**مطالعات جغرافیایی مناطق خشک**

**دوره نهم، شماره سی و ششم، تابستان ۱۳۹۸**

**دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷**

**صص ۴۳-۳۲**

# تحلیل و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در مناطق خشک با استفاده از تحلیل‌های مکانی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز فرخی)

**عبدالمجید احمدی***، استادیار ژئومورفولوژی-دانشگاه بزرگمهر قائنات

## چکیده

در طول تاریخ، مخاطرات طبیعی به‌ویژه سیل و سیلاب یک از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بحران‌های محیطی بوده‌اند که همه‌ساله جان هزاران نفر را گرفته و خسارات فراوانی به جامعه‌ی انسانی و محیط زیست وارد می‌سازند. این پدیده گاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک اثرات بیش‌تری داشته و میزان خسارت را نیز افزایش داده است. تعیین پهنه‌بندی سیلاب، اولین و اساسی‌ترین اقدام در امر مدیریت سیلاب و تخمین خسارت وارده است. در همین راستا این پژوهش که از نوع کاربردی است، با هدف شناسایی و پهنه‌بندی سکونتگاه‌های در معرض خطر وقوع سیلاب در مناطق خشک به‌ویژه در حوضه‌ی آبریز فرخی گردآوری شده است. روش مورداستفاده بهره‌گیری از روش‌های هم‌زمان توصیفی-تحلیلی است با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (Gis) به شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و مخاطره‌آمیز پرداخته شده و معیارهای ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه‌ی اصلی، زمین‌شناسی، شیب، شبکه‌ی زهکشی و کاربری اراضی مدنظر قرارگرفته و نقشه‌های آن‌ها استخراج شده‌اند. نتایج مطالعه و تجزیه‌وتحلیل‌ها نشان داد که قسمت‌های مرکزی حوضه‌ی فرخی و نیز برخی از مناطق مرتفع و شیب‌دار غرب حوضه، بیش‌ترین خطر وقوع سیلاب را دارند. مراکز مسکونی ورزق، ورزگ، عباس‌آباد، گرگنج و برج محد در معرض خطر شدید بوده و نیاز به توجه کافی در زمینه‌ی جلوگیری از خطرات جانی و مالی را دارند. همچنین مراکز مسکونی فرخی، مهدی‌آباد و روستای خشک در پهنه‌های با خطر وقوع سیلاب کم و خیلی کم قرار گرفته است که پیشنهاد می‌شود ارزیابی‌های مدیریت بحران در مناطق موردنظر با توجه به شرایط ویژگی‌های محلی و نیز میزان بحران صورت پذیرد.

**کلمات کلیدی:** سیلاب، مناطق خشک، سیستم اطلاعات جغرافیایی، فازی، فرخی.

نویسنده‌ی مسئول: ۰۹۱۸۲۳۱۰۳۳۸

* Email: Majid.ahmadi@buqaen.ac.ir

**۱- مقدمه**

بلایا و مخاطرات محیطی از دیرباز به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین عوامل آسیب‌رسان -به انسان و جامعه- مطرح بوده‌اند(مرادی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۱). پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که بلایا و بحران‌ها به تنهایی تعیین‌کننده‌ی میزان خسارات نیستند، بلکه میزان آمادگی، مدیریت و برنامه‌ریزی و درنهایت، پاسخ مسئولان به بحران است که میزان خسارت‌های وارده را تعیین می‌کند(شکرپور، ۱۳۹۳: ۳۶). مطالعات نشان می‌دهد یکی از شاخص‌های مهم توسعه‌ی کشورها، میزان آمادگی آن‌ها در برابر انواع مختلف بلایا و مخاطرات طبیعی است و در برنامه‌های توسعه-ی اکثر کشورهای دنیا به‌ویژه جهان سوم توجه کم‌تری به پیش‌بینی و پهنه‌بندی مخاطرات شده است(محمدنیا و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲۱). غالباً مرسوم است که برنامه‌ریزان توسعه و بحران جدا از هم کار کنند و همین امر باعث ناهماهنگی در امر برنامه‌ریزی توسعه و بحران شده است. تنها تعداد کمی از کشورها که دارای برنامه‌ی جامع مدیریت مخاطرات و بلایا در برنامه‌ی توسعه‌ی خود هستند، به فاز آمادگی توجه نموده‌اند و بیش‌تر توجهات به فاز مقابله با بحران معطوف شده است(محمدنیا و همکاران، ۱۳۸۹: ۸۷). سیلاب ازجمله مخاطرات محیطی از نوع طبیعی است که به‌ویژه در نواحی کوهستانی و پرشیب با توجه به دخالت انسان و فعالیت‌های انسانی بدون برنامه‌ریزی افزایش قابل‌توجهی یافته است و مخاطرات (خسارات) ناشی از آن نیز گسترش بیش‌تری داشته است(فابری و چانگ، ۲۰۰۳: ۱۲)[1]. شواهد نشان می‌دهد که خسارت ناشی از سیل بیش از سایر سوانح طبیعی است و منشأ بیش از نیمی از بلایای طبیعی آب است(غیور، ۱۳۷۱: ۲).

کوثر (۱۳۷۴) به صدها مورد سیلاب که در تاریخ ایران رخ داده است، اشاره می‌کند. ازجمله موارد مهم این سیل‌های مخرب تاریخ ایران می‌توان به سیل (۱۶۶۸) شیراز اشاره کرد که یک‌سوم شهر را ویران کرد. همچنین سیل (۱۸۵۱) قزوین که ۳۰۰۰ خانه توسط این پدیده خراب شد و درنهایت، سیلاب (۱۹۳۴) در شهر تبریز که بخش‌های زیادی از شهر را ویران نمود(طاهری و بزرگ‌زاده، ۱۳۷۵: ۱۸۷). هر اقدامی در محدوده‌ی مسیل‌ها و رودخانه‌ها ازجمله طراحی مهار سیلاب نیاز به تعیین میزان سیل‌خیزی منطقه با استفاده از روش‌ها و مدل‌های مختلف دارد که بدون پهنه‌بندی امکان‌پذیر نیست. تعیین پهنه‌بندی سیلاب، اولین و اساسی‌ترین اقدام در امر مدیریت سیلاب و تخمین خسارت وارده است(رستمی، ۱۳۹۵: ۱۱). در همین راستا با توجه به شرایط اقلیمی و توپوگرافیکی ویژه‌ی کشورمان آشکار است که همیشه درگیر این پدیده بوده؛ مخصوصاً در مناطق خشک و نیمه‌خشک این امر دارای ابعاد گسترده-تری است و نیاز به مطالعه و بررسی در این زمینه امری ضروری و لازم به نظر می‌رسد؛ بنابراین این پژوهش با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (Gis) به شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و مخاطره‌آمیز در حوضه‌ی آبریز فرخی واقع در شرق کشور پرداخته و هدف اصلی آن، شناسایی سکونتگاه‌های در معرض خطر وقوع سیلاب و پهنه‌بندی آن‌هاست. ناگفته نماند که در زمینه‌ی موضوع موردمطالعه، تحقیقات متعددی توسط پژوهشگران داخلی و خارجی صورت گرفته که به برخی از آن‌ها در ادامه اشاره شده است.

