

## تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک. مطالعه موردی: حوضه‌های آبخیز سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله) تنکابن

احمد کیا<sup>۱</sup>، شهریار خالدی<sup>۲\*</sup>، غلامرضا جانباز قبادی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور

آستاذ، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

آستادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور

تاریخ دریافت: ۹۸/۹/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۹/۹/۲۳

### چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل وقوع سیلاب‌های مکرر در حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن (چشمه‌کیله) و متعاقب آن ایجاد خسارات ناشی از سیل در محدوده شهری تنکابن، لزوم توجه به پهنه‌بندی خطر سیل خیزی را به‌ویژه در زمین‌های حاشیه رودخانه‌های اصلی حوضه مورد بررسی بیش از پیش نمایان ساخته است. در این پژوهش، با رویکردی مبتنی بر دیدگاه سیستمی در یک حوضه آبخیز، در ابتدای کار بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، پوشش اراضی و هیدرواقليمی، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای اقدام به شناسایی مناطق همگن هیدرولوژیک گردید؛ با انجام این مرحله، سه منطق همگن هیدرولوژیک در حوضه آبخیز تعیین شد. در گام دوم، با بهره‌گیری از ۴ معیار توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش اراضی و هیدرواقليمی و به کار بردن روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در مناطق همگن هیدرولوژیک شد. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در منطقه مطالعاتی نشان داد که بیشترین مساحت از منطقه مطالعاتی در طبقه سیل خیزی متوسط قرار دارند؛ در نهایت، به منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل خیزی حوضه از تحلیل عاملی استفاده گردید. یافته‌های تحلیل عاملی بیانگر آن است که در مناطق همگن هیدرولوژیک، بر اساس ۲ عامل و ۲۰ متغیر، ۱۰۰ درصد واریانس داده‌ها توجیه شده است که عامل دوم با بار عاملی ۰/۹۹۵، ۵۱/۱ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کند. در عامل دوم پارامترهای مساحت، طول آبراهه اصلی، تراکم شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، ضریب شکل هورتن، زمان تمرکز، درصد اراضی جنگل، درصد اراضی مرتع و درصد اراضی با نفوذپذیری زیاد، همبستگی بالایی (بیشتر از ۰/۷۵) را با پتانسیل سیل خیزی نشان داده‌اند که در این میان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در سیل خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک مورد بررسی، عامل مساحت با بار عاملی ۰/۹۹۷ است.

**واژه‌های کلیدی:** مناطق همگن هیدرولوژیک، پتانسیل سیل خیزی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل عاملی، حوضه‌های آبخیز سه‌هزار و دوهزار

### مقدمه

آب دارد. سیلاب‌ها عموماً در دره‌های خشک که داده‌های اندازه‌گیری شده ندارند، رخ می‌دهند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۹۰؛ اعلمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۲؛ پناهی و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۵۴)؛ بنابراین، توسعه روش‌های تخمین رواناب، شبیه‌سازی و پهنه‌بندی

جهت ارائه برنامه‌ریزی صحیح مدیریتی در سطح حوضه‌های آبریز، دانستن اطلاعات رواناب و سیلاب، نیاز اساسی به مدیریت منابع آب و مسائل مهندسی

پتانسیل سیلاب برای حوضه‌هایی که در سطح آن‌ها ایستگاه هیدرومتری کم بوده یا وجود ندارد، ضروری است. علیرغم وجود روش‌های مختلف برای برآورد رواناب و شبیه‌سازی سیلاب در حوضه‌های فاقد آمار، امروزه استفاده از GIS بیشتر مد نظر پژوهشگران است (Patil et al., 2008: 139). برای پیشگیری و مهار سیلاب باید در درجه اول مناطقی که پتانسیل بالایی در تولید سیل دارند، تعیین و سپس عوامل تولید و ایجاد سیل شناسایی شوند. به‌طور کلی دو دسته از عوامل اقلیمی و حوضه‌ای در ایجاد سیلاب نقش دارند. از مهم‌ترین عوامل حوضه‌ای هم می‌توان به کاربری اراضی، وضعیت زمین‌شناسی، شیب و شبکه زهکشی و به‌طور کلی عوامل مورفومتریک اشاره نمود (خسروانی و ثقفیان، ۱۳۸۴: ۱۳؛ ثقفیان و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۰؛ روغنی و همکاران، ۱۳۸۶: ۸۰). در مدیریت سیل، برخی از این عوامل به‌وجودآورنده قابل کنترل هستند که در طرح‌های کنترل سیل باید بیشتر آن‌ها را مد نظر قرار داد (Miller et al., 2002: 917). امروزه استفاده از علوم جدید به‌ویژه تکنیک‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به برنامه‌ریزان کمک می‌نماید تا ارزیابی سریعی از پتانسیل خطرات طبیعی از جمله سیل را در حداقل زمان داشته باشند؛ لذا تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گستره سیل، پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر و برآورد خسارات وارده در سطح وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند (بروشکه و همکاران، ۱۳۸۵: ۲).

Yu و همکاران در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی با عنوان تحلیل فراوانی سیلاب مبتنی فرآیند در یک حوضه کشاورزی که رفتار فصلی متغیری به‌لحاظ سیلاب دارد، با استفاده از روش تحلیل فراوانی سیل معمولی (FFA) مبتنی بر فرآیند، سناریوهایی را برای ایجاد تعداد زیادی از بارش‌های طوفانی بر اساس آمار سنجش از دور بارش نسبتاً کوتاه را در حوضه رودخانه ترکیه در میانه غربی ایالات متحده اجرا کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که استفاده از آمار بارش تنها

۱۵ سال با روش FFA، می‌تواند برآورد دقیقی از فراوانی سیلاب زمان حاضر داشته باشد؛ همچنین تغییرات فصلی رطوبت خاک، برف و شدت بارندگی، عوامل کنترل‌کننده فراوانی سیل هستند. Lan و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی تحت عنوان مطالعه‌ای بر روی ارزیابی ایمنی کنترل سیلاب با مدل ترکیبی ریسک، یک چارچوب احتمالی جامع را ارائه دادند که ترکیبی از شبیه‌سازی مونت کارلو و مدل کنترل ریسک سیلاب است. نتایج آن‌ها نشان داد که بالاترین سطح سیلابی با دوره‌های بازگشت ۱۰۰۰ ساله مخزن ژلین، از سطح طغیان طراحی شده فراتر می‌رود. اسکندری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه نمود و تأثیر آن بر ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی منطقه و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت آن، انجام داده‌اند. هدف اصلی این پژوهش تعیین پهنه‌های سیل‌خیز و سیل‌گیر، حوضه رودخانه با استفاده از منطق فازی است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی سیل‌خیزی، پهنه‌های با خطر بسیار زیاد در نیمه شمالی و غربی حوضه واقع گردیده‌اند، اغلب این مناطق از لحاظ تراکم پوشش گیاهی در سطح پایینی قرار داشته و از لحاظ کاربری زمین از نوع مرتع متوسط و فقیر و نیز زمین‌های با کاربری کشاورزی، تراکم شبکه زهکشی بالا به‌ویژه در بخش‌های غربی، دامنه‌های واگرا با پروفیل محدب و مناطقی با بارش زیاد را تشکیل می‌دهند. شادفر (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیکی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه صفارود)، حوضه آبخیز مورد مطالعه را به هفت واحد هیدرولوژیکی تقسیم و سپس اقدام به شناسایی واحدهای سنگ‌شناسی در این حوضه کرد. پس از تعیین ارزش کمی عوامل، اقدام به بررسی پتانسیل سیل‌خیزی با استفاده از روش شاخص همپوشانی در محیط GIS گردید. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که حدود ۲۶/۳۶ درصد از مساحت حوضه در پهنه زیاد و ۷۴/۱۳ درصد در پهنه خیلی زیاد از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی قرار دارند.

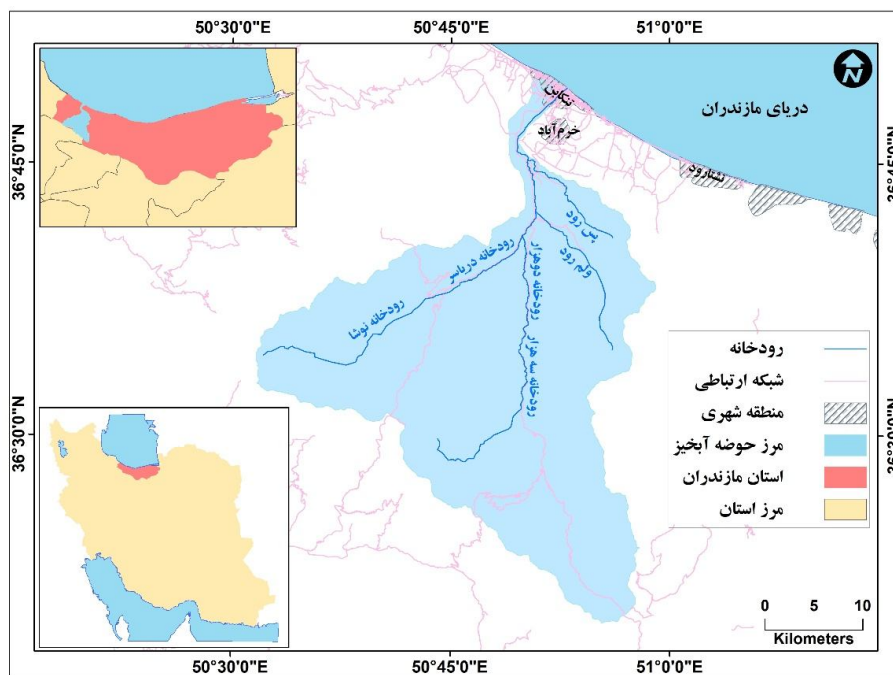
تعیین می‌شود.

