

Evaluation of flood hazards areas with fuzzy approach, Case study: Downstream of Neka catchment, Mazandaran province

Reza Esmaili^{1*} , Mohammad Taheri²

1. *Corresponding Author*, Associate professor of Geomorphology, University of Mazandaran, Iran
2. M.A. of Geomorphology, University of Mazandaran, Iran

Article Info

ABSTRACT

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 09 September 2021

Revised: 16 February 2022

Accepted: 04 March 2022

Keywords:

River hazard map, Fuzzy, Neka River, Mazandaran.

Floods are among the hazards that affect millions of people around the world every year. The northern region of Iran has also faced numerous floods in recent decades and has caused a lot of damage to urban and rural areas. The northern regions of Iran have also experienced numerous floods in recent decades and have caused extensive damage to urban and rural areas. This study aimed to prepare a map of flood-prone areas by fuzzy method and to validate various maps downstream of the Neka River catchment in eastern Mazandaran. After the flood of 2019, the location of the areas that were affected by the flood was recorded in points. Data were randomly divided into two parts: training and validation 70% and 30%. Based on 70% of the observational data, fuzzy relationships of different information layers were determined, including elevation, slope, distance from the river, precipitation, lithology, and land use. After fuzzification of layers, using 9 different fuzzy operators, the layers overlapped and flood hazard maps were obtained. The validity of the resulting maps was performed using 30% of flooded points and the same number of non-flooded points by ROC method and Cohen's Kappa index. The results showed that operators of fuzzy Gamma 0.9, 0.8, and 0.7, had the highest accuracy of respectively. According to the map of the fuzzy Gamma 0.9, 15.7% of the area is in the very high and high class and 30% of rural and urban areas of the catchment are in these danger zones.

Cite this article: Esmaili, R., & Taheri, M. (2022). Evaluation of flood hazards areas with fuzzy approach, Case study: Downstream of Neka catchment, Mazandaran province. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 11(34), 145-158. DOI: 10.22111/jneh.2022.39817.1842



© Reza Esmaili.

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2022.39817.1842

* Corresponding Author Email: r.esmaili@umz.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۱۱، شماره ۳۴، زمستان ۱۴۰۱

ارزیابی مناطق مستعد خطر سیلاب با نگرش فازی، مطالعه موردی: پایین دست

حوضه آبریز نکا، استان مازندران

رضا اسماعیلی^{۱*}، محمد طاهری^۲

۱. دانشیار، گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه مازندران

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	سیل از جمله مخاطراتی است که سالانه میلیون‌ها نفر را در جهان تحت تأثیر قرار می‌دهد. مناطق شمالی ایران هم طی دهه‌های اخیر با سیلاب‌های متعددی روبرو بوده‌اند و خسارت‌های زیادی به نواحی شهری و روستایی این مناطق وارد شده است. این پژوهش با هدف، تهیه نقشه مناطق مستعد سیل با روش فازی و صحت‌سنجی نقشه‌های مختلف در پایین‌دست حوضه رودخانه نکا در شرق مازندران انجام شده است. پس از سیل سال ۱۳۹۷ موقعیت بخشی از مناطقی که دچار سیل شدند به صورت نقطه‌ای ثبت گردید. داده‌ها به صورت تصادفی به دو قسمت آموزشی و اعتبارسنجی با نسبت ۷۰ و ۳۰ درصد تقسیم شدند. بر اساس ۷۰ درصد از داده‌های مشاهده‌ای، روابط فازی لایه‌های مختلف اطلاعاتی شامل ارتفاع، شیب، فاصله از رود، بارش، لیتولوژی و کاربری اراضی تعیین شد. پس از فازی‌سازی لایه‌ها با استفاده از ۹ اپراتور مختلف فازی، همپوشانی لایه‌ها انجام شد و نقشه خطر سیل به دست آمد. برای صحت‌سنجی نقشه‌های حاصله با استفاده از ۳۰ درصد نقاط باقیمانده و همان تعداد نقاط فاقد سیل با روش ROC و شاخص کاپای کوهن اعتبارسنجی صورت گرفت. نتایج نشان داد که روش‌های گامی ۰/۹، ۰/۸، ۰/۷ به ترتیب بیشترین دقت را داشته است. براساس نقشه نهایی گامی ۰/۹، ۱۵/۷ درصد از مساحت منطقه در محدوده خطر بسیار زیاد و زیاد قرار دارد و ۳۰ درصد مناطق روستایی و شهری حوضه در این محدوده‌های خطر قرار گرفته‌اند.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۸	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۳	
واژه‌های کلیدی:	
نقشه خطر سیل، نگرش فازی، رودخانه نکا، استان مازندران.	

استناد: اسماعیلی، رضا، طاهری، محمد. (۱۴۰۱). ارزیابی مناطق مستعد خطر سیلاب با نگرش فازی، مطالعه موردی: پایین دست حوضه آبریز نکا،

استان مازندران. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۴)، ۱۵۸-۱۴۵. DOI: 10.22111/jneh.2022.39817.1842



© رضا اسماعیلی^{*}، محمد طاهری.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

سیل یکی از شدیدترین بلایای طبیعی است که سالانه میلیون‌ها نفر در جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در اثر وقوع سیلاب‌های گسترده در چند استان ایران، ۱۰ میلیون نفر در سال ۱۳۹۸ (۲۰۱۹) تحت تأثیر این بلا قرار گرفتند که از این لحاظ در رتبه سوم جهان قرار گرفت (<https://ourworldindata.org/natural-disasters>). افزایش فراوانی و بزرگی خطر سیل از عوامل مختلفی مانند تغییر اقلیم، شهرنشینی، رشد جمعیت، تغییرهای کاربری اراضی در حوضه، خصوصاً تغییرهای شدید کاربری در حاشیه رود با احداث جاده‌ها و زیرساخت‌ها، تجاوز به حریم رود و غیره نتیجه می‌شود. این مسأله موجب شده تا امروزه پیش‌بینی سیل فقط با استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی به یک چالش تبدیل شود (داس، ۲۰۲۰). ارزیابی هیدرولوژیکی سیل عموماً در یک نقطه خاص (مناطق اطراف ایستگاه هیدرومتری) از حوضه است. بنابراین برای یک حوضه یا یک منطقه وسیع‌تر به خاطر فقدان داده و دسترسی نمی‌تواند کارایی مناسبی داشته باشد. از این رو سیل فقط یک عامل اقلیمی نبوده و متأثر از عوامل متعددی شامل توپوگرافی، کاربری اراضی، زمین‌شناسی و پارامترهای هیدرولوژیکی هست که برای تهیه نقشه‌های خطر سیل ضروری هستند. نقشه‌های خطر، اطلاعاتی را در مورد آسیب‌های احتمالی فراهم نموده و برای فعالیت‌های پیشگیری از حوادث کاربرد دارند که در این میان نقشه‌های خطر سیل به‌صورت غیرسازه‌ای برای کاهش بالقوه سیلاب مناسب هستند (کیم و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، با توجه به ماهیت دینامیکی چندبعدی این پدیده، داده‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور می‌توانند به‌طور وسیعی برای شناسایی مناطق خطر سیل به کار روند (اسوین و همکاران، ۲۰۲۰).

تاکنون مقالات متعددی با روش‌های مختلف برای تهیه نقشه حساسیت به سیل و پهنه‌بندی آن نگاشته شده است که برخی از این روش‌ها عبارتند از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (رحمتی و همکاران، ۲۰۱۶)، مدل‌های آماری دو متغیره (خسروی و همکاران، ۲۰۱۶)، نسبت فراوانی (گلشن و همکاران، ۱۳۹۷؛ انتظاری و همکاران، ۱۳۹۸)، رگرسیون لجستیک (تهرانی، ۲۰۱۹)، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مانند تاپسیس (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۵؛ عرب عامری و همکاران، ۲۰۲۰)، آنتروپی شانون (نوحانی و همکاران، ۱۳۹۵) منطق فازی و غیره. در اینجا فقط به تعدادی از مطالعات انجام‌شده با روش فازی اشاره می‌شود.