ثروتی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز سراب دره‌شهر پرداخته و برای برآورد رواناب از روش شماره‌ی منحنی (SN) سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS) استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که بر اساس چارک‌های اول، میانه و سوم، مقادیر ارتفاع رواناب حوضه‌ی موردمطالعه به چهار طبقه از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی تقسیم شد که بر اساس آن ۱/۹ کیلومترمربع دارای پتانسیل سیل‌خیزی بسیار بالا،۷/ ۸ کیلومترمربع پتانسیل سیل‌خیزی بالا،۱۳ کیلومترمربع با پتانسیل متوسط و ۶/۶ کیلومترمربع نیز دارای پتانسیل کم عنوان گردیده است. عابدینی و فتحی (۱۳۹۴) در پژوهشی دیگر پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با استفاده از فرآیند

1- Faberi & chang

تحلیل شبکه در حوضه‌ی آبخیز خیاوچای را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که بیش از ۱۵ درصد از مساحت حوضه‌ی تحت تأثیر خطر وقوع سیلاب با پتانسیل بسیار بالا قرار دارد و به‌طور عمده در پایین‌دست حوضه واقع شده است. این سطوح اغلب شیب کم‌تر از ۳۵ درصد، با پوشش گیاهی کم، نواحی پست و حاشیه‌ی رودخانه هستند(نای و همکاران،2011: ۱۷).[۲] برای برآورد تأثیرات تغییرات کاربری اراضی بر روی رژیم هیدرولوژیکی حوضه‌ی سن‌پدرو از رویکرد یکپارچه‌ی مدل‌سازی هیدرولوژیکی و تجزیه‌وتحلیل رگرسیون چندگانه استفاده نمودند و به این نتیجه رسیدند که کاربری شهر و تغییر کاربری اراضی مخصوصاً کاهش مرتع و گیاهان ژنتیکی منطقه باعث افزایش رواناب و کاهش نفوذ شده است؛ همچنین تبخیر و تعرق، تأثیر منفی بر منابع آب در بالادست حوضه گذاشته است(کوک و همکاران،2015: ۱۹)[۳] نقش خصوصیات ژئومورفولوژی حوضه‌ی آبریز بر روی سیل در ایالت ایندیانا ایالات‌متحده را با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی بررسی و بیان کردند که روش مورداستفاده در مطالعه، نشان‌دهنده‌ی شدت سیلاب بوده و این شدت بالا متأثر از ویژگی‌های ژئومورفولوژی بوده و درنهایت، جاری شدن سیل بیش‌تر به‌واسطه‌ی پارامترهای طول حوضه است(مایر و همکاران،2009: ۲)[۴] در پژوهشی با استفاده از مدل‌های چندمعیاره به تهیه‌ی نقشه‌ی ریسک سیل‌خیزی برای رودخانه مولد آلمان اقدام نمودند. آن‌ها در این مطالعه از دو قانون تصمیم‌گیری چندمعیاره و یک رویکرد اضافه وزن‌دار برای ارزیابی خطر سیل استفاده کرده و پهنه‌های مختلف را از طریق نقشه‌هایی ارائه کردند.

(کنبل و همکاران، ۲۰۰۵: ۵)[۵] مدل منطقه‌ای از سیلاب در حوضه‌ی رودخانه سن آنتونی واقع در ایالت تگزاس در کشور آمریکا را ارائه دادند. در این مدل منطقه‌ای از HMS-HEC برای تبدیل بارش اضافی به رواناب و از نرم‌افزار RAS-HEC برای مدل‌سازی جریان متغیر در مسیر رودخانه استفاده شده است. نتایج نشان داد که این مدل‌سازی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای پیش‌بینی هیدرولوژیکی سیل در مقیاس منطقه‌ای مناسب باشد.

(ارپیتا و همکاران،2016: ۳)[۶] پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی و رگرسیون لجستیک در جامائیکا به این نتیجه رسیدند که روش‌های آماری می‌توان به‌راحتی با در دسترس بودن داده‌های با کیفیت بالا تکرار شود. همچنین روش مورداستفاده در این مطالعه می‌تواند برای ارزیابی خطر سیل در کشورهای با ویژگی‌ها، مناظر و شرایط آب‌وهوایی مشابه مانند دیگر جزایر دریای کارائیب و اقیانوس آرام جزیره‌ی کوچک مورداستفاده قرار بگیرد.

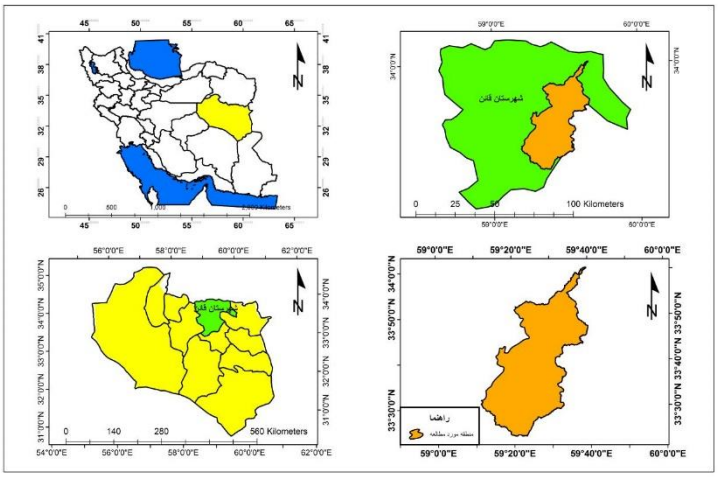
هدف اصلی این پژوهش، شناسایی پهنه‌های سیل‌خیز و مخاطره‌آمیز در حوضه‌ی آبریز فرخی واقع در شرق کشور است و هدف فرعی آن، کاهش آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب و نیز بالا بردن سطح آمادگی و مدیریت بحران منطقه است. کمبود مطالعات و بررسی‌های علمی در این منطقه و همچنین پایین بودن سطح آگاهی ساکنین از پهنه‌های پرخطر سیلابی همراه با عدم برنامه‌ریزی و مدیریت مناسب موجب انجام این پژوهش شده و می‌توان به‌عنوان یک نوآوری در منطقه‌ی موردمطالعه به این پژوهش اشاره نمود.

