5	154	0/146	
میانگین زیرحوضه 3	793	1/15	528	0/54	0/0461	25/6	0/296	0/326	868/5	153	0/147	
میانگین زیرحوضه 4	1259	1/95	536/7	0/54	0/0462	24/8	0/290	0/309	1339/3	147	0/147	
میانگین زیرحوضه 5	1526	16/65	54/8	0/56	0/0461	21/4	0/295	0/297	1327/6	137	0/148	
میانگین زیرحوضه 6	1371	1/50	42/1	0/66	0/0460	23	0/282	0/168	999/5	131	0/147	
میانگین زیرحوضه 7	1715	1/56	579	0/59	0/0462	21/4	0/245	0/321	1074/8	135	0/148	
میانگین زیرحوضه 8	1859	1/67	53/4	0/61	0/0461	23	0/198	0/326	742/1	146	0/147	
میانگین زیرحوضه 9	1930	1/64	48/2	0/72	0/0461	23	0/205	0/265	1497/9	127	0/148	
میانگین زیرحوضه 10	1949	1/32	516/9	0/60	0/0460	26/7	0/158	0/136	1380/4	124	0/148	
میانگین زیرحوضه 11	2116	1/83	468/8	0/69	0/0463	23/8	0/152	0/182	1111	130	0/148	
میانگین زیرحوضه 12	2321	1/84	42/3	0/67	0/0461	25/6	0/174	0/140	1315/8	130	0/148	
میانگین زیرحوضه 13	2515	1/82	47/8	0/68	0/0464	28/6	0/189	0/170	1203/8	131	0/148	



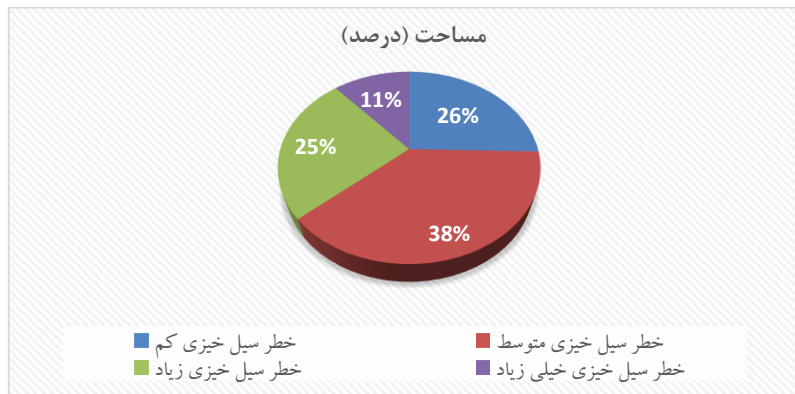
شکل (16): نقشه‌های حاصل نرمال سازی فازی (سیل خیزی)، A: عامل قدرت رود، B: عامل رطوبت توپوگرافی، C: عامل انحنای توپوگرافی

**Fig (16):** Maps resulting from fuzzy normalization (flooding), A. stream power index; B. topographic wetness index; C. topographic curvature

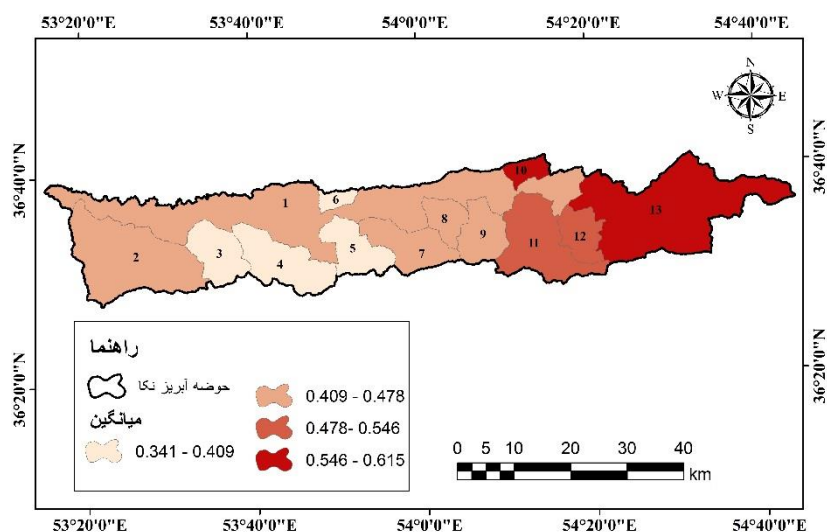
2-3- پهنه‌بندی سیل خیزی: پهنه‌بندی، تعیین و توصیف مناطق دارای پتانسیل از نظر تولید رواناب سطحی است، این عمل براساس مشابهت خصوصیات هیدرولوژیکی و هیدروژئولوژیکی مناطق صورت گرفته و از این طریق امکانات استفاده از پتانسیل هر زون مشخص و ارزیابی می‌شود. بعد از انجام مراحل فازی و یکپارچه‌سازی لایه‌ها، نقشه نهایی پهنه‌بندی حوضه آبریز نکا بر اساس ترکیب خطی وزن دار بدست آمده‌است (شکل 17 و 18). سپس نقشه پهنه‌بندی میانگین خطر سیلاب زیرحوضه‌ها تهیه گردید (شکل 19). برای تحلیل پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز نکا، میانگین، کمترین و بیشترین مساحت 4 کلاس طبقه‌بندی سیل‌خیزی در هر زیرحوضه تهیه گردیده‌است (شکل 20).