قنواتی و همکاران (۱۳۹۴) پتانسیل سیل‌گیری رودخانه خیاوچای مشکین‌شهر را با روش فازی پهنه‌بندی کردند و با استفاده از ضریب همبستگی لایه‌ها و نقشه نهایی، بیان کردند که عملگر فازی ۰/۷ بیشترین کارایی را دارد. قلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از عملگرهای فازی گاما نقشه پتانسیل سیل‌گیری حوضه زنگمار را بررسی نمودند و عملگر گامای ۰/۹ به‌عنوان مناسب‌ترین حالت معرفی نمودند. شریفی و پرنون (۱۳۹۷) سیل‌گیری رودخانه قره سو را با منطق فازی و عملگرهای گاما مورد ارزیابی قرار دادند. موسوی و همکاران (۱۳۹۷) مخاطره سیل را با فازی‌سازی لایه رواناب و ارتفاع و همپوشانی ضرب لایه‌ها در حوضه آبریز مرند مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از ماتریس درهم ریختگی میزان صحت نقشه تهیه‌شده را ۸۷/۸ درصد تعیین نمودند.

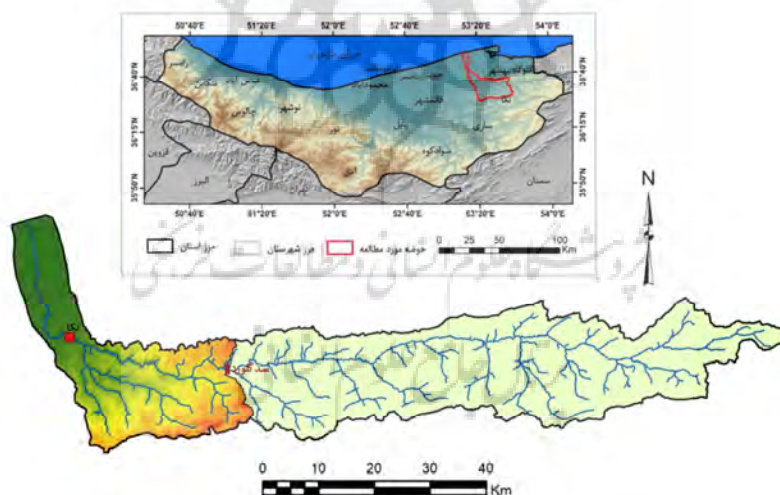
ناندلال و راتنایاک (۲۰۱۱)، با روش‌های هیدرولیکی و فازی و بر اساس دو پارامتر عمق و مساحت پهنه آب گرفته، خطر سیل را در حوضه کالو-گنگ هند ارزیابی نمودند. لی و همکاران (۲۰۱۵) اپراتورهای مختلف فازی را برای ارزیابی خطر سیل در ستول کره جنوبی مورد استفاده قرار دادند که نتایج کار آنها نشان داد اپراتور AND با صحت

۸۸/۷ درصد بهترین کارایی را در مدل‌سازی سیل داشته است. هونگ و همکاران (۲۰۱۸) با وزن‌دهی فازی سیلاب‌های شاهد، نقشه حساسیت‌پذیری سیل را در ایالت پویانگ چین مورد مطالعه قرار دادند و صحت نقشه‌های آنها ۹۵ تا ۹۹ درصد ارزیابی شد. ساهانا و پتل (۲۰۱۹) با استفاده از مدل‌های منطق فازی، وقوع سیل را در رودخانه کوسی هند مورد بررسی قرار دادند. این مدل با صحت ۹۰ درصد مورد تأیید قرار گرفت. رضوی و صادقی (۲۰۱۹) نقشه حساسیت‌پذیری سیل را با مدل فازی عصبی در حوضه جهرم مورد مطالعه قرار داده و صحت روش ۹۱ درصد برآورد گردید.

وقوع سیل‌های متعدد در استان مازندران طی دهه‌های اخیر و به‌خصوص سیل فراگیر اواخر سال ۱۳۹۷ که در قسمت‌های شرقی استان خسارت‌های زیادی ایجاد نمود، لزوم تهیه نقشه خطر سیل در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی را مورد تأکید قرار می‌دهد. حوضه آبریز نکا از جمله مناطقی است که سیلاب‌های شدیدی را تجربه نموده است. تاکنون چند مقاله در مورد سیل نکا نوشته شده است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳)، سیل مخرب سال ۱۳۷۸ را با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS شبیه‌سازی کردند. نتایج کار آنها نشان داد انسداد دهانه پل موجب شد که اثر مخرب سیل با دبی ۱۱۰۰ مترمکعب به بیش از دو برابر افزایش یابد. شعبانی و همکاران (۱۳۹۵) با روش‌های هیدرولوژیکی و شبیه‌سازی با مدل‌های HEC-HMS پتانسیل زیرحوضه‌ها را در بالادست حوضه نکا اولویت‌بندی کردند. کریمی و همکاران (۱۳۹۶) بازه‌ای به طول ۲/۵ کیلومتر از رودخانه را در محدوده شهر نکا با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی و HEC-RAS پهنه‌بندی نمودند. روستائی و همکاران (۱۳۹۶) خطر سیل را با روش SCS در زیرحوضه‌های بالادست حوضه نکا پهنه‌بندی کردند. عرب عامری و همکاران (۱۳۹۶) با روش ترکیبی AHP و تئوری بی‌زین مناطق حساس سیل را در حوضه‌های نکا و تجن مورد ارزیابی قرار دادند. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) با روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و استدلال دمپستر - شافر ریسک سیل را در کل حوضه آبریز نکا طبقه‌بندی نمودند. این پژوهش از نظر محدوده مورد مطالعه و فن‌های مورد استفاده با پژوهش‌های بالا متفاوت است که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

با احداث سد گیلورد بر روی رود نکا که با هدف تأمین آب و کنترل سیل احداث شده است، تا حدودی خطر سیل از بالادست کاهش یافته است. اما در پایین‌دست حوضه نکا، در سیل سال ۱۳۹۷ حداکثر بارش در ایستگاه گیلورد و آبلو در روزهای ۲۷ و ۲۸ اسفند ۱۳۹۷، به ترتیب ۱۹۷ و ۱۳۷ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. به دنبال این بارش دبی پیک سیل در ایستگاه آبلو و پایین‌رندین به ترتیب ۴۵۰ و ۱۱۶ مترمکعب در ثانیه رسید (شرکت آب منطقه‌ای مازندران) که در مجموع در ورودی به شهر نکا به ۵۶۵ مترمکعب در ثانیه رسید. دوره بازگشت این سیل بیش از ۱۰۰ سال تخمین زده شده است (شرکت آب منطقه‌ای مازندران). وقوع این سیل در دامنه‌های شمالی البرز و در پایین‌دست سد گیلورد نیاز به تهیه نقشه خطر سیل را با کمک داده‌های مشاهده‌ای مورد توجه قرار داده است. بنابراین هدف از این پژوهش، تهیه نقشه خطر سیل در پایین‌دست حوضه آبریز نکا با روش فازی و صحت‌سنجی اپراتورهای فازی در تعیین بهترین مدل بوده است.

حوضه آبریز رودخانه نکا با مساحت ۲۱۱۳ کیلومتر مربع در محدوده استان‌های مازندران و گلستان قرار گرفته است (شکل ۱). جهت جریان رود در بخش عمده‌ای از مسیر به تبع دره، شرقی - غربی بوده و با تغییر جهت به سمت شمال غربی سرانجام به سمت شمال جریان یافته و به دریای خزر وارد می‌شود. با احداث سد گیلورد در بخشی از غرب دره آب قسمت وسیعی از حوضه با مساحت ۱۴۴۵ کیلومتر مربع در این سد ذخیره می‌شود. حجم مخزن این سد ۱۱۵ میلیون مترمکعب است و در سال ۱۳۹۶ مورد بهره‌برداری قرار گرفته است. در این پژوهش محدوده پایین-دست حوضه آبریز نکا (پایین‌دست سد گیلورد) مورد مطالعه قرار گرفته است. مساحت حوضه در این قسمت ۶۶۸ کیلومتر مربع است که ۳۱/۵ درصد از مساحت کل حوضه را شامل می‌شود. شاخه‌های فرعی دیگر در نزدیکی روستای پایین زرن‌دین (در دو کیلومتری جنوب شهر نکا) به رودخانه اصلی نکا متصل می‌شوند. حداقل و حداکثر ارتفاع در منطقه مورد مطالعه از ۲۷- متر در سطح دریای خزر تا ۱۲۹۱ متر در ارتفاعات متغیر است و میزان بارش آن از ۶۸۰ میلی‌متر در منطقه جلگه‌ای تا ۸۸۰ میلی‌متر در ارتفاعات تغییر می‌کند. میانگین دبی سالانه رودخانه نکا در ایستگاه آبلو ۴/۷ مترمکعب در ثانیه اندازه‌گیری شده است. بیشترین دبی پیک مربوط به سال ۱۳۷۸ است که ۱۱۰۰ مترمکعب در ثانیه بوده است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۳). در سیلاب سال ۱۳۹۷ میزان ورودی آب به سد گیلورد ۷۰ مترمکعب در ثانیه و مقدار خروجی ۲۵ مترمکعب در ثانیه بوده است (شرکت آب منطقه‌ای مازندران). بنابراین عامل مهم وقوع سیل، تمرکز بارش در پایین‌دست حوضه نکا بوده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبریز رود نکا و محدوده مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