## ۲- منطقه‌ی موردمطالعه

محدوده‌ی موردمطالعه‌ی این پژوهش در قسمت شرقی ایران و شرق شهرستان قاین در استان خراسان جنوبی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه زیرمجموعه‌ی حوضه‌ی بزرگ‌تر رودخانه‌های شرقی و به‌ویژه نمکزار خاف و دق پترگان است که از نظر تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژیکی ایران این حوضه بخشی از آبریزهای شرقی بوده و منتهی‌الیه شبکه‌ی زهکشی آب‌های سطحی آن شوره‌زارهای واقع در مرز ایران و افغانستان می‌باشند. این حوضه از شمال به

2- Naye et al
3- Kok et al
4- Mayer et al
5- Kenbel et al
6- arpita et al

حوضه‌ی قره‌قوم، از مغرب به حوضه‌ی کویر مرکزی، از جنوب غربی به حوضه‌ی کویر لوت و از جنوب به حوضه‌ی هیرمند محدود است. دارای مختصات جغرافیایی ′۱۱ °۵۹ تا ′۴۰ °۵۹ طول شرقی و ′۱۰ °۳۳ تا ′۰۳ °۳۴ درجه عرض شمالی بوده و حدود ۲۵ درصد آن را مناطق کوهستانی و ۷۵ درصد آن را دشت‌ها و کوهپایه‌ها و شوره‌زارها تشکیل می‌دهند. این حوضه از نظر پراکنش دمایی و بارشی سالانه شرایط نامساعدی دارد. میانگین دمای سالانه‌ی آن همواره بالا بوده و حدود ۲۵ درجه است که تبخیر چندین برابری و ساعت آفتابی بالا باعث شده است در رده‌ی مناطق خشک قرار بگیرد. ازنظر بارشی نیز قسمت‌های شرقی حوضه دارای بارشی کم‌تر از قسمت‌های غربی حوضه است. میانگین کل بارش این حوضه زیر ۱۵۰ میلی‌متر در سال است. در برخی از نقاط مرکزی و بخش‌های غرب و جنوب غربی حوضه، پوشش گیاهی متراکم و فشرده‌ای وجود داشته و حدود ۲۰ سکونتگاه روستایی در این محدوده قرار دارد (شکل ۱).




شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی موردمطالعه

## ۳- مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر از نوع کاربردی بوده و با استفاده از روش توصیفی-تحلیلی با هدف تحلیل و پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب در مناطق خشک با استفاده از تحلیل‌های مکان (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز فرخی) گردآوری شده است. در این پژوهش، بهره‌گیری از تکنیک بررسی میدانی و نرم‌افزارهای تحلیلی همچون GIS به‌عنوان روش مکمل بررسی‌های توصیفی بوده و نهایتاً روش فازی تکمیل‌کننده‌ی تجزیه‌وتحلیل‌های لازم و ارائه‌ی نتایج نهایی بوده است. مراحل انجام کار نیز بدین شرح است:

در مرحله‌ی اول تمامی اطلاعات توصیفی با استفاده از منابع کتابخانه و نتایج پژوهش‌های علمی متخصصان امر و همچنین اسناد و مدارک جمع‌آوری گردید.

در مرحله‌ی دوم نقشه‌ها و داده‌های پایه همچون آمار و اطلاعات ایستگاه‌های اقلیمی و نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی از ادارات و سازمان‌های ذی‌ربط تهیه شد.

در مرحله‌ی بعدی معیارها و شاخص‌های لازم جهت پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از نظر متخصصان امر تدوین و نقشه‌های خروجی لازم این معیارها با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. درنهایت با تلفیق معیارها وزن‌دهی لازم در مدل فازی، نقشه‌ی پهنه‌بندی سیلاب حوضه تهیه گردیده است.

**۳-۱- مدل فازی:** تئوری مجموعه‌های فازی، اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی عسگرزاده پایه‌گذاری شده است. منطق فازی در برابر منطق کلاسیک مطرح گردید و ابزاری توانمند جهت حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیچیده‌ای است که درک آن‌ها مشکل و یا با مسائلی که وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری هستند، به شمار می‌آید. دستگاه‌های فازی را می‌توان به‌خوبی برای مدل‌سازی دو نوع اصلی عدم قطعیت در پدیده‌های موجود در

جهان به کار برد. نوع اول، عدم قطعیت ناشی از ضعف دانش و ابزار بشری در شناخت پیچیدگی‌های یک پدیده است. نوع دوم، عدم قطعیت مربوط به عدم صراحت و عدم شفافیت به یک یا چند ویژگی خاص است(باکویی، ۱۳۹۶: ۱۱).

در منطق فازی، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه‌ی یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود. درجه‌ی عضویت، معمولاً با یک تابع عضویت بیان می‌شود که شکل تابع می‌تواند به‌صورت خطی، غیرخطی، پیوسته و یا ناپیوسته باشد(اکبری، ۱۳۹۷: ۸). در مدل فازی به هر یک از پیکسل‌ها در هر نقشه‌ی فاکتور، مقداری بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود که بیانگر میزان مناسب بودن محل پیکسل از دیدگاه معیار مربوط برای هدف موردنظر (مثلاً پهنه‌بندی سیلاب) است.

**۳-۲- عملگر اشتراک فازی:** کاربرد عملیاتی فرمول‌های زیر در پژوهش حاضر انتخاب معیارهای ارتفاع، بارش، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه‌ی اصلی، زمین‌شناسی، شیب، شبکه‌ی زهکشی و کاربری اراضی در مرحله‌ی اول است. سپس مقایسه‌های زوجی آن‌ها با یکدیگر و درنهایت، تهیه‌ی درجه‌ی اهمیت آن‌ها در راستای پهنه‌بندی نهایی سیلاب در منطقه‌ی موردمطالعه. عملگر اشتراک فازی به‌صورت رابطه‌ای (۱) بیان می‌شود.

$$\mu_{combinatia} = MIN(\mu_A , \mu_B , \mu_C , \dots)$$

رابطه‌ی ۱

در رابطه‌ی (۱) $(\mu_A , \mu_B , \mu_C)$ بیانگر مقادیر عضویت فازی پیکسل‌های موجود در یک موقعیت مشخص بر روی نقشه‌های فاکتور مختلف می‌باشند که تمامی معیارها و شاخص‌ها را به‌صورت حداقل‌ها انتخاب می‌کند.

**۳-۳- عملگر اجتماع فازی** که به‌صورت رابطه‌ی (۲) تعریف می‌شود:

$$\mu_{combinatia} = MAX(\mu_A , \mu_B , \mu_C , \dots)$$

رابطه‌ی ۲

در این رابطه $\mu_A , \mu_B , \mu_C$ مشابه رابطه‌ی (۱) است با این تفاوت که حداکثرها مطرح می‌شوند.

**۳-۴- عملگر ضرب فازی** که به‌صورت رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شود:

$$\mu_{combinatia} = \prod_{i=1}^{n} \mu_i$$

رابطه‌ی ۳

در این رابطه $\mu_i$ بیانگر مقدار عضویت در نقشه‌ی فاکتور i ام است. با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه‌ی خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می‌کند؛ بنابراین ترکیب عوامل اثر کاهشی خواهد داشت.

**۳-۵- عملگر جمع فازی** که با استفاده از رابطه‌ی (۴) تعریف می‌شود:

$$\mu_{combinatia} = 1 - (\prod_{i=1}^{n} (1 - \mu_i))$$

رابطه‌ی ۴

در این رابطه $\mu_i$ بیانگر مقدار عضویت در نقشه‌ی فاکتور i ام است. با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه‌ی خروجی بزرگ شده و به سمت یک میل می‌کند که درنتیجه ترکیب عوامل اثر افزایشی خواهد داشت.

**۳-۶- عملگر فازی گاما** که از حاصل‌ضرب عملگرهای ضرب و جمع فازی به‌صورت رابطه‌ی (۵) بیان می‌شود.

$$\mu_{combinatia} = (Fuzzy\ A1g\ ebric\ sum)^{1} \times (Fuzzy\ A1g\ ebric\ Pr\ oduct)^{1-y}$$

رابطه‌ی ۵

در رابطه‌ی (۵) مقدار y فاصله عددی بین صفر تا یک است. انتخاب صحیح و آگاهانه y بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل‌انعطاف میان گرایشات کاهشی ضرب فازی و گرایشات افزایشی فازی است.