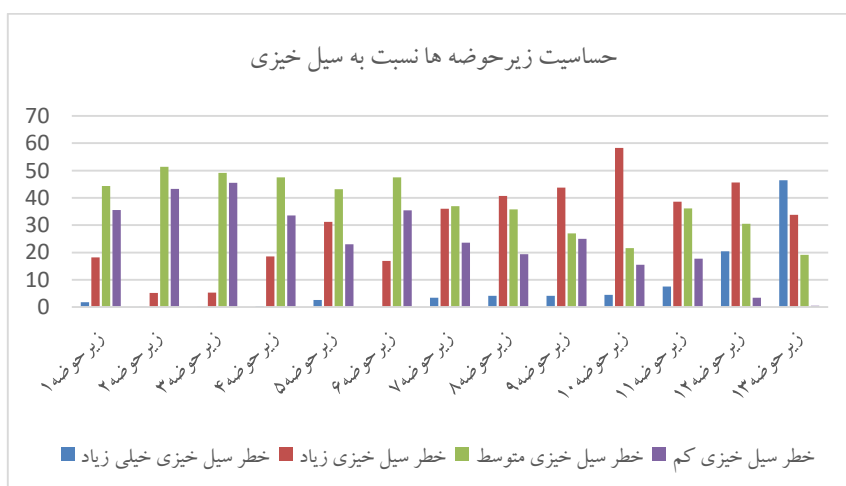
شکل (17): نقشه پهنه‌بندی حساسیت خطر سیل خیزی در حوضه نکا  
 Fig (17): Flood risk sensitivity zoning map in the Neka basin



شکل (18): توزیع مناطق حساسیت خطر سیل خیزی در حوضه نکا  
 Fig (18): Distribution of flood risk sensitive areas in the Neka basin

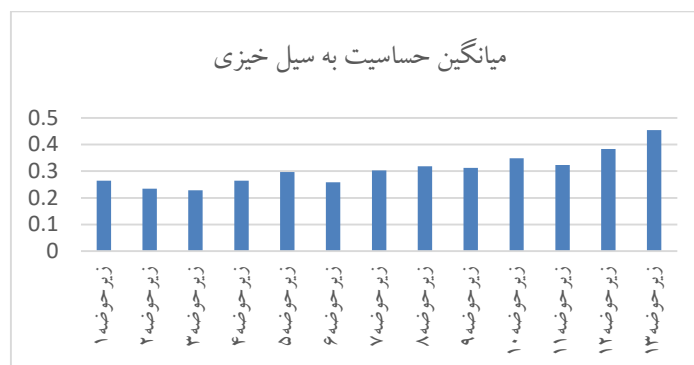


شکل (19): پهنه‌بندی میانگین سیل‌خیزی زیرحوضه‌های حوضه آبریزنکا  
 Fig (19): Average flood zoning of the sub-basins of the Abriznka basin



شکل (20): مساحت‌های حساسیت‌های مختلف زیرحوضه‌ها نسبت به سیل خیزی  
 Fig (20): Areas of different sensitivities of sub-basins to flooding

بعداز تعیین حساسیت زیرحوضه‌ها نسبت به سیل‌خیزی در حوضه آبریز، مقادیر کمترین، بیشترین و میانگین طبقه خیلی‌زیاد در هر یک از حوضه‌ها به تفکیک آن‌ها در شکل 21 نشان داده شده‌است.