پس از وقوع سیل در ۲۷ و ۲۸ اسفند ۱۳۹۷ در استان مازندران و حوضه نکا، در بازدیدهای میدانی انجام‌شده در فروردین ۱۳۹۸، تعداد ۱۰۰ نقطه از مناطقی که تحت سیل قرار گرفتند با استفاده از GPS ثبت موقعیت شدند. ۷۰ درصد نقاط به‌عنوان نقاط آموزشی و ۳۰ درصد نقاط برای اعتبارسنجی مدل به‌صورت تصادفی انتخاب شدند (شکل ۲). نقاط آموزشی با لایه‌های اطلاعاتی شامل ارتفاع، شیب، فاصله از رود، میانگین بارش، لیتولوژی، کاربری

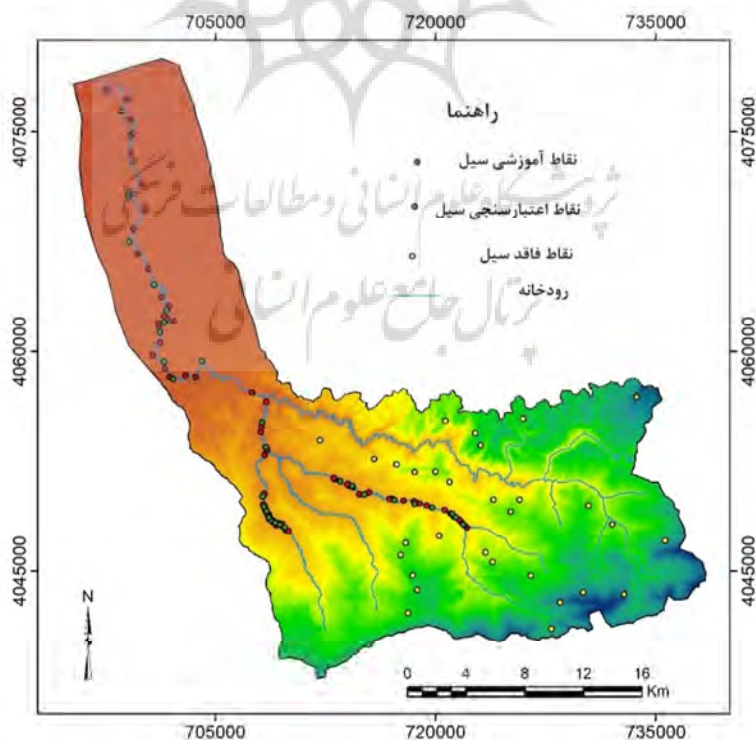
اراضی و پوشش زمین قطع داده شد و بر اساس آنها روابط فازی لایه‌ها تعیین گردید. لایه‌های ارتفاعی و شیب از DEM با قدرت تفکیک ۳۰ متری SRTM تهیه شدند. لایه بارش از روابط رگرسیونی بارش و ارتفاع در حوضه ایجاد شد. لایه لیتولوژی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه و لایه پوشش زمین و کاربری اراضی از نقشه پوشش زمین ایران از سایت گوگل ارث انجین (GEE) با قدرت تفکیک ۱۰ متر استخراج شد.

نقشه هر عامل به فایل گرید تبدیل شد و مقادیر عضویت فازی هر پیکسل تعیین گردید. پس از فازی‌سازی لایه‌های مختلف با استفاده اپراتورهای فازی گاما، فازی وزنی، AND، OR، SUM و Product همپوشانی لایه‌ها انجام شد و نقشه‌های مناطق دارای خطر سیل به دست آمد. اپراتور فازی گاما با استفاده از رابطه زیر انجام می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۱۵):

$$\mu = (FAS)^{\gamma} \times (FAP)^{\gamma-1} \quad (1)$$

که μ : مقدار ترکیبی فازی برای هر پیکسل خاص، FAS: جمع جبری فازی، FAP: ضرب جبری فازی و γ : مقدار گاما که بین ۰ تا ۱ متغیر است. اگر مقدار اپراتور گاما ۱ باشد نشان‌دهنده جمع جبری فازی و اگر مقدار آن ۰ باشد بیانگر ضرب جبری فازی است.

برای همپوشانی فازی وزنی، وزن متغیرها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزندهی شدند و این اوزان در لایه‌های فازی شده ضرب شدند. همه محاسبات مربوط به فازی‌سازی لایه‌ها و انواع همپوشانی در نرم‌افزار ARC GIS انجام شده است.



شکل ۲: موقعیت نمونه‌های آموزشی و اعتبارسنجی سیل در پایین‌دست حوضه آبریز نکا

روش اعتبارسنجی نقشه‌ها

جهت اعتبارسنجی نتایج از منحنی ROC^۱ و شاخص کاپای کوهن^۲ استفاده شد. بدین ترتیب که ۳۰ درصد از داده‌های کل که دارای سیلاب بوده‌اند و در مدل‌سازی مورد استفاده قرار نگرفتند (شکل ۲) و همان تعداد نقاط بدون سیلاب با نقشه‌های حاصله قطع داده شدند. بر این اساس، نقاط دارای سیلاب و فاقد سیلاب در مقایسه با نقشه‌های پیش‌بینی شده چهار حالت دارند که عبارتند از:

- نقاط دارای سیلاب که در نقشه در منطقه پرخطر قرار گرفته‌اند که مثبت صحیح هستند^۳ (TP)

- نقاط فاقد سیلاب که در نقشه خطر در منطقه کم خطر قرار گرفته‌اند و منفی صحیح هستند^۴ (TN)

- نقاط دارای سیلاب که به اشتباه در منطقه کم خطر قرار گرفته‌اند و منفی کاذب هستند^۵ (FN)

- نقاط فاقد سیلاب که در منطقه پرخطر قرار گرفته‌اند و مثبت کاذب هستند^۶ (FP)

این منحنی احتمال یک مثبت صحیح (TN) را نسبت به یک مثبت کاذب (FP) ارزیابی می‌کند. در منحنی ROC، مساحت زیر منحنی که AUC^۷ نام دارد اطمینان کلی از صحت نقشه حساسیت به سیلاب را نشان می‌دهد. صحت مقادیر AUC به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۶؛ ساهانا و پتل، ۲۰۱۹): ۰/۹ - ۱ عالی، ۰/۸ - ۰/۷ خوب، ۰/۷ - ۰/۶ نسبتاً خوب، ۰/۶ - ۰/۵ ضعیف و ۰/۵ - ۰/۴ ضعیف‌تر.

در منحنی ROC، میزان مثبت صحیح (TPR) یا حساسیت^۸ در محور Y و میزان مثبت کاذب (FPR) یا ویژگی^۹ در امتداد محور X قرار می‌گیرند (وخشوری و زارع، ۲۰۱۸؛ ساهانا و آگراوال، ۲۰۲۰) و از طریق روابط زیر قابل محاسبه هستند.

$$TPR = \frac{TP}{TP + FN} \quad (۲)$$

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \quad (۳)$$

$$FPR = 1 - Specificity \quad (۴)$$

محاسبات مربوط به منحنی ROC، با استفاده از نرم‌افزار XLSTAT 2019 که به صورت افزونه‌ای در نرم‌افزار اکسل فعال می‌شود محاسبه شد.