### منطقه مطالعاتی

رودخانه‌های دوهزار و سه‌هزار تنکابن منطبق بر بخشی از حوضه آبخیز چشمه کیله است که در جنوب شهر تنکابن قرار دارد. حوضه آبخیز رودخانه‌های پس‌رود، ولم‌رود، سه‌هزار، دوهزار و دریاسر تحت عنوان چشمه کیله با وسعتی برابر ۹۵۸ کیلومتر مربع در بخش شمالی کشور در موقعیت جغرافیایی "۳۱' ۴۴" تا ۵۰° تا ۵۰° ۴۱' ۵۹" طول شرقی و "۳۶° ۱۹' ۴۲" تا ۵۰° ۰۸' ۳۶" عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). قلمرو مورد مطالعه از بخش شمالی به دریای مازندران، از بخش شرقی به حوضه آبخیز رودخانه نشتارود، از بخش جنوبی به حوضه آبخیز رودخانه الموت‌رود- شاهرود و از بخش غربی به حوضه‌های شیروود و چالکروود محدود می‌گردد. رودخانه‌های دوهزار و سه‌هزار از یخچال‌های دره‌ای تخت سلیمان سرچشمه می‌گیرند و پس از پیوستن به رودخانه‌های ولم‌رود و پس‌رود از شهر تنکابن گذشته و وارد دریای مازندران می‌شوند، طی ده سال اخیر و به خصوص در تابستان‌ها به‌شدت سیلابی شده و بسیاری از کارشناسان محلی علت وقوع سیلاب‌ها را به تشدید ذوب یخچالی نسبت می‌دهند. وجود ۶ سیرک یخچالی با یخچال‌های دائمی در انتهای سرشاخه‌های رودخانه اصلی و تمرکز تابستانه سیلاب‌ها، این فرضیه احتمالی را تقویت می‌کند.

وقوع سیلاب‌های شدید به‌ویژه در فصل گرم سال یکی از مهم‌ترین مخاطرات هیدرو - ژئومورفیک حوضه‌های آبریز منتهی به دریای مازندران است. سیلاب‌های رودخانه مادرسو در جنگل گلستان طی سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ (جهادی و حسین‌زاده، ۱۳۹۰: ۷۰)، سیلاب‌های متعدد تابستانه در ماسوله (رضایی، ۱۳۸۸: ۱۰۹)، سیلاب مرداد ماه ۱۳۶۸ نکا (پورااحمد، ۱۳۷۷: ۶۰)، سیلاب مهر ماه ۱۳۹۱ بهشهر و سیلاب‌های مکرر رودخانه سه‌هزار در تابستان سال‌های ۱۳۸۲، ۱۳۸۳، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ و سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ را می‌توان به‌عنوان نمونه‌هایی از مخاطره یاد شده ذکر کرد. در این پژوهش نیز که هدف اصلی آن پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز سه‌هزار و دوهزار تنکابن و تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی زیرحوضه‌های این حوضه است، به‌لحاظ روش‌شناسی سه گام برای رسیدن به هدف مد نظر طراحی شده است. در ابتدا با بهره‌گیری از روش آماری چند متغیره تحلیل خوشه‌ای<sup>۱</sup> به تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک پرداخته می‌شود. سپس عوامل مؤثر در پهنه‌بندی سیل‌خیزی منطقه شناسایی و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی<sup>۲</sup>، پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبخیز پهنه‌بندی می‌گردد؛ در نهایت، از طریق تحلیل عاملی<sup>۳</sup>، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک

1. Cluster Analysis
2. Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)
3. Factor Analysis



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله) و زیرحوضه‌های آن

### داده‌ها و روش پژوهش

**تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک:** تشابه هیدرولوژیکی استخراج‌شده از چگونگی عکس‌العمل مشابه حوضه‌ها نسبت به ورودی بارش، اساس طبقه‌بندی حوضه‌ها برای انتقال اطلاعات، درک هیدرولوژیکی و همچنین پی بردن به تأثیرات بالقوه تغییرات محیطی است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱). خصوصیات گسترده هیدرولوژیکی در دسترس (داده‌های بارش، جریان و مشخصات فیزیوگرافی حوضه‌ها) می‌توانند برای استخراج حوضه‌های مشابه هیدرولوژیکی مورد استفاده قرار بگیرند (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۲۱؛ علی‌عسگری کاشانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳؛ جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۲۴). با توجه به این‌که در منطقه مطالعاتی، به جهت تنوع محیطی زیاد پارامترهای توپوگرافی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش اراضی و هیدرواقليمی، پتانسیل سیل‌خیزی دارای پراکنش فضایی متغیر است، همگن‌بندی زیرحوضه‌ها می‌تواند گامی مؤثر در ارائه الگویی کاربردی از پهنه‌بندی سیل‌خیزی باشد؛ به طوری که بتوان زیرحوضه‌هایی که از نظر برخی از ویژگی‌ها به هم شباهت ذاتی دارند را در گروه‌های

مشابه طبقه‌بندی و مهم‌ترین عوامل مؤثر در سیل‌خیزی این گروه‌ها را شناسایی و برای کاهش خسارات سیل، برنامه‌ریزی صحیح اجرایی انجام داد. در این پژوهش، اقدام به استخراج مناطق همگن هیدرولوژیکی با استفاده از روش آماری تحلیل خوشه‌ای و الگوریتم Between-groups linkage و با فاصله اقلیدسی از طریق ۲۴ ویژگی مربوط به ۱۸ زیرحوضه موجود در حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار گردیده است. به‌منظور درک تشابه هیدرولوژیکی، ۲۴ ویژگی (توصیف‌گر) شامل میانگین، بارش سالانه (طی دوره آماری ۱۳۴۸ تا ۱۳۹۵)، مساحت، ارتفاع (کمینه، متوسط و بیشینه)، شیب، طول آبراهه اصلی، مجموع طول آبراهه‌ها، تراکم زهکشی، نسبت انشعاب، شکل حوضه، ضریب گراویلیوس، زمان تمرکز، طول و عرض مستطیل معادل، درصد مساحت هر کدام از کاربری‌های جنگل، مرتع، شهری و کشاورزی و درصد مساحت هر کدام از سازندهای کم‌تراوا، نسبتاً کم‌تراوا، نسبتاً تراوا و تراوا شناسایی و اطلاعات آن‌ها برای ۱۸ زیرحوضه مورد بررسی استخراج شده است. جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک را

بافت خاک (اداره کل منابع طبیعی استان مازندران)، کاربری اراضی و پوشش گیاهی (تصاویر ماهواره‌ای Landsat سنجنده OLI سال ۲۰۱۷) و داده‌های بارش سالانه و حداکثر ۲۴ ساعته (سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران).

به‌طور نمونه برای تعدادی از زیرحوضه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. منابع داده‌ای به‌کار گرفته‌شده برای استخراج این پارامترها عبارتند از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور)، مدل رقومی ارتفاع با اندازه پیکسل ۱۰ متر، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه رامسر (سازمان زمین‌شناسی کشور)،

جدول ۱: پارامترهای فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، کاربری اراضی و اقلیمی مورد استفاده در تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک زیرحوضه‌های مورد بررسی (محاسبات نگارندگان)