شکل (21): نمودار میانگین حساسیت به خطر سیل خیزی زیرحوضه‌های، حوضه آبریز نکا  
Fig (1): Diagram of average sensitivity to flood risk of sub-basins, Neka watershed

#### 4- نتیجه‌گیری

سیلاب به‌عنوان یک رخداد طبیعی و غیرمنتظره، در دهه‌های اخیر به فراوانی رخ داده است ( وانگ و همکاران، 2015: 1129). در راستای کاهش خسارات ناشی از سیلاب و مدیریت سیلاب، ارزیابی احتمال خطر و تهیه نقشه‌های مناطق احتمال خطر امری ضروری می‌باشد.

نقشه پهنه بندی سیل‌خیزی حوضه نکا به 4 کلاس طبقه‌بندی شده است (شکل 19). با توجه به داده‌های مساحت حساسیت‌های مختلف زیر حوضه‌ها نسبت به سیل‌خیزی (شکل 20)، حوضه‌های 11، 12 و 13 بالاترین حساسیت را نسبت به سیل‌خیزی داشته است که نتایج بدست آمده از 11 عامل در این سه حوضه در جدول 5 نشان داده شده است.

جدول (5) : میانگین 11 عامل موثر در سیل‌خیزی زیر حوضه های 11، 12 و 13 حوضه آبریز نکا

Table (5): The average of 11 effective factors in flooding in sub-basins 11, 12 and 13 of Abrizenka basin

زیرحوضه	معیار	فاصله از تراکم زهکشی	تراکم آبراهه	تراکم زیرحوضه	بارش	کاربری اراضی	زمین‌شناسی	spi	twi	انحنای توپوگرافی
میانگین زیرحوضه 13	ارتفاع شیب	0/28	0/63	0/001	0/03	0/08	0/35	0/28	0/23	0/227
میانگین زیرحوضه 12	ارتفاع شیب	0/29	0/63	0/0002	0/26	0/02	0/31	0/25	0/23	0/224
میانگین زیرحوضه 11	ارتفاع شیب	0/22	0/62	0/0008	0/44	0/03	0/34	0/33	0/23	0/225

زیرحوضه شماره 13 با مساحت 366/98 کیلومتر مربع و میانگین 46/46، دارای بیشترین حساسیت به خطر سیل‌خیزی در کل حوضه می‌باشد. عامل‌های تأثیرگذار در این زیرحوضه ارتفاع با میانگین 0/773، تراکم آبراهه

(تراکم شبکه زهکشی) با میانگین 0/627 و زمین‌شناسی با میانگین 0/351 می‌باشد.

زیرحوضه شماره 12 با دارا بودن مساحت 60/53 کیلومترمربع و میانگین 20/41 دارای دومین رتبه خطر حساسیت خیلی زیاد در کل حوضه آبریز می‌باشد، یکی از علل قابل توجه در این زیرحوضه ارتفاع با میانگین 0/639، و دیگر عوامل تاثیر گذار، عامل تراکم آبراهه (تراکم شبکه زهکشی) با میانگین 0/631 و عامل شیب با میانگین 0/336 می‌باشند.

زیرحوضه شماره 11 با دارا بودن مساحت 156/13 کیلومترمربع دارای خطر حساسیت خیلی زیاد به وقوع سیلاب می‌باشد، عوامل تأثیرگذار در این امر، عامل تراکم آبراهه (تراکم شبکه زهکشی) با میانگین 0/617، عامل ارتفاع با میانگین 0/521 و سومین عامل تأثیرگذار، عامل بارش 0/444 می‌باشند.

باتوجه به نتایج بدست آمده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و با در نظر گرفتن 11 عامل موثر در خطر رخداد سیلاب در این پژوهش که نشان می‌دهند حساسیت سیلاب در زیرحوضه‌های رودخانه نکا متفاوت می‌باشد و در بعضی زیرحوضه‌ها با توجه به عامل‌های تاثیر گذار خطر سیلاب خیلی زیاد و در مقابل در بعضی زیرحوضه‌ها خطر رخداد سیلاب خیلی کم می‌باشند. نتایج بدست آمده، نشان می‌دهد که در این حوضه، در حدود 216/34 کیلومتر مربع دارای قابلیت احتمال خطر خیلی زیاد و 476/86 کیلومتر مربع دارای قابلیت احتمال خطر زیاد (حدود 36 درصد حوضه در محدوده خطر خیلی زیاد و زیاد) نسبت به سیل‌خیزی می‌باشد.