شاخص کاپای کوهن برای اندازه‌گیری کمی توافق پیکسل به پیکسل بین نقشه‌های مختلف است. این شاخص بر اساس توافق مشاهده شده (P_o) در نقشه‌ها و توافق منتظره (P_e) آنها و با رابطه زیر قابل محاسبه است (وخشوری و زارع، ۲۰۱۸):

^۱ - Receiver operating characteristic

^۲ - Cohen's kappa index

^۳ - True Positive

^۴ - True negative

^۵ - False Negative

^۶ - False positive

^۷ - Area Under the Curve

^۸ - sensitivity

^۹ - Specificity

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (۵)$$

$$P_o = \frac{TP + TN}{N} \quad (۶)$$

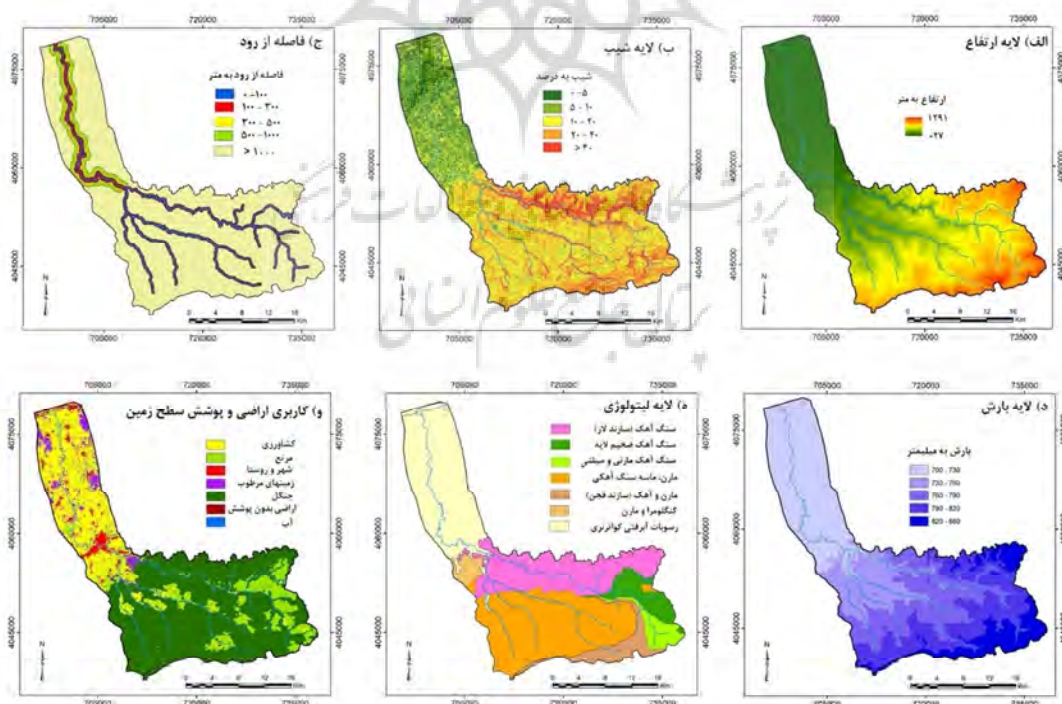
$$P_e = \frac{(TP + TN)(TP + FP) + (FP + TN)(FN + TN)}{N^2} \quad (۷)$$

یافته‌های پژوهش

وقوع سیل به عوامل مختلفی بستگی دارد. در این پژوهش لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع، شیب، فاصله از رود، بارش، لیتولوژی و کاربری اراضی و پوشش زمین مورد استفاده قرار گرفتند (شکل ۳). ویژگی این متغیرها در منطقه مورد مطالعه و در ارتباط با فازی‌سازی لایه‌ها در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ارتفاع: گستره ارتفاعی حوضه مورد مطالعه از ۲۷- متر در خط ساحلی تا ۱۲۹۱ متر در دامنه‌های شمالی البرز متغیر بوده (شکل ۳) و باتوجه به نمونه‌های ثبت شده سیل، با افزایش ارتفاع تعداد نقاط سیل گیر کاهش یافته است. بنابراین تابع فازی خطی معکوس برای این پارامتر مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴).

شیب: عامل مهم دیگر در سیل‌گیری، شیب سطح زمین است. مناطق با شیب ۱۰-۰ درصد بیشترین پهنه سیلابی را در منطقه داشته‌اند. بر اساس نقاط مشاهده شده، کاهش مناطق تحت سیل با افزایش شیب سطح زمین بوده و بر این اساس تابع خطی معکوس برای فازی‌سازی لایه شیب مورد استفاده قرار گرفت.



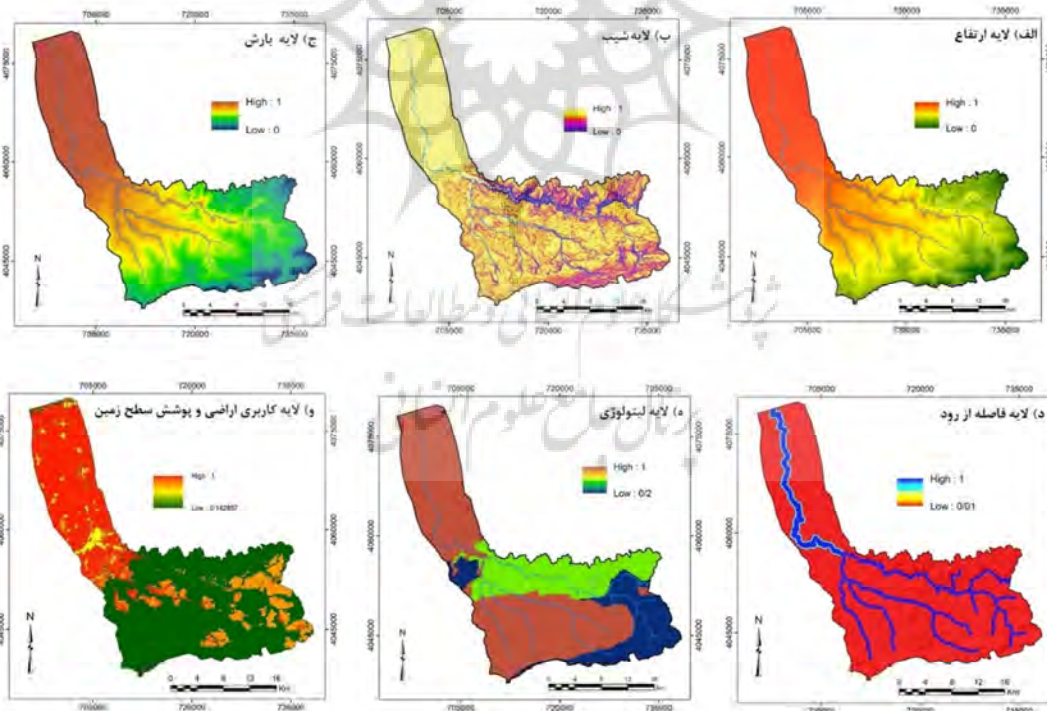
شکل ۳: لایه‌های اطلاعاتی مؤثر در سیل‌گیری در پایین دست حوضه آبریز نکا

فاصله از رودخانه: این متغیر تابع مورفولوژی دره رودخانه است. نظر به اینکه نقاط سیلابی مشاهده شده در فواصل نزدیک به رود قرار گرفته بودند در مناطق جلگه‌ای به ۵ طبقه تقسیم‌بندی شدند و توابع فازی از فاصله ۰ تا ۱۰۰۰ متری به صورت خطی معکوس بوده و در فاصله بیش از ۱۰۰۰ متر به صفر رسیده است. پهنای دره در مناطق کوهستانی در بیشترین حالت، کمتر از ۳۰۰ متر بوده است. بنابراین باتوجه به عرض دره و جهت جلوگیری از تخمین نادرست، فاصله از رود تا فاصله حداکثر ۳۰۰ متری به صورت خطی معکوس کاهش یافته و در فاصله بیش از آن به صفر رسیده است.

بارش: در منطقه مورد مطالعه مقدار بارش از تقریباً ۷۰۰ میلیمتر در منطقه جلگه‌ای تا ۸۸۰ میلیمتر در قسمت کوهستانی متغیر بوده است و بر اساس نقاط نمونه سیلاب، تابع فازی خطی معکوس برای این لایه اعمال شد.

لیتولوژی: رسوبات کواترنری در مناطق جلگه‌ای به علت مجاورت با رود و مشاهده نقاط سیلابی بیشترین امتیاز فازی را گرفته و پس از آن سنگ‌های ماری و ماسه‌سنگ و سنگ آهک به ترتیب در گروه‌های بعدی قرار گرفتند (شکل ۴).