تئوری فازی قدرت انعطاف‌پذیری بالایی را دارد. برای اینکه در مقایسه با روش‌های باینری (دارای دو ارزش صفر و یک) منطق فازی اجازه می‌دهد یک پیکسل بر اساس درجه‌ی عضویت غیر صفر به چندین کلاس تعلق داشته باشد(باکویی، ۱۳۹۶: ۲۸)؛ بنابراین کاربرد اساسی این فرمول‌ها در انتخاب معیارها و سپس ارزش‌گذاری آن‌ها و میزان

اهمیت آن‌ها در مقایسه‌های دوبه‌دو همچنین چندتایی باهم است که درنهایت می‌توان ارزش‌گذاری لازم را در زمینه‌ی معیارها و شاخص‌های موردنظر به ما ارائه داده و به ترتیب اهمیت رتبه‌بندی کند.

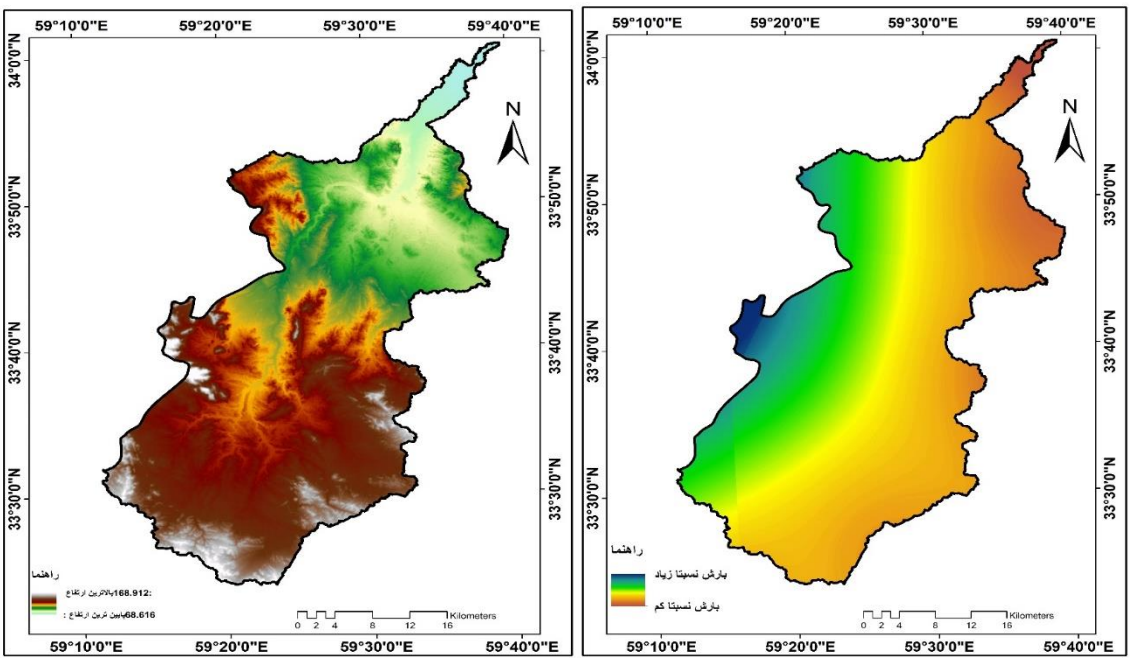
## ۴- بحث و نتایج

بررسی‌ها و مطالعات اولیه نشان می‌دهد که آنچه در پهنه‌بندی سیلاب یک منطقه مهم است و باید به آن پرداخته شود، معیارها و شاخص‌هایی هستند که در وقوع سیلاب می‌توانند نقشی اساسی و قابل‌توجه داشته باشند. در همین راستا ابتدا باید این معیارهای لازم و ضروری شناسایی شوند و سپس اقدام به ارزش‌گذاری تک‌تک معیارها و شاخص‌ها کرده و درنهایت خروجی شناسایی‌شده پهنه‌بندی شود؛ بنابراین ابتدا معیارهای لازم برای این امر استخراج و نقشه‌های تدوین‌شده‌ی آن‌ها به‌صورت خروجی نهایی ارائه شده است که در ادامه این معیارها توضیح داده می‌شوند.

### ۴-۱- معیار ارتفاع و بارش

ارتفاع از عوامل مهم در خطر وقوع سیلاب و میزان خسارت آن است. زمانی که ارتفاع کاهش یابد معمولاً میزان نفوذ آب به زمین بیش‌تر می‌شود و زمانی که ارتفاع زیاد شود نفوذ کم شده و رواناب سریع‌تر شکل می‌گیرد؛ هرچند در این زمینه تنها با یک معیار نمی‌شود تعمیم کلی ارائه داد. در همین راستا شکل(۲) که نقشه‌ی ارتفاع منطقه در حوضه‌ی موردمطالعه است که نشان می‌دهد، نقاط مرکزی حوضه و شمال شرق حوضه دارای پایین‌ترین ارتفاع و همچنین حواشی غرب، جنوب و جنوب غرب حوضه دارای بیش‌ترین ارتفاع هستند.

یکی از عوامل مهم دیگر که در وقوع مخاطره‌ی سیل و سیلاب بسیار تأثیرگذار بوده عنصر بارش است. میزان بارش، نوع بارش و حتی مدت بارش در شدت و ضعف سیلاب‌ها مؤثرند. شکل(۳) نقشه‌ی بارش منطقه در محدوده‌ی موردمطالعه را نشان می‌دهد و بیانگر این است که در این حوضه، بخش غربی دارای بیش‌ترین میزان بارش را به خود اختصاص داده است و بخش‌های شرق و جنوب شرق حوزه دارای کم‌ترین میزان بارش است.