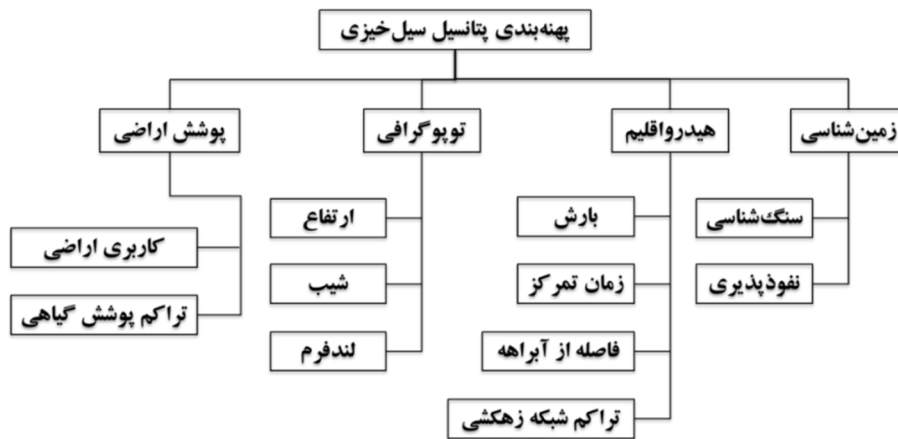
پارامتر/ زیرحوضه	گرمارود	تخت‌سلیمان	سلج‌انبار	سرچشمه‌رود	شهرستان	مردورود	نیاردره	هلیان
بارش سالانه (mm)	۶۶۶	۷۴۱	۶۹۰	۸۴۸۴	۷۷۹	۷۴۳	۷۰۷	۹۴۵
مساحت (Km <sup>2</sup> )	۵۷	۳۸	۴۲	۳۰	۵۵	۸۵	۳۲	۵۲
محیط (Km)	۳۵	۲۸	۲۸	۲۵	۴۷	۴۰	۲۶	۳۴
کمینه ارتفاع (m)	۲۱۰۵	۲۱۰۰	۱۶۴۸	۱۵۰۰	۱۲۳۹	۱۲۳۹	۱۸۰۱	۷۸۷
بیشینه ارتفاع (m)	۴۵۹۹	۴۷۲۳	۳۶۳۹	۴۰۷۵	۴۲۷۵	۴۱۲۴	۳۹۶۲	۳۵۴۴
متوسط ارتفاع (m)	۳۲۹۶	۳۵۳۲	۲۶۸۵	۲۸۶۲	۲۳۸۱	۲۶۹۹	۲۹۱۸	۲۰۴۴
شیب (%)	۵۵	۶۱	۴۸	۶۲	۶۲	۵۷	۶۴	۶۲۰۰۸
طول آبراهه اصلی (Km)	۱۳	۸/۳	۹/۳	۵/۸	۱۵/۱	۱۶/۶	۶/۷	۹/۷
مجموع طول آبراهه‌ها (Km)	۴۳۰	۳۳۲	۲۶۲	۲۰۷	۳۲۴	۴۱۲	۲۷۴	۲۰۵
تراکم زهکشی (Km/Km <sup>2</sup> )	۷/۵	۸/۸	۶/۲	۶/۹	۵/۹	۴/۹	۸/۶	۴
نسبت انشعاب	۴	۳/۳	۳/۴	۴/۹	۵/۴	۳/۵	۳/۸	۶/۶
شکل حوضه (هورتن)	۰/۳۲	۰/۶	۰/۵	۰/۹	۰/۲۴	۰/۳	۰/۷	۰/۶
ضریب گراویلیوس	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۱/۳	۱/۸	۱/۲	۱/۳	۱/۳
زمان تمرکز (h)	۰/۹	۰/۵	۰/۷	۰/۳۵	۱	۱/۱	۰/۴	۰/۶
طول مستطیل معادل	۱۳	۱۰	۹/۷	۹	۲۱	۱۳/۸	۱۰	۱۳
عرض مستطیل معادل	۴/۴	۳/۷	۴/۴	۳/۳	۲/۶	۶/۱	۳/۲	۴
درصد مساحت جنگل	۰	۰	۶/۶	۱۲/۳	۴۶	۴۰/۸	۵۸	۷۱
درصد مساحت مرتع	۱۰۰	۱۰۰	۹۳	۸۸	۵۳	۵۸/۷	۴۲	۲۹
درصد مساحت اراضی شهری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
درصد مساحت اراضی کشاورزی	۰	۰	۰	۰	۱/۲	۰/۵	۰	۰
درصد سازند کم تراوا	۳/۶	۱۹/۱	۱۶/۱	۲۸/۷	۲۶/۸	۳۴	۵۹	۲۰
درصد سازند نسبتاً کم تراوا	۱۹	۲۴	۷	۳۷	۳۶/۷	۶/۵	۱۳/۵	۳۹
درصد سازند نسبتاً تراوا	۵۶	۲۹	۶۳	۳۱	۳۰/۵	۵۵	۲۷/۷	۴۱
درصد سازند تراوا	۲۲	۲۸	۱۴	۳/۵	۶	۴/۱	۰	۰/۲

مشخص شده، داده‌های مکانی سطح منطقه جمع‌آوری شده‌اند؛ کارشناسان و پژوهشگران شامل افراد دانشگاهی، کارمندان و مدیران شهرداری، مدیریت بحران، منابع طبیعی و شرکت‌های مهندسی مشاور در گستره محدود مطالعاتی بوده‌اند. شکل ۲ ساختار سلسله مراتبی عوامل را نشان می‌دهد. وزن هر کدام از معیارها و زیرمعیارها از طریق مقایسه زوجی و نظرات کارشناسان با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی

پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی: با توجه به هدف این مرحله از پژوهش، نخست ۱۱ عامل مؤثر در قالب چهار زیرمعیار توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرواقلیم و پوشش اراضی در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (قنوتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۳؛ شادفر، ۱۳۹۶: ۲۰؛ Zhang et al., 2002: 164؛ Sinha et al., 2008: 336) و با نظر کارشناسان و پژوهشگران متخصص شناسایی و با توجه به معیارهای

می‌شود. خروجی نهایی این مرحله، مدل‌سازی فضایی و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه مورد بررسی خواهد بود.

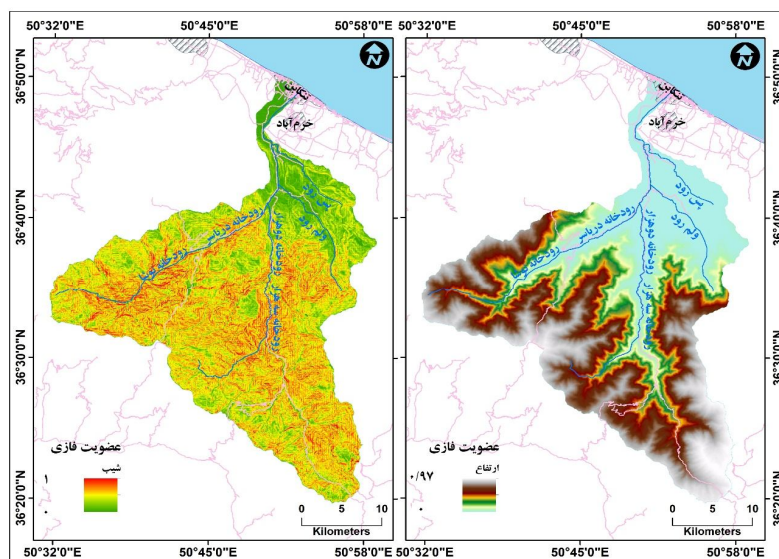
فازی (FAHP)، مشخص شده‌اند. پس از فازی‌سازی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از توابع عضویت فازی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS، وزن‌های محاسبه‌شده برای هر کدام از معیارها در نقشه فازی‌شده آن ضرب



شکل ۲: معیارها و زیرمعیارهای انتخاب‌شده برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی

منطقه از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با اندازه پیکسل ۳۰ متری در محیط نرم‌افزاری ArcGIS تهیه و مبنای دو زیرمعیار ارتفاع (شکل ۳) و شیب (شکل ۴) قرار گرفت. برای تهیه لایه لندفرم‌های ژئومورفولوژیکی منطقه نیز از منابع داده‌ای شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران، عکس‌های هوایی سال ۱۳۶۲، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی بالا (GeoEye و ASTER, Sentinel-2) و Google Earth استفاده شده است.

معیار توپوگرافی: توپوگرافی به‌عنوان یکی از فاکتورهای تشدیدکننده نقش مهمی را در تشدید سیل ایفا می‌کند و برای تشخیص نواحی مستعد سیل بسیار تعیین‌کننده است. فاکتورهای توپوگرافی تأثیر مستقیم بر اندازه جریان و شدت رواناب دارد؛ از طرف دیگر نواحی مستعد سیل رودخانه اساساً ارتفاع کمتر و نیز شیب توپوگرافی ناچیزی دارند. در این پژوهش معیار توپوگرافی شامل سه زیرمعیار ارتفاع، شیب و لندفرم‌های ژئومورفولوژیک است؛ مدل رقومی ارتفاع



شکل ۴: نقشه فازی‌شده زیرمعیار شیب

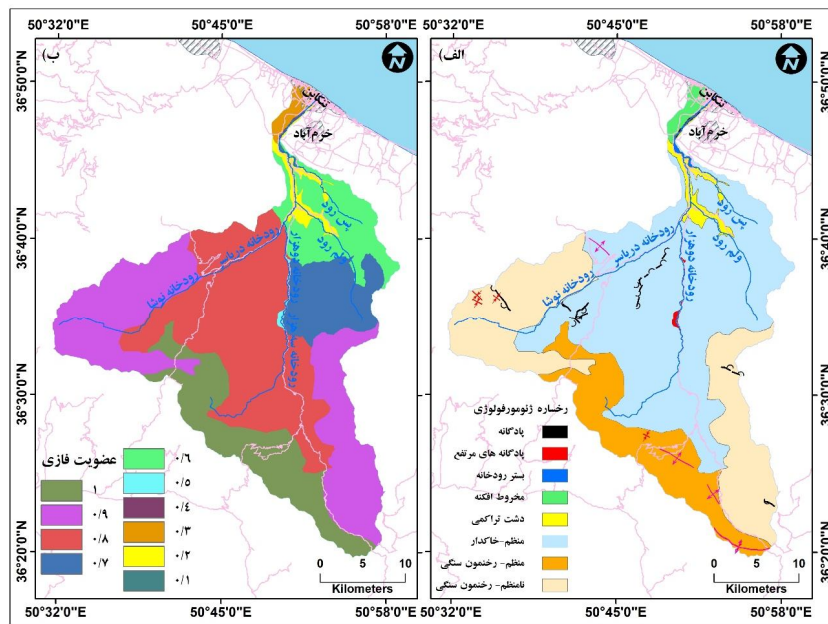
شکل ۳: نقشه فازی‌شده زیرمعیار ارتفاع

شده است (شکل ۵). میزان عضویت فازی و توابع عضویت فازی زیرمعیارهای سه‌گانه مربوط به معیار توپوگرافی به منظور استفاده در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در جدول ۲ آورده شده است.