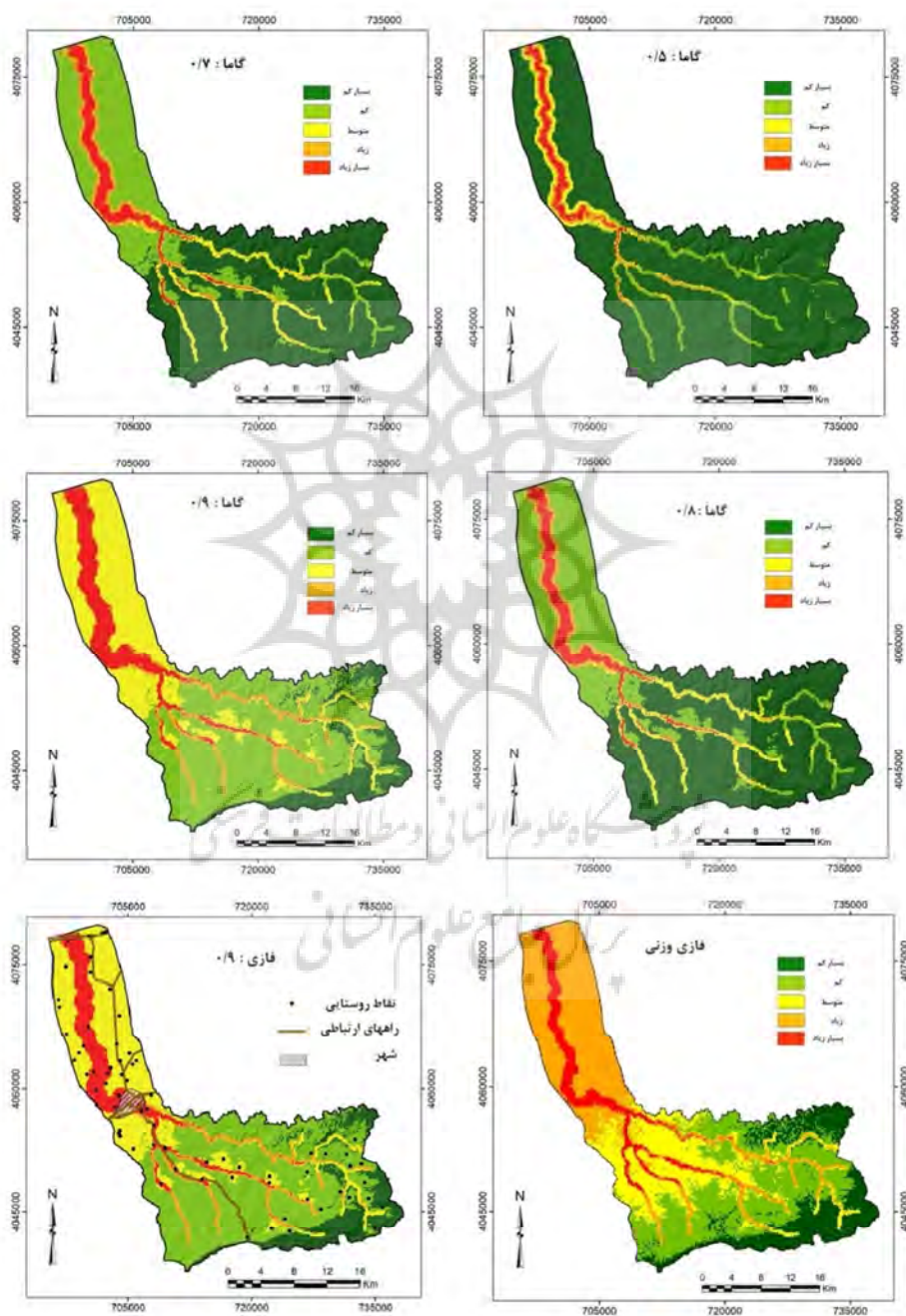
پوشش زمین و کاربری اراضی: لایه یادشده در حوضه مورد مطالعه به هفت کلاس طبقه‌بندی شدند که بر اساس ویژگی‌هایی که در سیل داشته‌اند فازی‌سازی شدند. بدین ترتیب آب و زمین‌های مرطوب بیشترین امتیاز و جنگل کمترین امتیاز فازی را کسب نموده است (شکل ۴).



شکل ۴: لایه‌های اطلاعاتی فازی شده در منطقه مورد مطالعه

پس از فازی‌سازی لایه‌ها، با استفاده از اپراتورهای فازی گامای ۰/۵، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، فازی وزنی، AND، OR، SUM و Product همپوشانی لایه‌ها انجام شد و نقشه‌های مختلف در ۵ طبقه بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار

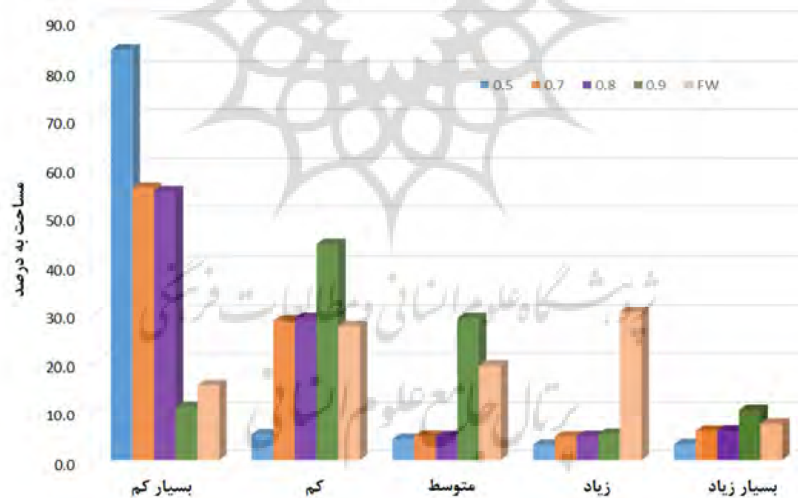
گرفتند (شکل ۵). در فازی وزنی، وزن لایه‌های مختلف با مقایسه زوجی در روش AHP به صورت زیر محاسبه شد: ارتفاع ۰/۳۵۲، فاصله از رود ۰/۲۵۲، شیب ۰/۲، بارش ۰/۱، کاربری اراضی ۰/۰۶، لیتولوژی ۰/۰۳۳.



شکل ۵: نقشه خطر سیل با روش‌های مختلف گامای فازی و فازی وزنی در پایین‌دست حوضه آبریز نکا

مساحت هر یک از طبقات خطر سیل در شکل ۶ نشان داده شده است. طبقات بسیار زیاد در گامای فازی ۰/۵، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹ و وزنی به ترتیب ۳/۲، ۵/۹، ۶، ۱۰/۴ و ۷ درصد از کل مساحت حوضه را شامل شده‌اند که این مقدار برای طبقه زیاد به ترتیب ۳/۱، ۴/۷، ۴/۸، ۵/۳ و ۳۰/۳ درصد بوده است. به جز روش گامای وزنی، بقیه روش‌ها در طبقات زیاد و بسیار زیاد، مساحت تقریباً نزدیک به هم داشته‌اند. بر اساس نقشه‌های حاصله و نقاط مشاهداتی، مناطق با خطر بسیار بالا و بالا بیشتر در منطقه جلگه‌ای با ارتفاع کمتر از ۲۰۰ متر و شیب کمتر از ۲۰ درصد و در فاصله کمتر از ۱۰۰۰ متری از طرفین رود قرار گرفته‌اند. در دره‌های کوهستانی این عرض سیل‌گیری به تبع شکل دره کاهش می‌یابد. در همه نقشه‌ها با دقت بالایی نقاط سیل‌گرفته در طبقه زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند. فقط روش فازی وزنی، مساحت بیشتری را در این طبقه پیش‌بینی نموده است.

مناطق با خطر کم و بسیار کم با گامای ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۸ در مناطق کوهستانی با ارتفاع بیش از ۲۰۰ متر، شیب بیش از ۲۰ درصد و مناطق دارای پوشش جنگلی و در مناطق پایین‌دست در فاصله بیش از ۱۰۰۰ متر از کرانه رود قرار گرفته‌اند. در روش فازی وزنی برخلاف روش‌های گامای فازی مناطق با خطر کم و بسیار کم را با خطر متوسط و زیاد تخمین زده است.