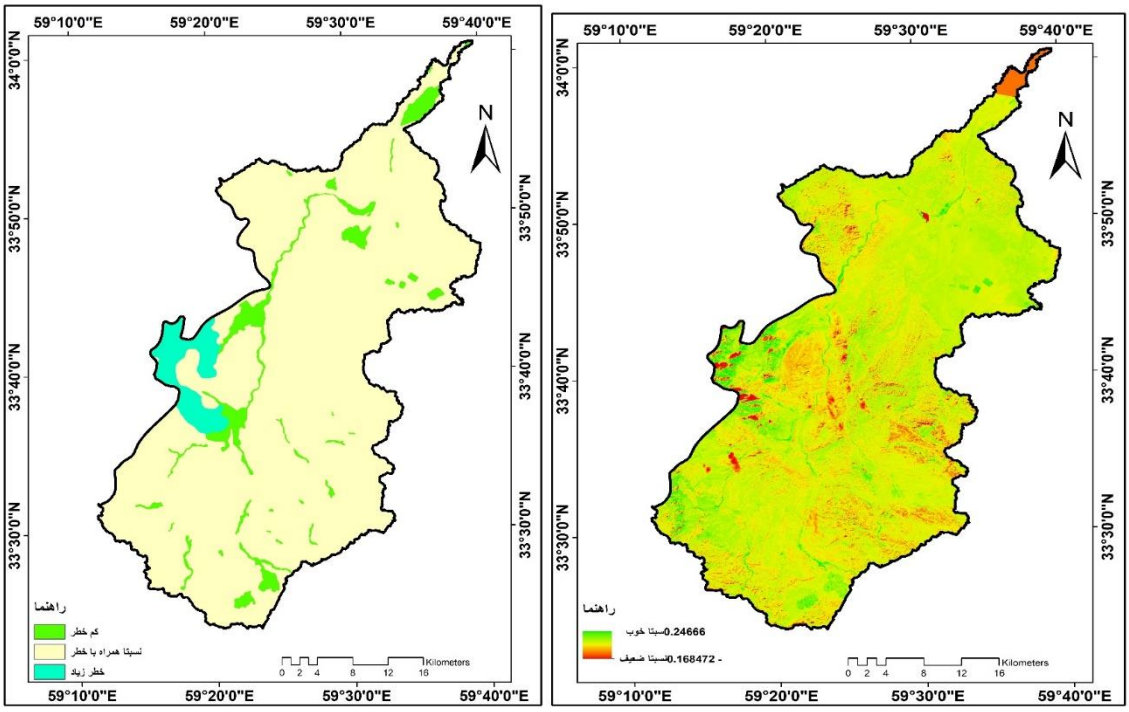



شکل ۲: نقشه‌ی بارش منطقه‌ی موردمطالعه شکل ۳: نقشه‌ی ارتفاع منطقه‌ی موردمطالعه

## ۴-۲- معیار پوشش گیاهی و کاربری اراضی

در میان شاخص‌ها و معیارهای مؤثر در وقوع خطر سیلاب، پوشش گیاهی نیز یکی از معیارهای اصلی و مهم در نرخ کاهشی یا افزایشی رواناب و سیلاب است. به‌طورکلی، پوشش گیاهی متراکم و زیاد موجب نفوذ آب به زمین و عدم پوشش گیاهی منجر به ایجاد رواناب، وقوع سیلاب و کاهش نفوذ آب به زمین می‌شود. با توجه به شکل (۴) در منطقه‌ی موردمطالعه مشاهده می‌شود که در برخی از نقاط مرکزی و بخش‌های غرب و جنوب غرب حوضه، پوشش گیاهی متراکم و فشرده‌ای وجود دارد که این امر میزان نفوذ آب در این محدوده‌ها را می‌تواند افزایش دهد و کاهش شکل‌گیری رواناب را در پی داشته باشد. در حواشی شمالی حوضه، پوشش گیاهی ضعیف بوده و به‌تبع آن میزان نفوذ کم و باعث تشدید خطر وقوع سیلاب در این محدوده از منطقه‌ی موردمطالعه می‌شود.

ازآنجاکه با مشاهده‌ی پدیده‌های سطحی و تا حدودی تأثیرگذاری انسان بر روی پدیده‌هایی طبیعی مانند نفوذ آب به درون زمین از طریق کشاورزی و آبیاری زمین، می‌توان به شرایط زیرسطحی مانند وجود آب در لایه‌های زیرین سطح زمین پی برد و همچنین تغییرات کاربری را در افزایش یا کاهش خطر وقوع سیلاب به دست آورد؛ بنابراین با بررسی و مقایسه‌ی نحوه‌ی استفاده از زمین می‌توان نقاط دارای خطر زیاد وقوع سیلاب را با استفاده از نوع کاربری اراضی شناسایی کرد. با توجه به شکل (۵) در این حوضه می‌توان گفت بخش‌های ابتدایی (سرشاخه‌ها) و ضلع جنوب غرب حوضه که دارای کاربری باغات و زمین‌های کشاورزی می‌باشند، به دلیل ساخت و بافت خاک همچنین عملیات شخم و... مناسب‌ترین محل برای نفوذپذیری آب و کاهش جریان رواناب و سیلاب‌هاست. نقاط پراکنده‌ای از بخش مرکزی حوضه که کاربری مناطق مسکونی را دارا هستند، به دلیل آسفالت بودن و نوع مصالح به لحاظ نفوذپذیری بسیار نامناسب‌اند و متأسفانه در معرض وقوع سیلاب نیز می‌باشند. البته سطوح آسفالته و مسکونی با توجه به جمع‌آوری سریع‌تر رواناب‌ها و عدم نفوذپذیری باعث تشدید خطر وقوع سیلاب در منطقه‌ی موردنظر می‌شوند.

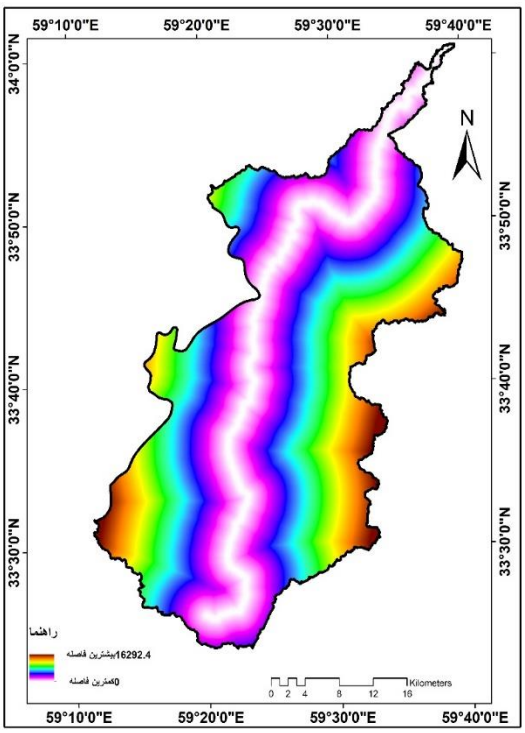



شکل ۴: نقشه‌ی پوشش گیاهی منطقه‌ی موردمطالعه شکل ۵: نقشه‌ی کاربری اراضی منطقه‌ی موردمطالعه

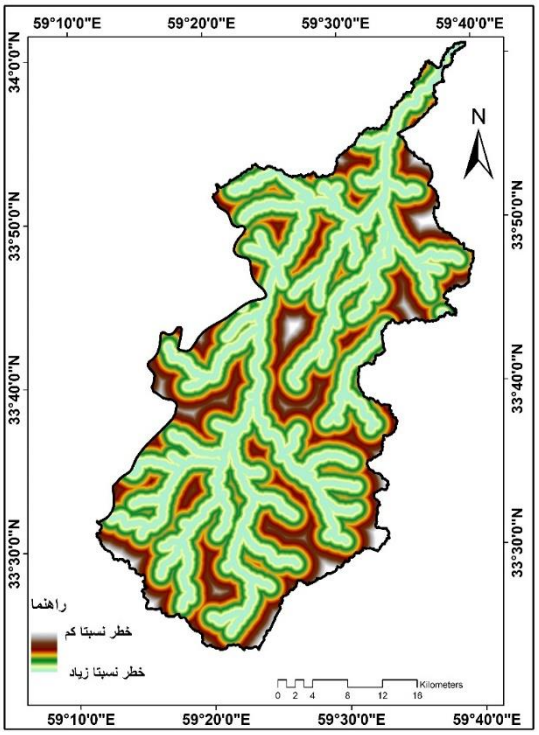
### ۴-۳- معیار فاصله از رودخانه‌ی اصلی و شبکه‌ی زهکشی