حوضه آبخیز مورد مطالعه براساس مشخصه‌های ارتفاعی، شیب و برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عوارض زمین سطح حوضه آبخیز چشمه‌کیله به ترتیب به چهار واحد کوهستان (M)، تپه‌ماهور (H)، دشت (P) و نهشته‌های رودخانه‌ای (Fan و Qal، T) تقسیم

جدول ۲: توابع عضویت و میزان عضویت فازی زیرمعیارهای مربوط به معیار توپوگرافی (محاسبات نگارندگان)

معیار	زیرمعیار	کلاس	تابع عضویت	میزان عضویت فازی	
توپوگرافی	ارتفاع	۲۶- تا ۴۷۲۳ متر	پیوسته، Large	دامنه عددی (صفر تا یک)	
		۰ تا ۷۶ درجه	پیوسته، Large	دامنه عددی (صفر تا یک)	
	لندفرم	کوهستان با دامنه منظم و رخنمون سنگی	کوهستان با دامنه نامنظم و رخنمون سنگی	گسسته (نظرات کارشناسی)	۱
			کوهستان با دامنه منظم خاک‌دار (شیب زیاد)		۰/۹
			کوهستان با دامنه منظم خاک‌دار (شیب متوسط)		۰/۸
			تپه با دامنه منظم خاک‌دار		۰/۷
			دشت سیلابی با پادگانه‌های مرتع		۰/۶
			دشت سیلابی با پادگانه‌های رودخانه‌ای		۰/۵
			دشت (مخروط‌افکنه)		۰/۴
			دشت تراکمی		۰/۳
بستر رودخانه	دشت تراکمی	۰/۲			
	بستر رودخانه	۰/۱			



شکل ۵: الف) نقشه زیرمعیار لندفرم ژئومورفولوژیکی (ب) نقشه فازی شده زیرمعیار لندفرم ژئومورفولوژیکی

سنگ‌شناسی، وضعیت تکتونیک، زمین‌ساخت و بازدیدهای میدانی، واحدهای سنگی حوضه مورد مطالعه بر اساس نفوذپذیری به چهار طبقه شامل تراوا، نسبتاً تراوا، نسبتاً کم‌تراوا و خیلی کم‌تراوا تقسیم شده

معیار زمین‌شناسی: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه رامسر سازمان نقشه‌برداری مبنای تهیه معیار زمین‌شناسی است که شامل دو زیرمعیار نفوذپذیری و سنگ‌شناسی می‌شود. با توجه به ویژگی‌های

رودخانه و یا سیل خیزی حوضه تأثیر بسزایی دارند. با توجه به نفوذپذیری سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه، عضویت فازی به صورت گسسته و با بهره‌گیری از نظرات کارشناسی و متخصصان به هر کدام از واحدها اختصاص داده شده است؛ جدول ۳ این وزن‌های اختصاص داده شده را نشان می‌دهد.

است (شکل ۶). واحدهای اصلی زمین‌شناسی حوضه شامل آذرین‌های کرتاسه، جواهرده، شمشک، تیزکوه، نسن، سلطانیه، روته، الیکا، مبارک، کرج، لالون، میلا، زاگون و واحدهای کواترنری می‌باشد. ویژگی‌های سنگ‌شناسی در میزان نفوذپذیری آب در درون زمین و یا آب‌گذری مستقیم و در نتیجه تعادل جریان

جدول ۳: کلاس نفوذپذیری بر اساس واحد سنگ‌شناسی و عضویت فازی در پهنه‌بندی سیل خیزی (محاسبات نگارندگان)

میزان عضویت فازی	چینه	واحد سنگی	نفوذپذیری
۰/۸	آذرین‌های کرتاسه	K2 vl	کم تراوا
	جواهرده	J1-2 c	
	شمشک	Js c	
	تیز کوه	Kl	
	سلطانیه	PE s	
	روته	Pr l,ml	
	واحد گچ و کنگلومرا پالتوسن	Gy	
	مبارک	Cm l,ml	
۰/۷	کوارتزیت قاعده	Eq	نسبتاً کم تراوا
	سیلورین	Sv	
	آذرین نفوذی	bg, g, gd, gd a, gd n, gp, im	
	مبارک	Cm l	
	واحد تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی	Tr	
۰/۶	واحد گچ و کنگلومرا پالتوسن	C	نسبتاً تراوا
	میلا	E om	
	کرج	EK ta, EK tm	
	لالون	Ec, Es	
	واحد ژوراسیک میانی و فوقانی	J2-3 l,dl	
	شمشک	Js	
	آهکی کرتاسه فوقانی	K2 l	
	آذر آواری	K2 tv	
	درود	P dl, Pd s, sh	
	معادل سازند کهر	PE s,t,v	
	پلیوسن	PL Qc	
الیکا	TR2-3 l,sl, sh		
	زمین لغزش	Q2 1	تراوا
۰/۴	نهبسته‌های یخچالی	Q2 2	
	واریزه	Q2 3	
	منطقه خشکی	Q2 al	
	ساحلی	Q2 b1	
	دلنا	Q2 d	
	منطقه خشکی	Q2 fgl	
	رسوبات خشکی	Q2 s	
	منطقه خشکی	Q2 tg2	

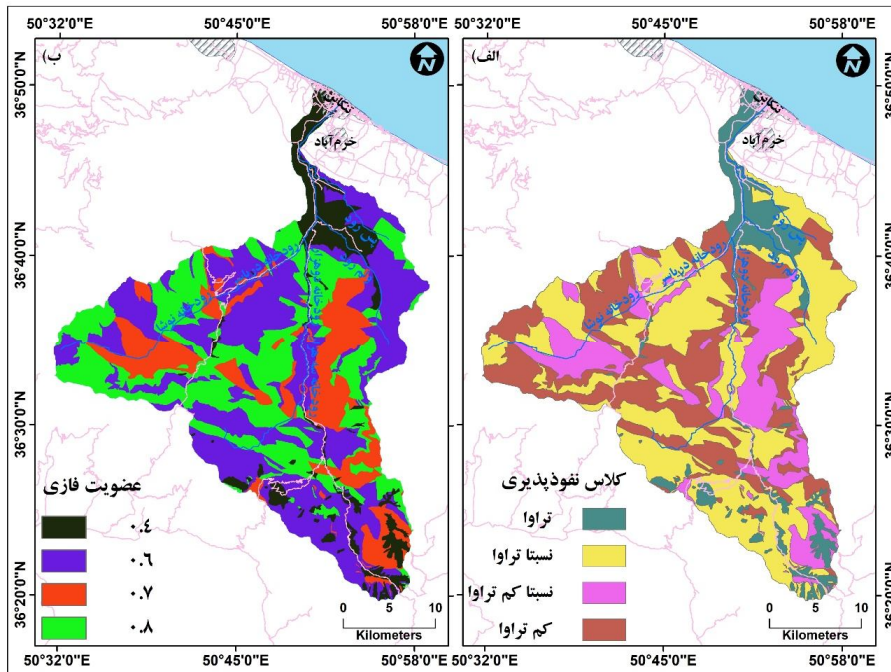
می‌دهد. مقاومت سازندها، به نحوه تبلور، نوع کانی‌های سازنده و میزان خلل و فرج بستگی دارد. در این پژوهش از پارامتر اول روش پسیاک برای سنجش

از دیگر عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب، مقاومت سازندهای تشکیل‌دهنده در مقابل فرسایش و آب‌گذری است که هر سازند از خود مقاومت متفاوتی را نشان

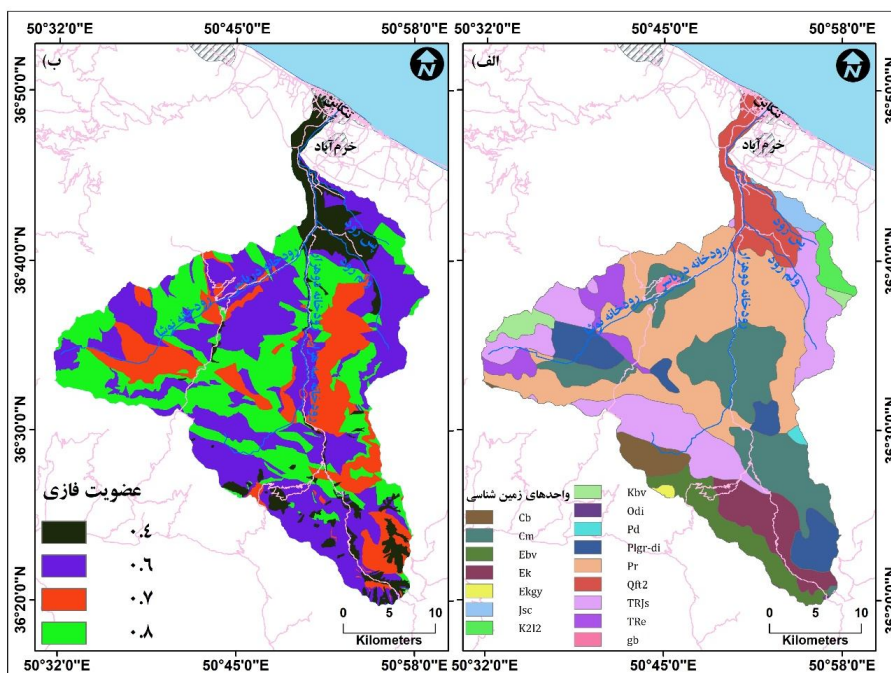


آبخیز مورد مطالعه از نظر مقاومت در مقابل فرسایش به ۹ طبقه تقسیم شده (شکل ۷) و تعیین عضویت فازی هر یک از این طبقات به صورت گسسته و با بهره‌گیری از نظرات پژوهشگران و متخصصان انجام شده است (جدول ۴).