شکل ۶: مساحت هر یک از طبقات خطر سیل با اپراتورهای گاما و فازی وزنی در منطقه مورد مطالعه

نتایج و بحث

همان‌طور که اشاره شد برای اعتبارسنجی مدل از روش ROC و شاخص کاپا استفاده شد. با ترسیم منحنی ROC در نرم‌افزار XISTAT مساحت زیرمنحنی (AUC) روش‌های مختلف محاسبه شد (جدول ۱). بر این اساس همه روش‌های گامای ۰/۵، ۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، فازی وزنی و AND مقدار ۱ به دست آمد که نشان‌دهنده صحت بسیار خوب این

نقشه‌ها در پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه مورد مطالعه است. سایر عملگرها هم از نظر این منحنی صحت خوبی را نشان می‌دهند (جدول ۱ و شکل ۷).

باتوجه به اینکه مقدار AUC در همه روش‌ها عدد نزدیک به هم بوده است، برای تعیین مدل با اولویت بیشتر از شاخص کاپای کوهن استفاده شد. بر اساس این شاخص گامای ۰/۹ با مقدار ۱ بیشترین توافق را داشته و نسبت به سایر روش‌ها برتری نسبی دارد. در مرتبه بعدی گامای ۰/۸ و ۰/۷ و سپس فازی وزنی و AND قرار گرفته‌اند (جدول ۱). روش‌های OR و Product مقدار شاخص کاپای پایینی داشته که نشان‌دهنده نسبت توافق کم این روش‌ها است.

جدول ۱: مقادیر AUC و شاخص کاپا برای عملگرهای مختلف فازی در منطقه مورد مطالعه

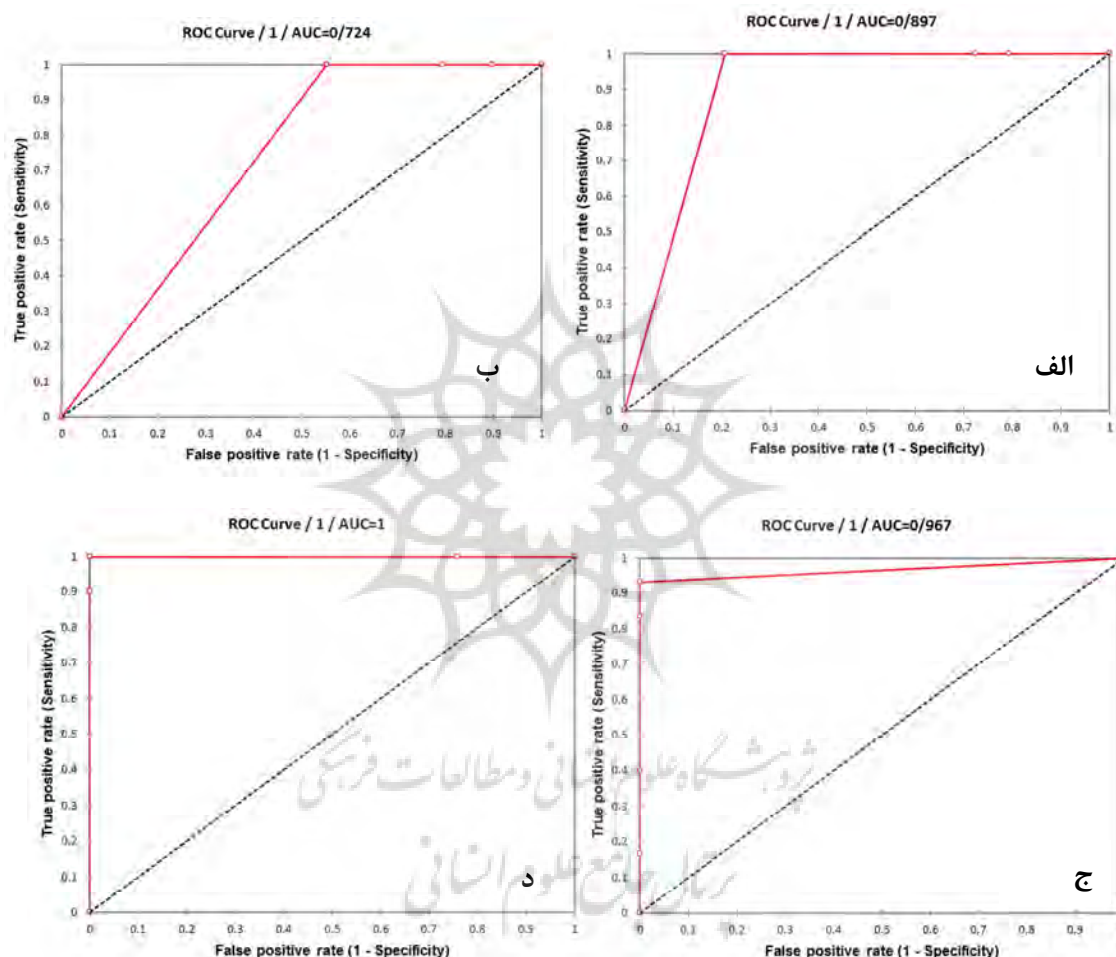
رتبه	ضریب کاپا	AUC	اپراتورهای فازی
۴	۰/۸۷	۱	گاما ۰/۵
۲	۰/۹۷	۱	گاما ۰/۷
۲	۰/۹۷	۱	گاما ۰/۸
۱	۱	۱	گاما ۰/۹
۳	۰/۹۳	۱	فازی وزنی
۵	۰/۱۹۶	۰/۹۸۷	OR
۳	۰/۹۳	۱	AND
۷	۰/۸۸	۰/۷۳۴	SUM
۶	۰/۳۵	۰/۹۶۷	Product

عرب عامری و همکاران (۱۳۹۶)، با روش ترکیبی AHP با تئوری بی‌زین نقشه پهنه‌بندی سیل را در حوضه نکا و تجن مورد ارزیابی قرار دادند که دقت این مدل ترکیبی ۰/۷۶ محاسبه شد. دقت روش فازی به کار رفته در این پژوهش با مقدار $AUC=1$ ، نسبت به مدل ترکیبی یادشده دقت بسیار بالاتری را نشان می‌دهد. لی و همکاران (۲۰۱۵) با عملگرهای مختلف فازی، نقشه حساسیت‌پذیری را در سنول کره جنوبی مدل‌سازی کردند که روش‌های گامای فازی دقت بیش از ۰/۸۸ و میانگین همه اپراتورها را ۰/۸۷۵ ارزیابی نمودند. میانگین عملگرهای فازی ۰/۹۶ در پایین‌دست حوضه نکا محاسبه شده است. تبرستانی و افضل‌ی مهر (۲۰۲۱) با ترکیب روش شبکه عصبی مصنوعی و AHP دقت اندازه‌گیری سیل را در استان مازندران ۸۶ درصد محاسبه نمودند. اگرچه طبق این نقشه تمام منطقه جلگه‌ای مازندران و منطقه مورد مطالعه در گروه خطر خیلی زیاد قرار گرفته است که اغراق آمیز به نظر می‌رسد.

نتیجه‌گیری

تهیه نقشه خطر سیل با دقت کافی یکی از موضوعاتی هست که طی دو دهه اخیر با فن‌های متعددی مورد مطالعه قرار گرفته است. هر فن مزیت نسبی و دقت مشخصی را ارائه می‌کند. در این پژوهش نگرش فازی برای پهنه‌بندی سیل با استفاده از داده‌های واقعی از زمین مورد مطالعه قرار گرفت و اپراتورهای مختلف فازی بر آنها اعمال شد.

اپراتورهای گامای فازی بهترین عملکرد را در پهنه‌بندی خطر سیل در منطقه داشته‌اند. بر اساس نقشه نهایی حاصل از همپوشانی گامای ۰/۹ در محدوده مورد مطالعه، تقریباً ۳۰ درصد روستاها و شهر نکا در محدوده خطر زیاد و بسیار زیاد قرار گرفته‌اند و در طی زمان از آسیب ناشی از سیل در امان نبوده‌اند.



شکل ۷: منحنی ROC برای نقشه خطر سیل با اپراتورهای فازی مختلف، الف) OR، ب) SUM، ج) Product، د) گامای ۰/۹ در منطقه مورد مطالعه، خط با رنگ قرمز منحنی ROC است و خط چین نیم‌ساز «خط شانس» نام دارد.