همیشه فاصله از رودخانه‌ها و جریانات روانابی مورد تأکید کارشناسان و مدیران به‌ویژه مدیریت بحران مخاطرات بوده است و این نشان می‌دهد که به‌عنوان یک معیار اساسی در کاهش خسارات جانی و مالی در زمان وقوع سیلاب موردتوجه است. رودخانه‌ها به‌ویژه رودخانه‌های اصلی به علت طغیان و تخریب‌های زیادی که در زمان سیلابی شدن به همراه دارند، نسبت قابل‌توجهی از پدیده‌ی سیل را به خود اختصاص داده‌اند. برآوردها نشان می‌دهد بسیاری از زیان‌های مالی و جانی در اثر عدم رعایت حریم و بستر رودخانه‌ی اصلی در حوضه‌ی آبریز است. در حوضه‌ی آبریز فرخی نیز که در این مطالعه موردبررسی قرار گرفته است، مشاهده می‌شود (شکل ۷) که رودخانه‌ی اصلی در مرکز حوضه قرار گرفته؛ بنابراین فاصله از حریم رودخانه به‌نوعی در این حوضه باید به‌طور مساوی از هر دو طرف شرقی و غربی آن رعایت شود. البته ناگفته نماند علائم هشداردهنده در حریم این رودخانه رعایت نشده است.

در حوضه‌های آبریز وجود شبکه‌ی زهکشی و تراکم آن وابستگی مستقیم با عامل توپوگرافی و پستی‌وبلندی دارد. شبکه‌ی زهکشی باعث انتقال آب از سرشاخه‌های حوضه به نقطه تمرکز می‌شود و در پدیده‌ی وقوع سیلاب مؤثر است؛ به‌ویژه در زمان وقوع سیل این پدیده نمود بیش‌تری دارد. شکل (۶) شبکه‌ی زهکشی در منطقه‌ی موردمطالعه را نشان می‌دهد. شکل فوق نشان می‌دهد تقریباً تمامی سطح حوضه به دلیل ارتفاع و شیب و همچنین نوع توپوگرافی دارای شبکه‌ی زهکشی صفحه‌ای و شاخه-درختی است که این امر می‌تواند خطر وقوع سیلاب در کل حوضه را به‌صورت دشتی و صفحه‌ای نمایان سازد. همچنین فاصله از مسیرهای شبکه‌ی زهکشی خطر سیلاب را کاهش می‌دهد؛ زیرا شبکه‌ی زهکشی محل اصلی تجمع آب است.




شکل ۶: نقشه‌ی شبکه‌ی زهکشی منطقه‌ی موردمطالعه



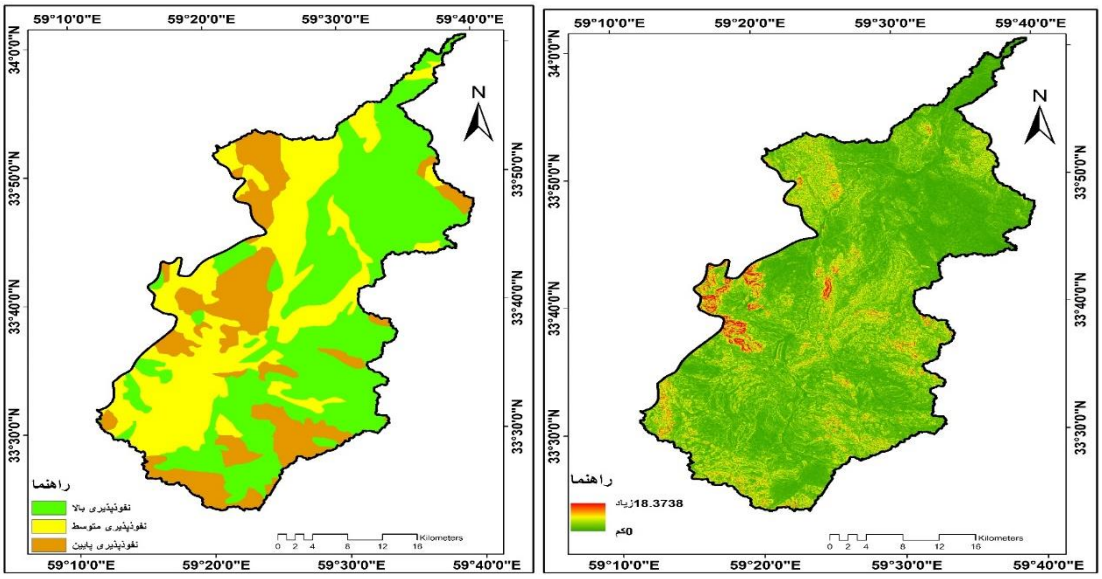

شکل ۷: نقشه‌ی فاصله از رودخانه‌ی اصلی منطقه‌ی موردمطالعه

### ۴-۴- معیار زمین‌شناسی و شیب

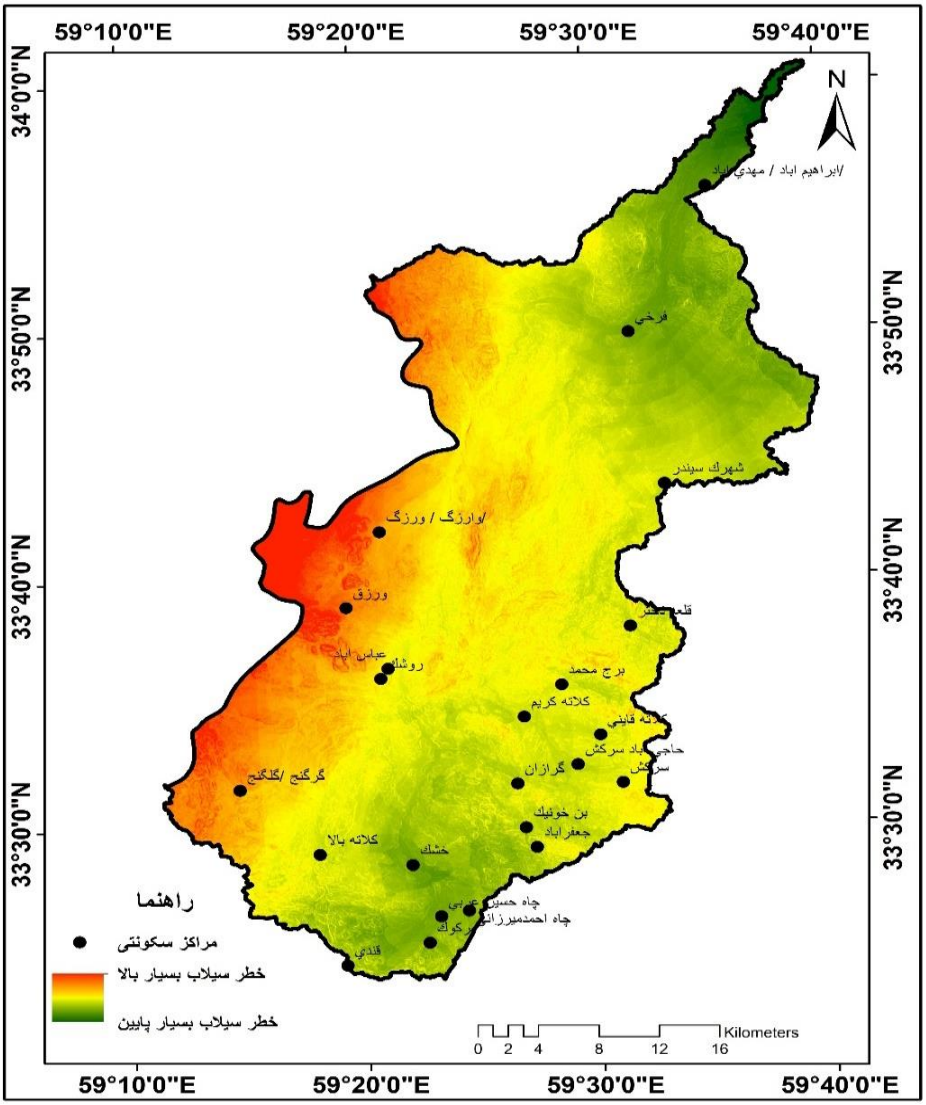
ازآنجاکه نوع و جنس سازند زمین‌شناسی و سنگ‌ها تأثیر بالایی در نفوذپذیری دارند، شناخت و بررسی آن‌ها برای دست‌یابی به نقاط دارای خطر وقوع سیلاب ضروری و اهمیت بسیار بالایی دارد. با توجه به بررسی‌های اولیه در زمینه‌ی