مقاومت سنگ‌های منطقه استفاده شده است. در روش پسیاک بسته به حساسیت سنگ، نمره بین صفر تا ده در نظر گرفته می‌شود و سپس با توجه به مساحت گسترش آن، میانگین وزنی گرفته شده و نمره متوسط مربوط به این عامل تعیین می‌شود. سازندهای حوضه



شکل ۶: الف) نقشه زیرمعیار نفوذپذیری (ب) نقشه فازی شده زیرمعیار نفوذپذیری



شکل ۷: الف) نقشه زیرمعیار واحدهای سنگ‌شناسی (ب) نقشه فازی شده زیرمعیار واحدهای سنگ‌شناسی

جدول ۴: طبقه مقاومت واحدهای سنگ‌شناسی و عضویت فازی در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی (محاسبات نگارندگان)

عضویت فازی	طبقه مقاومت	چینه	واحد سنگی
۰/۴	خیلی حساس	آذرین نفوذی	bg, g, gb, gd, gd a, gd n, gp, im
		واحد تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی	Tr
۰/۴۵	خیلی حساس	آذرین‌های کرتاسه	K2 vl
		کوارتزیت قاعده	Eq
۰/۵	حساس	جواهرده	J1-2 c
		واحد ژوراسیک میانی و فوقانی	J2-3 l,dl
		درود	P dl
		سلطانیه	PE s
		سیلورین	Sv
		الیکا	TRe dl
۰/۵۵	حساس	مبارک	Cm l
		واحد گچ و کنگلومرا پالتوسن	C
		کرج	EK ta
		لالون	Ec
		شمشک	Js c
		تیز کوه	Kl
		آذر آواری	K2 tv
		نسن	Pn
۰/۶	متوسط	الیکا	TR2-3 l,sl
		میلا	E om
		کرج	EK tm
		لالون	Es
		شمشک	Js
		آهکی کرتاسه فوقانی	K2 l
		اردوویسین	O2 s,sh
		زاگون	PE
		معادل سازند کهر	PE s,t,v
		درود	Pd s,sh
		روته	Pr l,ml
		مبارک	Cm l,ml
۰/۶۵	متوسط	پلیوسن	PL Qc
		الیکا	TR3 J2 s,sh
۰/۷	مقاوم	منطقه خشکی	Q2 al, Q2 fgl, Q2 tg2
		رسوبات خشکی	Q2 s
		واحد گچ و کنگلومرا پالتوسن	Gy
۰/۷۵	مقاوم	زمین لغزش	Q2 1
		نهبشته‌های یخچالی	Q2 2
		واریزه	Q2 3
		ساحلی	Q2 b1
		دلنا	Q2 d

تأثیر می‌گذارد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش نفوذپذیری گردد، موجب افزایش دبی سیلابی می‌گردد. به‌منظور بررسی تأثیر پوشش اراضی بر روی

پوشش اراضی: کاربری و نوع پوشش زمین یک فاکتور کلیدی وقوع سیل است. پوشش اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی

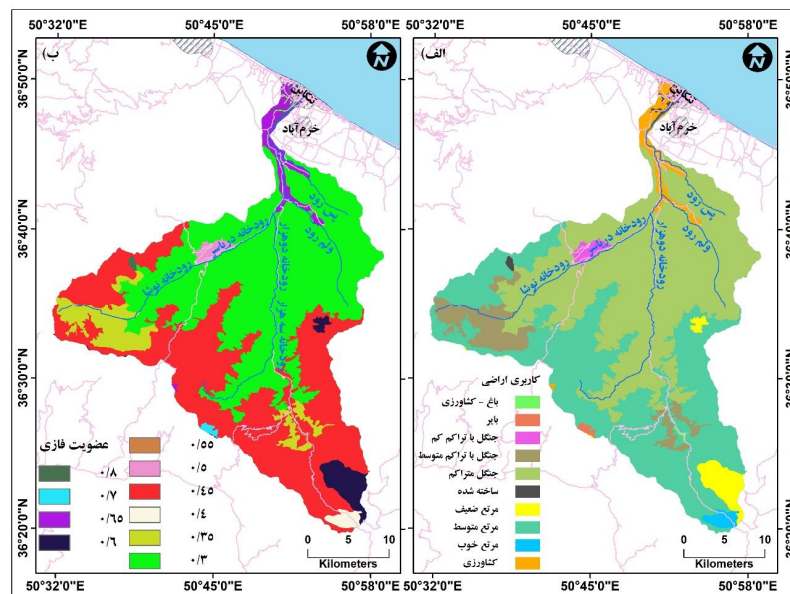
پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز، دو معیار کاربری اراضی و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) مورد بررسی قرار گرفته است.

تغییرات در این عامل و پوشش اراضی نتایج چشمگیری در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز دارد. کاربری اراضی فاکتوری تأثیرگذار در کند یا تندشدن شدت سیلاب است. اراضی دارای پوشش درختی، خطرپذیری کمتری نسبت به زمین‌های بدون پوشش گیاهی داشته و کاربری‌های مسکونی فاقد زهکشی مناسب با افزایش حجم رواناب و آبگرفتگی سطح معابر مطابقت دارد. در حوضه مورد مطالعه کاربری‌های مثل مرتع، منطقه مسکونی، کشاورزی و

اراضی بایر وجود دارد و با توجه به تأثیر هر یک از این کاربری‌ها در قدرت و سرعت جریان، به هر کلاس وزنی تعلق می‌گیرد. برای مثال می‌توان گفت زمین‌هایی با کاربری مسکونی به دلیل آن‌که بیشتر دارای سطوح سنگی و آسفالت هستند و نیز سطوح صاف و سخت آن‌ها باعث می‌شود که رواناب در این مناطق، شدت جریان بالایی داشته باشد و برعکس در زمین‌های مرتعی و دارای پوشش جنگلی، گیاهان و لاشبرگ‌ها باعث تأخیر در تمرکز جریان و در نتیجه کاهش سیل‌خیزی می‌شود (جدول ۵). نقشه فازی این کلاس‌ها نیز در شکل ۸ آورده شده است.

جدول ۵: مساحت طبقات کاربری اراضی و میزان عضویت فازی آن‌ها در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی (محاسبات نگارندگان)

میزان عضویت فازی	مساحت (کیلومتر مربع)	کاربری اراضی
۰/۳	۴۵۶	جنگل تراکم
۰/۳۵	۵۷/۹	جنگل با تراکم متوسط
۰/۴	۷/۱	مرتع خوب
۰/۴۵	۳۶۸/۳	مرتع متوسط
۰/۵	۸/۱	جنگل با تراکم کم
۰/۵۵	۰/۷	باغ - کشاورزی
۰/۶	۲۴/۹	مرتع ضعیف
۰/۶۵	۲۷/۳	کشاورزی
۰/۷	۲	بایر
۰/۸	۷/۷	ساخته‌شده



شکل ۸: نقشه فازی شده زیرمعیار کاربری اراضی (ب) نقشه فازی شده زیرمعیار کاربری اراضی

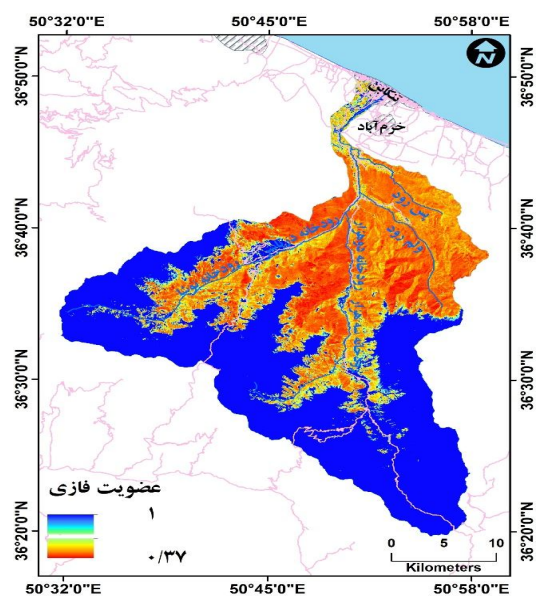
شکل ۸: نقشه فازی شده زیرمعیار کاربری اراضی (الف)