از میان عوامل محیطی موثر در مبحث سیل‌خیزی عوامل ارتفاع و تراکم آبراهه (تراکم شبکه زهکشی) تاثیرگذارترین عوامل در خطر رخداد سیلاب بوده‌اند و دیگر عوامل نقش کمتری در حساسیت سیلاب حوضه آبریز نکا را داشته‌اند.

## 5-منابع

- Abedini, M., Piroozi, E., Aghayary, L., & Ostadi, E. (2018). Flood hazard zonation in the Meshkinshar Township using by VIKOR model, *Territory*, 14(56), 21-34.
- Ahmadzadeh, H., Saeedabadi, S., & Nouri, E. (2015). A Study and Zoning of the Areas Prone to Flooding with an Emphasis on Urban Floods (Case Study: City of Maku), *Hydrogeomorphology*, 2(2), 1-24.
- Alizadeh, A. (2011). *Principles of applied hydrology*, Imam Reza University Publications (AS), 872 p.
- Amirahmadi, A., Keramati, S., & Keramati, S., & Ahmadi, T. (2011). Microzoning of flood hazard in Neyshabur in order to urban development, *Research and Urban Planning*, 2 (7), 91-110.
- Asghari-Moghadam, M. R. (2016). *Physical geography of the city (climate, water and flood)*, Islamic Azad University, central Tehran branch, 245 p.
- Bozorg Haddad, O., Khosrowshahi, S., Zarezadeh, M., & Javan, P. (2013). Development of Simulation-Optimization Model for Protection of Flood Areas, *Water and Soil*, 27(3), 462-471. doi: 10.22067/jsw.v0i0.25911
- Hosseinzadeh, S. R., & Jihadi Torughhi, M. (1386). Investigating the issue of flooding and flooding in Mashhad city from the perspective of historical geomorphology and combining it with experimental methods, *Geographical Researches*, 61, 145-159.
- Hosseinzadeh, M. M., Biranvand, S., Hosseini Asl, A., & Sadouq, H. (2013). Flood simulation of Kashkan River, Setjesh Quarterly from Far and GIS of Iran, *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 5 (1), 71-84.
- Hosseinzadeh, M. M., Khaleghi, S., & Panahi, R. (2019). Flood risk zonation in order to determine river flood fringe (Case study: Gamasiyab river), *Iranian journal of Ecohydrology*, 6(2), 553-567. doi: 10.22059/ije.2019.276389.1056
- Kornejady, A., Ownegh, M., Pourghasemi, H. R., Bahremand, A., & Motamedi, M. (2020). Landslide susceptibility prediction using the coupled Mahalanobis distance and machine learning models (case study: Owghan watershed, Golestan province, *Researches in Earth Sciences*, 11(2), 1-18. doi: 10.52547/esrj.11.2.1
- Mamizadeh, J., Hemati, M., & Ghaderi, J. (2015). Flood Zoning Using HEC-RAS and GIS (Chardavol River, Ilam), *jwmseir*, 9 (29), 71-74.
- Nik-Nejad, D., & Alizadeh, E. (2008). Flood study and its control in the basin leading to Lake Urmia, technical workshop for coexistence with floods, Tarasht power plant, Tehran.
- Omidvar, K., Kianfar, A., & Asgari, S. (2010). Zoning the Flood-Producing Potentials of Konjancham Basin, *Physical Geography Research Quarterly*, 42(72), 73-90.