سازندها و ساختار زمین‌شناسی منطقه‌ی موردمطالعه می‌توان گفت که سازندهای جوان کواترنری شامل رسوبات رودخانه‌ای، ماسه‌سنگ و کنگلومرا برای نفوذ آب مناسب بوده و باعث کاهش خطر وقوع سیلاب و رواناب‌های سطحی می‌شوند؛ اما وجود سازندهای توده‌ای و آذرین شامل آندزیت‌ها برای نفوذ آب مناسب نیستند و درنتیجه این سازندها در منطقه‌ی موردمطالعه سبب افزایش خطر وقوع سیلاب می‌شود. شکل (۸) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی موردمطالعه را نشان می‌دهد و حاوی این نکات است که قسمت‌های غربی و شمال غربی آن‌که با رنگ سبز نشان داده شده‌اند، دارای نفوذپذیری بالا بوده و این امر می‌تواند در کاهش وقوع مخاطره‌ی سیلاب در این بخش‌ها مؤثر باشد؛ اما متأسفانه باید گفت بخش‌های شرقی و جنوب غربی به دلیل جنس سازندها از نفوذپذیری بسیار پایینی برخوردار هستند و این امر می‌تواند در افزایش میزان رواناب و درنتیجه وقوع سیلاب در این دو محدوده بسیار مؤثر باشد. البته باید عنوان کرد که دو بخش فوق‌الذکر از نظر میزان نفوذپذیری در این حوضه شامل سازندهای جوان کواترنری و سازندهای توده‌ای و آذرین می‌باشند که یکی میزان نفوذ را بالا برده است و دیگری آن را کاهش داده است.

شیب از فاکتورهای مؤثر در وقوع سیلاب بوده و در خطرات ناشی از آن مؤثر است. همچنین شیب، نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری دارد. زمانی که شیب در سطح افزایش می‌یابد، معمولاً شرایط برای وقوع سیلاب مساعدتر می‌شود؛ چون این امر باعث کاهش ذخیره‌ی آب و درنتیجه ایجاد رواناب‌های با سرعت‌بالا و سیلاب‌های با شدت و قدرت تخریب بالا می‌شود. شکل (۹) شیب حوضه‌ی آبریز فرخی را نشان می‌دهد که در این محدوده به نسبت مساحت شیب خیلی بالا و پرتگاهی معمولاً وجود ندارد؛ به‌جز قسمت غربی آن‌که به‌صورت رنگ قرمز نشان داده شده است.




شکل ۹: نقشه‌ی شیب منطقه‌ی موردمطالعه شکل ۸: نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی موردمطالعه




شکل ۱۰: نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی مناطق در معرض خطر سیلاب حوضه‌ی آبریز فرخی

## ۵- نتیجه‌گیری

همان‌طور که در بخش‌های قبلی توضیح داده شد، در این پژوهش ابتدا مطالعات میدانی و بررسی‌های توصیفی صورت گرفته و سپس انتخاب و تعیین مناسب‌ترین معیارها در دستور کار قرار داده شد و برای هرکدام از معیارها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نقشه‌ی لازم استخراج گردید. سپس تجزیه‌وتحلیل‌های لازم همچون وزن‌دهی و مقایسات زوجی، ارزش‌گذاری و تعیین میزان اهمیت شاخص‌ها در مدل فازی صورت پذیرفت و سرانجام نقشه‌ی نهایی پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه‌ی آبریز فرخی تهیه شد که در شکل (۱۰) قابل‌مشاهده است.

این نقشه (شکل ۱۰) و مطالعات تکمیلی نشان می‌دهند که قسمت‌های مرکزی حوضه و همچنین مناطق بالادست و مرتفع‌تر با شیب زیاد، بیش‌ترین خطر وقوع سیلاب را دارند؛ نکته‌ای که در مطالعات امیراحمدی (۱۳۸۸) و قنواتی (۱۳۹۰) در سال‌های اخیر موردبررسی و تأیید قرار گرفته است. بررسی‌های میدانی نیز در این منطقه نشان داد که محل تلاقی رودهای این حوضه به دلیل شیب زیاد و جنس زمین، همچنین عدم وجود پوشش گیاهی جزء مستعدترین نقاط از نظر سیل‌خیزی هستند که این امر در نقشه به‌وضوح مشاهده می‌شود و منطبق بر قسمت‌های شرقی حوضه است. این امر نیز با نتایج مطالعات ثروتی و همکاران (۱۳۹۳)، فرجزاده و همکاران (۱۳۹۵) و عابدینی و همکاران

(۱۳۹۹) که شیب و جنس زمین را همراه با تلاقی رودها به‌عنوان شاخص‌های مؤثر در سیل‌خیزی مناطق موردمطالعه مطرح کرده بودند، مطابقت دارد. درنهایت اینکه نتایج این پژوهش و تلفیق آن با مشاهدات میدانی توسط نگارندگان نشان داد که مراکز مسکونی ورزق، ورزگ، عباس‌آباد، گرگنج و برج محد در محدوده‌ی موردمطالعه در معرض خطر شدید بوده و نیازمند به توجه کافی در زمینه‌ی جلوگیری از خطرات جانی و مالی را می‌باشند. این امر نیز در پژوهش‌های (زلناکووا[۷] (۲۰۱۷)؛ حسن‌پور (۲۰۱۸)، راد (۲۰۱۸) و پارهی (۲۰۱۸) که بیش‌تر تأکید بر برنامه‌ریزی و توجه کافی به مناطق مسکونی به‌خصوص بخش خسارات آن را در مطالعات خود داشته‌اند، نیز تطابق داشت. همچنین مراکز مسکونی فرخی، مهدی‌آباد و خشک در پهنه‌های با خطر وقوع سیلاب کم و خیلی کم قرار گرفته‌اند. قسمت‌های شمال شرقی و جنوب شرقی حوضه نواحی‌ای هستند که از نظر مخاطرات سیل وقوع سیلاب با توجه به پارامترهای بررسی‌شده و مشاهدات میدانی غیرمستعد بوده و معمولاً در این مناطق خطر وقوع سیلاب سطح بسیار پایینی را به خود اختصاص داده است که در مطالعات لیو[۸] (۲۰۱۹) و آمیس[۹] (۲۰۰۹) عکس این قضایا با توجه به پارامترهای مشترک نتیجه شده است؛ بنابراین با توجه به جمیع موارد در این محدوده پیشنهاد می‌شود در قسمت‌های شرقی و مرکزی این حوضه به‌ویژه نواحی ورزق و ورزگ اقدامات حفاظتی و مدیریتی بیش‌تری صورت پذیرد که در مواجه با سیلاب بتوان بحران‌های آن را کاهش داده و یا کنترل نمود.