که در این رابطه IR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵)، R باند قرمز (باند ۴) و NDVI شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی است. تعیین میزان عضویت فازی طبقات تراکم پوشش گیاهی با استفاده از تابع فازی پیوسته Small انجام گردید. با این تابع عضویت، مقادیر بالای تراکم پوشش گیاهی وزن فازی کمتری داشته و بیشترین وزن فازی به محدوده‌های با تراکم پایین یا بدون پوشش گیاهی اختصاص داده شده است که بیشترین پتانسیل تولید رواناب را دارند. شکل ۹ نقشه فازی شده زیر معیار تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

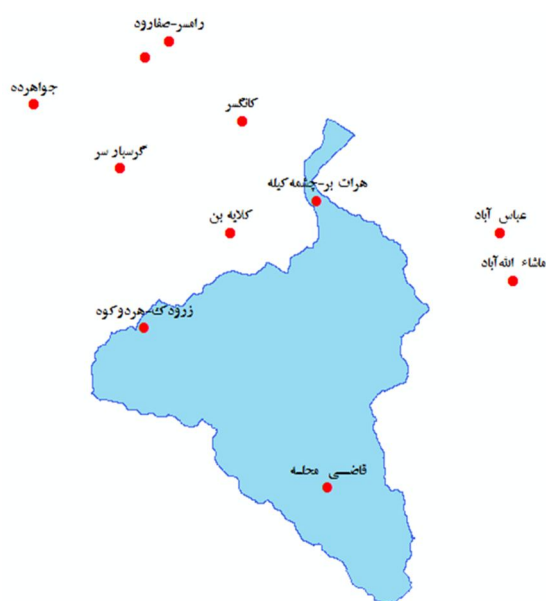
**هیدرواقليم:** این معیار در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه کیله تنکابن) دارای چهار معیار بارش، زمان تمرکز، فاصله از آبراهه و تراکم شبکه زهکشی است که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود. جهت مطالعه بارش حوضه آبخیز از داده‌های حداکثر بارش ۲۴ ساعته ایستگاههای باران‌سنجی شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران (۱۱ ایستگاه) استفاده گردید. این ایستگاهها هم در داخل مرز محدوده مطالعاتی قرار دارند و هم شامل ایستگاههای بیرون از محدوده مطالعاتی می‌شوند (شکل ۱۰).

تراکم پوشش گیاهی از لایه‌هایی که از طریق آن، وضعیت حوضه از لحاظ هیدرولوژیکی بررسی می‌شود. وقوع سیل رابطه معکوسی با تراکم پوشش گیاهی دارد؛ بدین معنی که با افزایش پوشش گیاهی و تاج گیاهان، شدت رواناب کاهش یافته و با کاهش پوشش گیاهی رواناب منطقه افزایش می‌یابد. در نواحی که تراکم پوشش گیاهی بالاست و یا مناطق جنگلی آب حاصل از بارش، زمانی کافی برای نفوذ دارد؛ ولی در مناطق فاقد پوشش گیاهی آب حاصل از بارش، بلافاصله بر روی زمین جاری شده و رواناب شکل می‌گیرد. رواناب در برخورد با این موانع سرعت خود را از دست می‌دهد و در نتیجه تأخیر در تمرکز جریان آن بخش از حوضه صورت می‌گیرد. با توجه به نقشی که تراکم پوشش گیاهی در میزان نفوذ آب و تعیین ضریب هرزآب دارد، جزء عوامل تعیین‌کننده در پتانسیل سیل خیزی یک محدوده است؛ بنابراین شاخص پوشش گیاهی یک فاکتور مهم در سیل خیزی حوضه آبخیز می‌باشد. بدین منظور از روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده OLI) به تاریخ دسامبر ۲۰۱۸، پس از انجام پیش‌پردازش، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) استخراج گردیده است (رابطه ۱).

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IR} - \text{R}}{\text{IR} + \text{R}} \quad (\text{رابطه ۱})$$



شکل ۱۰: موقعیت ایستگاههای باران‌سنجی اطراف حوضه چشمه کیله که داده‌های مربوط به رخدادهای حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته آن‌ها با استفاده از درون‌یابی کریجینگ با تابع گوسین استفاده شد (چپ)



شکل ۹: نقشه فازی زیرمعیار تراکم پوشش گیاهی (راست)

جدول ۶: معیارهای آماری بررسی عملکرد و دقت روش‌های زمین‌آمار در درون‌یابی مقادیر حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن (چشمه‌کیله) (محاسبات نگارندگان)

آماره	Kriging			RBF	IDW	روش
	Gaussian	Spherical	Circular			
میانگین	۵/۴	۷/۱	۶/۳	۸/۸	۲۸/۴	
جذر میانگین مربعات	۱۱۴/۴	۱۱۳/۴	۱۱۳/۸	۱۱۸	۱۲۶/۳	
میانگین استاندارد	۰/۰۴۲	۰/۰۵۸	۰/۰۵۱	-	-	
جذر میانگین مربعات استاندارد	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹	-	-	
میانگین خطای استاندارد	۱۲۸/۳	۱۲۸/۵	۱۲۸/۴	-	-	

جدول ۷: زمان تمرکز و میزان عضویت فازی در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مورد مطالعه (محاسبات نگارندگان)

زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	زمان تمرکز (ساعت)	میزان عضویت فازی
سرچشمه‌رود	۳۰	۰/۳۵	۰/۹
نوشا	۳۲/۳	۰/۴۳	۰/۹
نیاردره	۳۱/۸	۰/۴۴	۰/۹
تخت سلیمان	۳۸	۰/۵۳	۰/۷
هلیان	۵۲	۰/۶۲	۰/۷
سلج‌انبار	۴۲/۳	۰/۶۷	۰/۷
گلستان	۵۹/۲	۰/۷۴	۰/۷
یان‌دشت	۴۶/۷	۰/۷۷	۰/۷
خشچال	۵۲/۷	۰/۸۲	۰/۷
گرمارود	۵۷/۴	۰/۹۳	۰/۷
دریاسر	۵۵/۲	۰/۹۴	۰/۷
میانکوه	۶۴/۱	۰/۹۴	۰/۷
شهرستان	۵۴/۵	۱	۰/۵
کنه‌رود	۵۸/۸	۱/۱	۰/۵
مردو رود	۸۴/۶	۱/۱۳	۰/۵
لیره‌سر	۹۷/۹	۱/۶	۰/۴
پسرود	۶۴/۱	۱/۶۵	۰/۴

استفاده شده است. ذکر این نکته ضروری می‌نماید که دلیل استفاده از آمار سری زمانی طولانی‌مدت حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ۱۱ ایستگاه، این است که داده‌های بارندگی از پراکنش مکانی مناسب در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده و تأثیر شرایط توپوگرافی را بر روی میزان بارش دریافتی در بخش‌های مختلف حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (از مناطق مرتفع و کوهستانی گرفته تا مناطق دشتی و جلگه‌ای) به خوبی منعکس سازد. پس از تهیه لایه درون‌یابی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در حوضه مورد مطالعه، نقشه فازی شده این لایه با استفاده از تابع عضویت فازی پیوسته Large استفاده شد. در مقابل بخش‌هایی از گستره مطالعاتی که بارش کمتری داشتند، در نقشه

برای تهیه لایه پس از بررسی داده‌ها، رخدادهای حداکثر بارش ۲۴ ساعته طی سری زمانی طولانی‌مدت (۱۳۴۸ تا ۱۳۹۵)، میان ایستگاه‌های مورد استفاده درون‌یابی شده است؛ درون‌یابی با روش‌های زمین‌آمار و در محیط ArcMap انجام گرفت. مقایسه مقادیر RMSE به دست آمده از سه روش درون‌یابی IDW، RBF و Kriging (دایره‌ای<sup>۱</sup>، کروی<sup>۲</sup> و گوسین<sup>۳</sup>)، نشان می‌دهد که روش کریجینگ با تابع گوسین دارای کمترین خطا و بیشترین دقت در درون‌یابی داده‌های حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته در این پژوهش است (جدول ۶)؛ بنابراین از این روش برای درون‌یابی

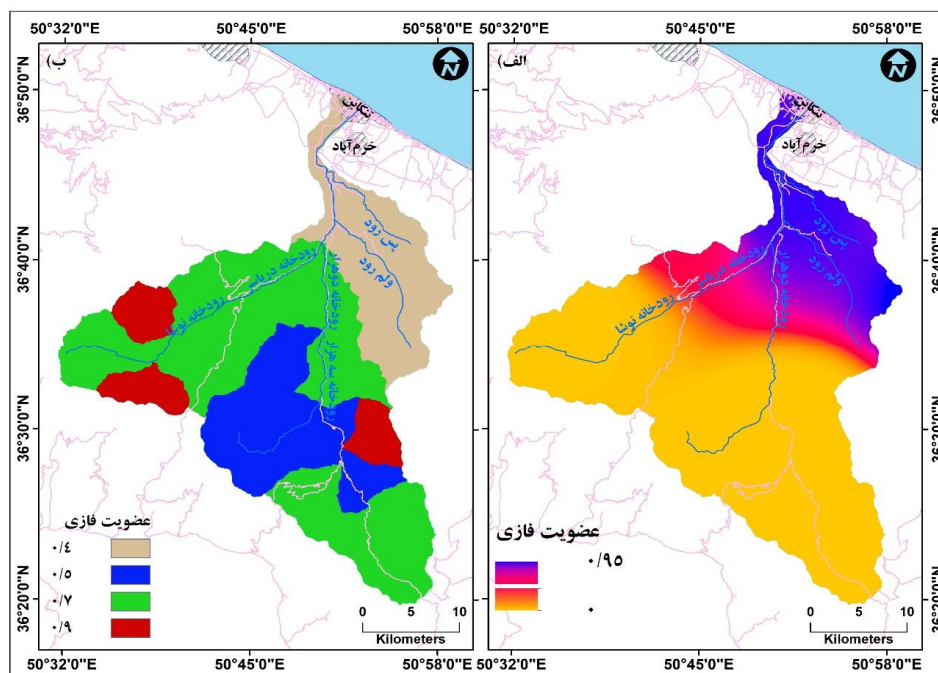
1. Circular
2. Spherical
3. Gaussian



زمان تمرکز پیشنهاد شده که در این پژوهش از روش کرپیچ در ۱۸ زیرحوضه در منطقه مطالعاتی استفاده شده است. پس از محاسبه زمان تمرکز برای هر کدام از زیرحوضه‌های ۱۸ گانه منطقه مطالعاتی، میزان عضویت فازی هر یک از آنها با توجه به نظرات کارشناسی و تابع عضویت فازی گسسته به‌دست آمد که در جدول ۷ ارائه داده شده است؛ شکل ۱۲ نیز میزان عضویت فازی زیرحوضه‌ها را نشان می‌دهد.