صحت‌سنجی نقشه و مقایسه فن‌های مختلف مورد استفاده توسط سایر پژوهشگران نشان می‌دهد که مطالعات انجام‌شده در مقیاس حوضه و با شواهد سیلاب‌های تاریخی دقت بهتری را نسبت به مقیاس منطقه‌ای فراهم می‌نماید. سیل سال ۱۳۹۷ در محدوده مورد مطالعه دوره بازگشت بیش از ۱۰۰ سال داشته است و بارش شدید در محدوده پایین‌دست سد و زیرحوضه زرن‌دین پایین عامل اصلی خسارت بوده است. این مسأله لزوم تهیه نقشه خطر با سناریوهای مختلف و در مقیاس‌های محلی را مورد تأکید قرار می‌دهد. نکته دیگر کاهش پهنه سیل‌گیر در دره‌های کوهستانی است که با متغیر فاصله از رود کاملاً مرتبط است؛ اما در پژوهش‌های متعدد بین مناطق کوهستانی و پست

یکسان در نظر گرفته می‌شود و این موضوع باتوجه به مورفولوژی دره و ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه می‌تواند موجب تخمین بیش‌ازحد در شناسایی پهنه‌های سیل‌گیر شود.

منابع

- اسماعیلی، رضا؛ جوکار سرهنگی، عیسی؛ روشن‌نکو، پروین. (۱۳۹۵). تعیین پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش تاپسیس، مطالعه موردی استان مازندران، حوضه آبریز گلندرود، جغرافیای طبیعی، (۳۱)۹، ۷۷-۸۷. 1395.9.31.5.7.87-77. Doi:20.1001.1.20085656
- انتظاری، مؤگان؛ جلیلیان، طاهره؛ درویشی خاتونی، جواد. (۱۳۹۸). پهنه‌بندی نقشه حساسیت سیل‌گیری با استفاده از ارزیابی بین روش نسبت فراوانی و وزن شواهد در استان کرمانشاه، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، (۴)۴، ۱۴۳-۱۶۲. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-1-143-143>, 2707-en.html
- روستائی، شهرام؛ موسوی، رمضان؛ علیزاده گرجی، غلامرضا. (۱۳۹۷). تهیه نقشه پهنه‌بندی سیلاب حوضه آبخیز نکارود با استفاده از مدل SCS-CN و GIS/RS پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، (۱)۶، ۱۰۸-۱۱۸. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78078.html
- شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران (۱۳۹۸). گزارش سیلاب اسفند ۱۳۹۷ و فروردین ۱۳۹۸ در رودخانه‌های استان مازندران، نشریه ۷۲۶.
- شرفی پیچون، محمد؛ پرنون، فاطمه. (۱۳۹۷). ارزیابی و تحلیل فضایی سیل‌گیری رودخانه قره‌سو با استفاده از منطق فازی در محیط GIS. مخاطرات محیط طبیعی، (۱۵)۷، ۱۷-۳۰. Doi:10.22111/JNEH.2017.3203
- شعبانی بازنشین، آرمان؛ عمادی، علیرضا؛ فضل‌اولی، رامین. (۱۳۹۵). بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوزه‌های آبخیز و تعیین مناطق مولد سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز نکا)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، (۱۴)۷، ۲۰-۲۸. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-754-fa.html>
- عرب عامری، علیرضا؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ شیرانی، کورش. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین، تئوری بی‌زین- فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا - استان مازندران). اکوهیدرولوژی، (۲)۴، ۴۴۷-۴۶۲. doi:10.22059/IJE.2017.61481
- قلی‌زاده، ایلا؛ قنواتی، عزت‌اله؛ افشارمنش، حمیده؛ امان‌اله پور، حجت. (۱۳۹۶). کارایی مدل فازی در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه زنگمار، فضای جغرافیایی، (۶۰)۱۷، ۲۲۷-۲۴۵. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-654-fa.html>
- قنواتی، عزت‌اله؛ بابائی اقدم، فریدون؛ همتی، طاهر؛ رحیمی، مسعود. (۱۳۹۴). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌گیری با استفاده از مدل منطق فازی در محیط GIS (مطالعه موردی حوضه رودخانه خیاوچای مشکین شهر)، هیدروژئومورفولوژی، (۳)۲، ۱۲۱-۱۳۵. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_4264.html?lang=en
- کریمی فیروزجانی، محمد؛ عبدالهی کاکرودی، عطا‌اله؛ جلوخانی نیارکی، محمدرضا. (۱۳۹۶). تهیه نقشه خطر سیل مبتنی بر انرژی جریان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: رودخانه نکا، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، (۴)۵، ۱۵۹-۱۷۵. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78069.html?lang=en
- کریمی فیروزجایی، محمد؛ نیسانی سامانی، نجمه. (۱۳۹۷). پهنه‌بندی ریسک‌پذیری سیل با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر استدلال شهودی دمیستر- شافر (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکارود). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۱)۵۰، ۱۷۷-۱۹۴. Doi:10.22059/JPHGR.2018.229904.1007026
- گلشن، محمد؛ اسمعیلی عوری، اباذر؛ خسروی، خه‌بات. (۱۳۹۷). ارزیابی حساسیت به سیل حوضه آبخیز تالار با استفاده از مدل نسبت فراوانی احتمالاتی، مخاطرات محیط طبیعی، (۱۵)۷، ۱-۱۶. Doi: 10.22111/JNEH.2017.3120
- نوحانی، ابراهیم؛ دارابی، فریبا؛ معروفی نیا، ادريس؛ خسروی، خه‌بات. (۱۳۹۵). ارزیابی مدل آنتروپی شانون در تهیه نقشه حساسیت و احتمال به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز، مخاطرات محیط طبیعی، (۱۰)۵، ۹۹-۱۱۶. Doi: 10.22111/JNEH.2017.2958
- مسعودیان، محسن؛ فندرسکی، نیایش؛ قره‌گزلو، محمد. (۱۳۹۳). کاهش خسارت سیلاب شهری با استفاده از مدیریت غیرسازهای (مطالعه موردی: سیلاب نکا، ۱۳۷۸)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، (۱)۵، ۱-۱۴. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-754-fa.html>

- موسوی، سیدمحمد؛ روستائی، شهرام؛ رستمزاده، هاشم. (۱۳۹۷). ارزیابی منطقه‌ای مخاطره سیل در مقیاس زیرحوضه با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل منطق فازی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مرند)، اکوهیدرولوژی، ۵(۳)، ۸۲۹-۸۴۱. Doi: 829-841. 10.22059/IJE.2018.245661.775
- Arabameri, A., Rezaei, K., Cerdà, A., Conoscenti, C., Kalantari, Z., (2019), A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Science of the Total Environment*, 660, pp. 443-458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021>
- Das, S., (2020), Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100379. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100379>
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilija, I., Liu, J., Zhu, A. X., Chen, W., (2018), Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. *Science of the total environment*, 625, pp. 575-588. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.256>
- Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., Bahri, M., (2016), Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. *Environmental monitoring and assessment*, 188(12), pp. 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5665-9>
- Kim, T. H., Kim, B., Han, K. Y., (2019), Application of fuzzy TOPSIS to flood hazard mapping for levee failure. *Water*, 11(3), 592. <https://doi.org/10.3390/w11030592>
- Lee, M. J., Kang, J. E., Kim, G., (2015), Application of fuzzy combination operators to flood vulnerability assessments in Seoul, Korea. *Geocarto International*, 30(9), pp. 1052-1075. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1027290>
- Nandalal, H. K., Ratnayake, U. R., (2011), Flood risk analysis using fuzzy models. *Journal of Flood risk management*, 4(2), pp. 128-139. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01097.x>
- Rahmati, O., Haghizadeh, A., Stefanidis, S., (2016), Assessing the accuracy of GIS-based analytical hierarchy process for watershed prioritization; Gorganrood River Basin, Iran. *Water resources management*, 30(3), pp. 1131-1150. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1215-4>
- Razavi Termeh, S. V., Sadeghi-Niaraki, A., (2019), Preparation of flood susceptibility mapping using an ensemble of frequency ratio and adaptive neuro-fuzzy inference system models. *Earth Observation and Geomatics Engineering*, 3(1), pp. 64-77. Doi:10.22059/EOGE.2019.269239.1035
- Saha, A. K., Agrawal, S., (2020), Mapping and assessment of flood risk in Prayagraj district, India: a GIS and remote sensing study. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 5, pp.1-18. <https://doi.org/10.1007/s41204-020-00073-1>
- Sahana, M., Patel, P. P., (2019), A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River Basin in India. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), pp.1-27. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>
- Shafapour Tehrani, M., Kumar, L., Neamah Jebur, M., Shabani, F., (2019), Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Geomatics, Natural Hazards, and Risk*, 10(1), pp.79-101. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1506509>
- Swain, K. C., Singha, C., Nayak, L., (2020), Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>
- Tabarestani, E. S., Afzalimehr, H., (2021), Artificial neural network and multi-criteria decision-making models for flood simulation in GIS: Mazandaran Province, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp.1-19. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-01997-z>
- Vakhshoori, V., Zare, M., (2018), Is the ROC curve a reliable tool to compare the validity of landslide susceptibility maps? *Geomatics, Natural Hazards, and Risk*, 9(1), pp. 249-266. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1424043>.