## ۶- منابع


۱- اکبری، ابراهیم (۱۳۹۷). مدل‌سازی پایه‌ی کیفیت زندگی شهری (نمونه‌ی موردی: منطقه‌ی ۹ و ۱۱ شهر مشهد)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، صص ۳۵-۲۱.

۲- باکویی، مائده (۱۳۹۶). بررسی کیفیت زندگی در مناطق شهر تبریز، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، صص ۳۰-۱۰.

۳- ثروتی، محمدرضا، احمدی، محمود، نصرتی، کاظم، مزبانی، مهدی (۱۳۹۳). پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌ی آبخیز سراب دره‌شهر، فصلنامه‌ی جغرافیا، دوره‌ی یازدهم، شماره‌ی ۳۶، صص ۷۹-۵۵.

۴- رستمی، روناک (۱۳۹۵). پهنه‌بندی و ارزیابی خطر سیلاب با استفاده از مدل هیدرو ژئومورفولوژیکی HEC-RAE و شاخص LFH (مطالعات موردی: حوضه‌ی آبریز آجی‌چای)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز.

۵- شکرپور باباشکند، مینا (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ANP (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز نوران‌چای)، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته هیدرو ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی.

۶- طاهری بهبهانی، محمدطاهر، بزرگ‌زاده، مصطفی (۱۳۷۵). سیلاب‌های شـهری، تهران، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی و معماری ایران.

۷- عابدینی، موسی، فتحی، محمدحسین (۱۳۹۴). پهنه‌بندی وقوع سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه، (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز خیاوچای)، فصلنامه‌ی هیدرو ژئومورفولوژی، دوره‌ی اول، شماره‌ی ۳، صص ۱۲۰-۹۹.

۸- غیور، حسنعلی (۱۳۷۱). پیش‌بینی سیل در مناطق مرطوب، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، دوره‌ی دهم، شماره‌ی ۳۵، صص ۱۰۵-۸۷.

۹- کوثر، سیدآهنگ (۱۳۷۴). مقدمه‌ای بر مهار سیلاب‌ها و بهره‌برداری از آن، تهران، انتشارات مؤسسه‌ی تحقیقات جنگل‌ها و مراتع.


7- zelanokova
8- lieo
9- ames

۱۰- گنجی، کامران، سعید قره چلو، احمد، احمدی (۱۳۹۸). پهنه‌بندی سیلاب رودخانه‌ی گرگان‌رود بر اساس حریم کمی و کیفی با استفاده از HEC-RAS و GIS ، دومین همایش ملی مدیریت منابع طبیعی با محوریت آب، سیل و محیط زیست، دانشگاه گنبدکاووس، ایران، صص ۴۵-۳۶.

۱۱- محمدنیا قرایی، سهراب، سیدمحمد، عسکری‌زاده، مجتبی، ظهور (۱۳۸۹). برنامه‌ریزی مدیریت بلایا و مخاطرات محیطی در راستای توسعه‌ی پایدار، چهارمین کنگره‌ی بین‌المللی جغرافی‌دانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ایران، صص ۱۲۵-۸۵.

۱۲- مرادی، رامین، فتح‌اله، حاتمی، محمدرضا، آستن (۱۳۹۵). مخاطرات طبیعی و بحران‌های زیست‌محیطی راهکار و چالش‌های آن، اولین کنفرانس ملی معماری اسلامی، میراث شهری و توسعه‌ی پایدار، اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان تهران، ایران.

۱۳- نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ ارزیابی منابع و قابلیت اراضی خراسان جنوبی، (۱۳۹۸)، مؤسسه‌ی تحقیقات خاک و آب ایران، تهران.

۱۴- نقشه‌ی ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی خراسان جنوبی، (۱۳۹۵)، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.

۱۵- نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی استان خراسان جنوبی، (۱۳۹۷)، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران.

16- Ames, D. P., Rafn, E. B., Van Kirk, R., & Crosby, B. (2009). Estimation of stream channel geometry in Idaho using GIS-derived watershed characteristics. Environmental Modelling & Software, 24(3), 444-448

17- Chung, C. J. F., & Fabbri, A. G. (2003). Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, *30*(3), 451-472

18- D'Agostini, L. R., & Fantini, A. C. (2008). Quality of life and quality of living conditions in rural areas: distinctively perceived and quantitatively distinguished. *Social Indicators Research*, *89*(3), 487-499.

19- Ezz, H. (2018). Integrating GIS and HEC-RAS to model Assiut plateau runoff. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, *21*(3), 219-227.

20- Knebl, M.R., Z.L. Yang, K. Hutchison and D.R. Maidment. (2005). Regional Scale Flood Modeling Using NEXRAD Rainfall, GIS and HEC-HMS/RAS (Case Study: The San Antonio River Basin Summer 2002 storm event). Environmental Management, 11: 325-336

21- kokh - Sherstha, M. (2001): Soil Erosion Modeling Using Remote Sensing and GIS; a Case Study of Jhikhu Khola Watershed, Nepal, Master Thesis, Andhra University, Pp.

22- Lyu HM, Shen SL, Zhou A, Yang J. Perspectives for flood risk assessment and management for mega-city metro system. Tunnelling and Underground Space Technology. 2019; 84: 31-44.

23- Meyer V, Scheuer S, Haase D. 2009. A multi criteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde River, Germany. Natural Hazards, 48(1): 17-39.

24- Nandi, A., Mandal, A., Wilson, M., & Smith, D. (2016). Flood hazard mapping in Jamaica using principal component analysis and logistic regression. Environmental Earth Sciences, 75(6), 465

25- Nie, W., Yuan, Y., Kepner, W., Nash, M.S., Jackson, M, Erickson, C., (2011), Assessing Impacts of Land use and Land Cover Changes on Hydrology for the Upper San Pedro Watershed, Hydrology, Vol 407, Issues. 1-4.

26- Parhi PK. Flood Management in Mahanadi Basin using HEC-RA Sand Gumbel's Extreme Value Distribution. J. Inst. Eng. India Ser.2018; 99(4):751–755.

27- Zelenakova M, Fijko R, Labant S, Weiss E, Markovic G, Weiss R. Flood risk modelling of the Slatvinec stream in Kru _ zlov village, Slovakia. Journal of Cleaner Production. Journal of Cleaner Production.2019; 212: 109-118.