- Rezaei Moghaddam, M., Mokhtari, D., & Shafieimehr, M. (2021). Zoning flood risk in the Shahr Chai Watershed in Miyaneh using Vikor model, *Hydrogeomorphology*, 8(28), 19-37. doi: 10.22034/hyd.2021.40169.1536
- Rezaei Moghaddam, M. H., Rajabi, M., Daneshfaraz, R., & Keirizadeh, M. (2016). Zonation and Investigating the Morphological Effects of Flooding on Zarrineh-Roud River (From Sariqamish to Noruzlu Dam), *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 5(1), 1-20. doi: 10.22067/geo.v5i1.52330
- Soleimani, K., & Habibnejad Roshan, M. (2002). Flood Occurrence as Related to Hydroclimatic Factors, Nekaroud Flood Case, *Iranian J. Natural Res*, 55 (1): 23-35.
- Chen, Y.R., Yeh, C.H., & Yu, B. (2011). Integrated application of the analytic hierarchy process and the geographic information system for flood risk assessment and flood plain management in Taiwan, *Nat. Hazards*, 59, 1261–1276. <http://dx.doi.org/10.1007/s11069-011-9831-7>.
- Dass, 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.
- Douvinet, J., Marco, V.D.W., Delahaye, D., & Etienne, C. (2015). A flash flood hazard assessment in dry valleys (northern France) by cellular automata modelling, *Natural Hazards*, 75(3), 2905- 2929.
- Edjossan-Sossou, A.M., Galvez, D., Deck, O., Al Heib, M., & Verdel, T. (2020). Sustainable risk management strategy selection using a fuzzy multi-criteria decision approach, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, [ff10.1016/j.ijdr.2020.101474](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101474). [ffhal-02446563f](https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101474)
- Green, C. H. (2002). Flood management from the perspective of integrated water resource management. In 2<sup>nd</sup> *International Symposium on Flood Control*, Beijing.
- Hong, H., Panahi, M., Shirzadi, A., Ma, T., Liu, J., Zhu, A., Chen, W., Kougias, I., & Kazakis, N. (2017). Flood susceptibility assessment in Hengfeng area coupling adaptive neurofuzzy inference system with genetic algorithm and differential evolution, *Sci, Total Environ*, 621, 1124–1141.
- 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, *Sci, Total Environ*, 538, 555–563.
- Li, K., Wu, S., Dai, E., & Xu, Z. (2012). Flood loss analysis and quantitative risk assessment in China, *Natural Hazards*, 63, 737–760.
- Moel, H.D., Alphen, J.V., & Aerts, J.C.J H. (2009). Flood maps in Europe\_ methods, availability and use, *Nat Hazards Earth Syst. Sci*, 9, 289-301.
- Mukand, N.M.D., Huynh, S.B., & Luong, T. (2011). Evaluation of food risk parameters in the Day River Flood Diversion Area, Red River Delta, Vietnam, *Nat Hazards*, 56, 169–194.
- Ogato, G.S., Bantider, A., Abebe, K., & Geneletti, D. (2020). 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*, 21, 2214-5818.
- Ozturk, D., & Batuk, F. (2011). Implementation of Gis-Based Multicriteria Decision Analysis with Vain ArcGic, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 6, 1023-1042.
- Papaioannou, G., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2015). Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping, *Water Resour. Manag*, 29, 399-418. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-014-0817-6>
- Pradhan, B. (2009). Flood susceptible mapping and risk area delineation using logistic regression, GIS and remote sensing, *J. Spat. Hydrol*, 9, 1-18.
- Rimba, A.B., Setiawati, M.D., Sambah, A.B., & Miura, F. (2017). Physical Flood Vulnerability Mapping Applying Geospatial Techniques in Okazaki City, Aichi Prefecture, Japan, *Urban Sci*, 1 (7), 1-22.
- Samanta, S., Koloa, C., Pal, D.K., & Palsamanta, B. (2016). Flood Risk Analysis in Lower Part of Markham River Based on Multi- criteria Decision Approach (MCDA), *Hydrology*, 3(3), P. 29, <https://doi.org/10.3390/3030029>
- Samela, C., Troy, T., & Manfreda, S. (2017). Geomorphic classifiers for flood-prone areas delineation for data-scarce environments, *Journal of the Advances in Water Resources*, 102, 145-167.
- Seejata, K., Yodying, A., Wongthadam, T., Mahavik, N., & Tantanee, S. (2018), Assesment of flood hazard areas using Analytical Hierarchy Process over the Lower Yom Basin, Sukhothai Province, *Procedia Engineering*, 212, 340-347.
- Tamilenthi, S., Thilagavathi, G., Ramu, C., & Baskaran, B. (2011). Application of Gis in Flood Hazard Zonation Studies in Papanasam Taluk, Thanjavur District, Tamilnadu, *Advances in Applied Science Research*, 2 (3), 45-62.
- Wang, Z., Lai, C., Chen, X., Yang, B., Zhao, S., & Bai, X. (2015). Flood hazard risk assessment model based on random forest, *Journal of Hydrology*, 527, 1130-1141.
- Xiao, Y., Yi, S., & Tang, Z. (2017). Integrated flood hazard assessment based on spatial ordered weighted averaging method considering spatial heterogeneity of risk preference, *Sci. Total Environ*, 599, 1034-1051.