References

References (in Persian)

- Arab Ameri, A., Pourghasemi, H., Shirani, K., (2017), Flood susceptibility zonation using new ensemble Bayesian-AHP methods (Case study: Neka Watershed, Mazandaran Province). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(2), 447-462. Doi:10.22059/IJE.2017.61481 [In Persian]
- Entezari, M., Jalilian, T., Darvishi Khatooni, J., (2020), Classification map of the sensitivity of flooding using the method of assessment frequency and weight of evidence in the Kermanshah Province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 6(4), pp.143-162. <http://jsaeh.khu.ac.ir/article-1-2707-en.html> [In Persian]
- Esmaili, R., Jokar Sarhangi, E., Roshan Neko, P., (2016), Determining the potential of flooding using TOPSIS method, case study Mazandaran province, Galandrud catchment. *Physical Geography Quarterly*, 9(31), pp.77-87. 20.1001.1.20085656.1395.9.31.5.7 [In Persian]
- Ghanavati, E., Babae Agdam, F., Hemmati, T., Rahimi, M., (2015), Potential Flooding Zonation Using Fuzzy Model in GIS, Case Study: Khiav Chai Basin (Meshkin Shahr). *Hydro geomorphology*, 2(3), pp.121-135. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_4264.html?lang=en [In Persian]
- Gholizadeh, A., Ghanavati, E., Afsharmanesh, H., Amanullahpour, H., (2018), Fuzzy Model Efficiency on Flooding Potential in the Basin of Zangmar. *Geographic Space*, 17(60), pp. 227-245. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-654-fa.html> [In Persian]
- Golshan, M., Esmali Ouri, A., Khosravi, K., (2018), Flood Susceptibility Assessments Using Frequency Ratio model in Talar Watershed. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15), pp.1-16. Doi: 10.22111/JNEH.2017.3120 [In Persian]
- Karimi Firoozjaei, M., Abdullah Kakroodi, A., Jolodar Niyaraki, M., (2018), Preparing a flood risk map based on the flow energy by using geographical information system Case study: Nekaroud River. *Quantitative Geomorphological Research*, 5(4), pp. 159-175. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78069.html?lang=en [In Persian]
- Karimi Firozjaei, M., Neysani Samany, N., (2018), Flood Risk Assessment Using Multi-Criteria Decision Making Based on Dempster-Shafer Intuitive Reasoning (Case Study: Nekaroud Basin). *Physical Geography Research Quarterly*, 50(1), pp. 177-194. Doi:10.22059/JPHGR.2018.229904.1007026 [In Persian]
- Masoudian, M., Fendereski, N., Gharahgezlou, M., (2014), Urban Flood Damage reduction using Non-Structural Management (Case Study: The Nekaroud River flood, 1999), 5(10), pp. 1-14. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-754-fa.html> [In Persian]
- Mousavi, S., Roostaie, S., Rostamzadeh, H., (2018), Regional Flood Hazard assessment at the Sub-Basin Scale Using Remote Sensing & Fuzzy logic. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(3), pp. Doi: 829-841. 10.22059/IJE.2018.245661.775 [In Persian]
- Nohani, E., Darabi, F., Maroofinia, E., Khosravi, K., (2017), Evaluation of Shannon entropy to flood probability and susceptibility mapping at Haraz catchment. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 5(10), pp.99-116. Doi: 10.22111/JNEH.2017.2958 [In Persian]
- Regional Water Company of Mazandaran, (2019), Report of floods in March and April 2019 in the rivers of Mazandaran province, *Journal 726*. [In Persian]
- Roostaie, S., Mosavi, R., Alizadehgorgi, G., (2017), Watershed flood zoning map preparation using CN and GIS/RS methods: A Case Study on Nekarood, *Quantitative Geomorphological Research*, 6(1), pp. 108-118. http://www.geomorphologyjournal.ir/article_78078.html [In Persian]
- Shaabani, B. A., Emadi, A., Fazloulou, R., (2017), Investigation the flooding potential of basins and determination flood producing areas (case study: Neka basin), *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), pp. 20-28. <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-754-fa.html> [In Persian]
- Sharifi Paichoon, M., Parnoon, F., (2018), Article Evaluation and spatial analysis of Floods in a river using Fuzzy Logic in geographic information system environment (Case Study: Qarasou River). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15), pp.17-30. Doi:10.22111/JNEH.2017.3203 [In Persian]

References (in English)

- Arabameri, A., Rezaei, K., Cerdà, A., Conoscenti, C., Kalantari, Z., (2019), A comparison of statistical methods and multi-criteria decision making to map flood hazard susceptibility in Northern Iran. *Science of the Total Environment*, 660, pp. 443-458. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.021>
- Das, S., (2020), Flood susceptibility mapping of the Western Ghat coastal belt using multi-source geospatial data and analytical hierarchy process (AHP). *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100379. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100379>
- Hong, H., Tsangaratos, P., Ilia, I., Liu, J., Zhu, A. X., Chen, W., (2018), Application of fuzzy weight of evidence and data mining techniques in construction of flood susceptibility map of Poyang County, China. *Science of the total environment*, 625, pp. 575-588. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.256>
- Khosravi, K., Pourghasemi, H. R., Chapi, K., Bahri, M., (2016), Flash flood susceptibility analysis and its mapping using different bivariate models in Iran: a comparison between Shannon's entropy, statistical index, and weighting factor models. *Environmental monitoring and assessment*, 188(12), pp. 1-21. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5665-9>

- Kim, T. H., Kim, B., Han, K. Y., (2019), Application of fuzzy TOPSIS to flood hazard mapping for levee failure. *Water*, 11(3), 592. <https://doi.org/10.3390/w11030592>
- Lee, M. J., Kang, J. E., Kim, G., (2015), Application of fuzzy combination operators to flood vulnerability assessments in Seoul, Korea. *Geocarto International*, 30(9), pp. 1052-1075. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1027290>
- Nandalal, H. K., Ratnayake, U. R., (2011), Flood risk analysis using fuzzy models. *Journal of Flood risk management*, 4(2), pp. 128-139. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2011.01097.x>
- Rahmati, O., Haghizadeh, A., Stefanidis, S., (2016), Assessing the accuracy of GIS-based analytical hierarchy process for watershed prioritization; Gorganrood River Basin, Iran. *Water resources management*, 30(3), pp. 1131-1150. <https://doi.org/10.1007/s11269-015-1215-4>
- Razavi Termeh, S. V., Sadeghi-Niaraki, A., (2019), Preparation of flood susceptibility mapping using an ensemble of frequency ratio and adaptive neuro-fuzzy inference system models. *Earth Observation and Geomatics Engineering*, 3(1), pp. 64-77. Doi:10.22059/EUGE.2019.269239.1035
- Saha, A. K., Agrawal, S., (2020), Mapping and assessment of flood risk in Prayagraj district, India: a GIS and remote sensing study. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 5, pp.1-18. <https://doi.org/10.1007/s41204-020-00073-1>
- Sahana, M., Patel, P. P., (2019), A comparison of frequency ratio and fuzzy logic models for flood susceptibility assessment of the lower Kosi River Basin in India. *Environmental Earth Sciences*, 78(10), pp.1-27. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8285-1>
- Shafapour Tehrani, M., Kumar, L., Neamah Jebur, M., Shabani, F., (2019), Evaluating the application of the statistical index method in flood susceptibility mapping and its comparison with frequency ratio and logistic regression methods. *Geomatics, Natural Hazards, and Risk*, 10(1), pp.79-101. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1506509>
- Swain, K. C., Singha, C., Nayak, L., (2020), Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(12), 720. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>
- Tabarestani, E. S., Afzalimehr, H., (2021), Artificial neural network and multi-criteria decision-making models for flood simulation in GIS: Mazandaran Province, Iran. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, pp.1-19. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-01997-z>
- Vakhshoori, V., Zare, M., (2018), Is the ROC curve a reliable tool to compare the validity of landslide susceptibility maps? *Geomatics, Natural Hazards, and Risk*, 9(1), pp. 249-266. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1424043>.