عضویت فازی بارش دارای مقادیر وزن نسبی کمتری بودند، در نتیجه در تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی پتانسیل سیل‌خیزی منطقه دارای تأثیرگذاری کمتری هستند (شکل ۱۱).

زمان تمرکز به وضعیت توپوگرافی، مساحت، شکل، طول آبراهه اصلی، شیب آبراهه، ناهمواری، زبری مسیر، نوع خاک، تراکم و تیپ پوشش گیاهی، مدیریت و نوع بهره‌برداری از اراضی بستگی دارد (علیزاده، ۱۳۸۵). روش‌های مختلفی برای محاسبه و برآورد



شکل ۱۱: نقشه فازی زیرمعیار حداکثر بارش ۲۴ ساعته

شکل ۱۲: نقشه فازی زیرمعیار زمان تمرکز

طریق تابع فاصله اقلیدسی<sup>۱</sup> با حداکثر فاصله در محیط نرم‌افزاری ArcMap به‌دست آمد. در ادامه، از تابع عضویت فازی Small برای این لایه استفاده شده است (شکل ۱۳)؛ با این تابع فاصله‌های نزدیک به آبراهه‌ها دارای عضویت فازی بالاتری شده و با فاصله گرفتن از آبراهه میزان عضویت فازی کاهش پیدا کرده است.

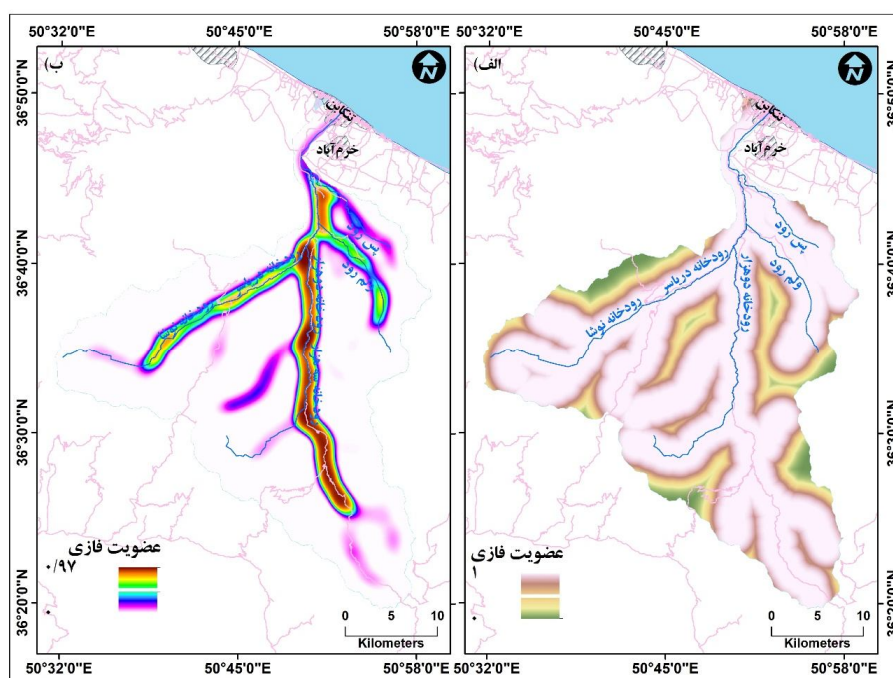
اگر مجموع طول تمام آبراهه‌های حوضه، اندازه‌گیری و بر مساحت حوضه تقسیم شود، عدد به‌دست‌آمده، تراکم شبکه زهکشی است. در این پژوهش، برای محاسبه تراکم شبکه زهکشی در منطقه

آبراهه‌ها در حوضه، عمل تخلیه جریان‌های سطحی را انجام می‌دهند و با فاصله گرفتن از آن، خطر ایجاد سیلاب کاهش می‌یابد. برای استخراج آبراهه‌های حوضه، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استفاده شد. سپس با تفسیر و بررسی اطلاعات موجود در تصاویر دورسنجی و عکس‌های هوایی، دقت‌سنجی و در پایان پس از بازدیدهای میدانی، نقشه مورد نظر استخراج و نهایی شد. پس از استخراج آبراهه‌های حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه کیله تنکابن)، لایه رستری فاصله از آبراهه از

1. Euclidean Distance

سنگ‌شناسی، نفوذپذیری، زمان تمرکز و کاربری اراضی، به صورت گسسته و با توجه به نظر پژوهشگران و کارشناسان تعیین شده است (جدول ۸). برای عوامل شیب، مدل رقومی ارتفاع، حداکثر بارش ۲۴ ساعته و تراکم شبکه زهکشی، با توجه با اثرگذاری مستقیم این عوامل در سیل‌خیزی و ایجاد رواناب، از تابع فازی Large که پیوسته نیز می‌باشد، استفاده شده است. برای عوامل NDVI (تراکم پوشش گیاهی) و فاصله از آبراهه، با توجه به اثرگذاری معکوس آن‌ها در ایجاد سیل‌خیزی و رواناب، از تابع عضویت فازی Small، استفاده گردیده است (جدول ۸).

مطالعاتی از آبراهه‌های استخراج‌شده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تابع تراکم با شعاع جست‌وجوی ۵۰۰۰ متری در محیط نرم‌افزاری ArcMap استفاده شده است. در نهایت، تابع عضویت فازی پیوسته Large برای فازی‌سازی لایه تراکم شبکه زهکشی به کار گرفته شد. بر این اساس، پهنه‌هایی که دارای تراکم زهکشی بیشتری باشند، وزن فازی بیشتری داشته و پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری هم دارند. نقشه عضویت فازی تراکم شبکه زهکشی حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه کیله) در شکل ۱۴ آورده شده است. بدین ترتیب میزان عضویت فازی برای عوامل لن‌دفرم،



شکل ۱۴: نقشه فازی زیرمعیار تراکم شبکه زهکشی

همگن، از ۲۰ پارامتر مختلف شامل حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته، ۱۰ پارامتر فیزیوگرافی، درصد مساحت هر یک از کاربری‌های اراضی (۴ پارامتر) و درصد مساحت سازندهای زمین‌شناسی (۴ پارامتر) استفاده شده است. جهت پرهیز از تأثیر واحدهای اندازه‌گیری و عدم وابستگی به آن‌ها، ابتدا مقادیر پارامترهای استخراج‌شده، استاندارد شدن که در این صورت متغیرها تأثیر غیر متجانسی بر اندازه‌گیری فاصله نخواهند داشت. از

عوامل تأثیرگذار در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک: به منظور شناخت عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک، از تحلیل‌عاملی استفاده شده است. تحلیل‌عاملی از بهترین روش‌ها برای گروه‌بندی و در عین حال خلاصه کردن اطلاعات زیاد است (نصرتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۴۵؛ Helena et al., 2000: 809). برای تعیین مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در سیل‌خیزی سه منطقه

متداول ترین روش ها، روش Z-Score می باشد. در هر مشاهده از یک متغیر تصادفی اگر میانگین داده ها از آن کم شود و به انحراف معیار داده ها تقسیم شود،

مقدار به دست آمده را Z-Score می گویند که از رابطه ۲ حاصل می شود.

جدول ۸: توابع عضویت معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در پهنه بندی سیل خیزی حوضه آبخیز (محاسبات نگارندگان)

معیار	زیرمعیار	تابع عضویت مورد استفاده
توپوگرافی	شیب	پیوسته، Large
	مدل رقومی ارتفاع (DEM)	پیوسته، Large
	لندفرم	گسسته
زمین شناسی	نفوذپذیری	گسسته
	سنگ شناسی	گسسته
پوشش زمین	کاربری اراضی	گسسته
	تراکم پوشش گیاهی (شاخص NDVI)	پیوسته، Small
هیدرواقلمیم	حداکثر بارش ۲۴ ساعته	پیوسته، Large
	تراکم شبکه زهکشی	پیوسته، Large
	فاصله از آبراهه	پیوسته، Small
	زمان تمرکز	گسسته

میان کوه، در گروه همگن دو زیرحوضه های گرمارود، تخت سلیمان، سلجانبار، نوشا، نیاردره، خشچال و سرچشمه رود و در گروه همگن سه زیرحوضه های پس رود، گلستان، لیره سر، یان دشت و خروجی چشمه - کیله قرار گرفته اند. موقعیت جغرافیایی زیرحوضه ها و گروه های همگن هیدرولوژیک منطقه مورد بررسی در شکل ۱۶ آورده شده است.

لازم به ذکر است در این پژوهش تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک به منظور تعیین مهم ترین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل خیزی هر کدام از مناطق همگن حوضه آبخیز رودخانه های سه هزار و دوهزار تنکابن صورت گرفته است؛ بدین صورت که سطح پتانسیل سیل خیزی در هر منطقه همگن مشخص شود. پس از مشخص شدن عضویت فازی کلاس های هر یک از زیرمعیارها با استفاده از FAHP، جهت تهیه لایه های معیارهای چهارگانه توپوگرافی، هیدرواقلمیم، زمین شناسی و پوشش زمین از مقایسه های زوجی معیارها و زیرمعیارها و نظرات کارشناسی استفاده شده است.

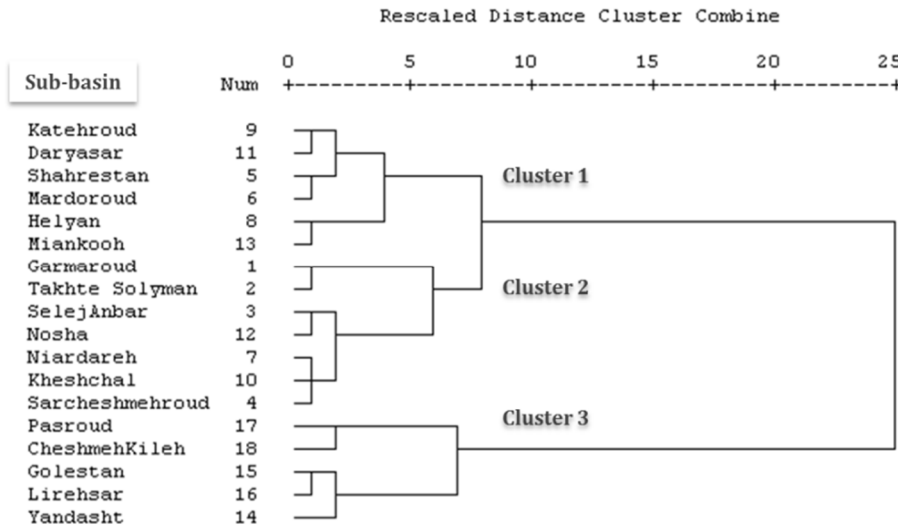
$$\text{رابطه ۲)} \quad Z_i = (X_i - X_m) / S_d$$

در این رابطه  $Z_i$  عدد استاندارد شده،  $X_i$  مقدار داده،  $X_m$  میانگین داده ها و  $S_d$  انحراف معیار داده ها است. سپس پارامترهای استاندارد شده مورد تحلیل عاملی قرار گرفته و میزان همبستگی هر کدام از اجزای این پارامترها با مقدار پتانسیل سیل خیزی به دست آمده از FAHP در عامل های مختلف مشخص و مهم ترین پارامترهای تأثیرگذار در پتانسیل سیل خیزی حوضه تعیین می شوند.

### یافته های پژوهش

با توجه به نتایج حاصل از تحلیل خوشه ای بر اساس پارامترهای به کار گرفته شده، ۱۸ زیر حوضه مطالعاتی چشمه کیله در سه گروه همگن هیدرولوژیک قرار می گیرند که در شکل ۱۵ این سه گروه نشان داده شده است؛ این سه گروه در فاصله اقلیدسی کمتر از ۱۰ خوشه بندی شده اند. هر خوشه گروهی از زیرحوضه هاست که بیشترین همانندی را با یکدیگر دارند. در گروه همگن یک زیرحوضه های کتهورد، دریاسر، شهرستان، مردورود، هلیان و

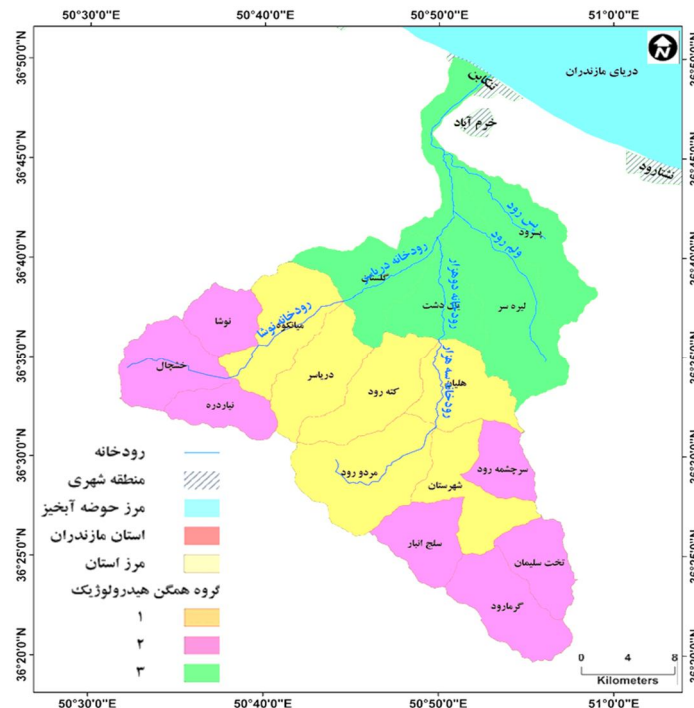




شکل ۱۵: نمودار درختی حاصل از تحلیل خوشه‌ای برای تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک

توپوگرافی هستند که بر اساس نظرات کارشناسی و محاسبه‌های اعداد مثلثی فازی روش FAHP، زیرمعیار شیب با ۰/۳۸، دارای بیشترین وزن نسبی بوده و زیرمعیارهای لندفرم و مدل رقومی ارتفاع با وزن‌های نسبی ۰/۳۶۸ و ۰/۲۵۳ در رتبه‌های بعدی اثرگذاری قرار دارند؛ بنابراین مهم‌ترین زیرمعیار توپوگرافی در تهیه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مطالعاتی شیب می‌باشد (جدول ۹).

با انجام این مرحله، وزن نسبی هر کدام از زیرمعیارها برای تهیه لایه معیار مربوطه به دست آمد. این وزن حاصل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بیانگر آن است که هر کدام از زیرمعیارها به چه میزان در تهیه نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله تنکابن) نقش دارند. شیب، مدل رقومی ارتفاع و لندفرم زیرمعیارهای مربوط به معیار



شکل ۱۶: موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌ها و مناطق همگن هیدرولوژیکی حوضه چشمه‌کیله تنکابن

جدول ۹: زیرمعیارهای توپوگرافی و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (محاسبات نگارندگان)

توپوگرافی	شیب	مدل رقومی ارتفاع	لندفرم	وزن نهایی
شیب	(۱، ۱، ۱)	(۲، ۳/۲، ۱)	(۳/۲، ۱، ۱/۲)	۰/۳۷۹۸
مدل رقومی ارتفاع	(۱، ۲/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱)	(۲، ۱، ۲/۳)	۰/۲۵۲۶
لندفرم	(۲، ۱، ۲/۳)	(۳/۲، ۱، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱)	۰/۳۶۷۶

زیرمعیارهای سنگ‌شناسی و نفوذپذیری مربوط به معیار زمین‌شناسی هستند که با توجه به نظرات کارشناسی و محاسبه‌های اعداد مثلثی فازی روش FAHP، وزن نسبی محاسبه شده برای زیرمعیار نفوذپذیری ۰/۵۳۹ و برای زیرمعیار سنگ‌شناسی ۰/۴۶۱ است که نشان می‌دهد نفوذپذیری، زیرمعیار

اثرگذارتری در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه مورد مطالعه است (جدول ۱۰). برای تهیه لایه پوشش زمین از دو زیرمعیار تراکم پوشش گیاهی (NDVI) و کاربری اراضی استفاده شده است. وزن نسبی محاسبه شده برای تراکم پوشش گیاهی ۰/۶۸۴ و برای کاربری اراضی ۰/۳۱۶ است (جدول ۱۱).

جدول ۱۰: زیرمعیارهای زمین‌شناسی و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (محاسبات نگارندگان)

زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی	نفوذپذیری	وزن نهایی
سنگ‌شناسی	(۱، ۱، ۱)	(۳/۲، ۱، ۱/۲)	۰/۴۶۱۶
نفوذپذیری	(۲، ۱، ۲/۳)	(۱، ۱، ۱)	۰/۵۳۸۶

جدول ۱۱: زیرمعیارهای پوشش زمین و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

پوشش زمین	تراکم پوشش گیاهی	کاربری اراضی	وزن نهایی
تراکم پوشش گیاهی	(۱، ۱، ۱)	(۲، ۳/۲، ۱)	۰/۴۶۱۶
کاربری اراضی	(۱، ۲/۳، ۱/۲)	(۱، ۱، ۱)	۰/۵۳۸۶

معیار هیدرواقلیم شامل زیرمعیارهای حداکثر بارش ۲۴ ساعته، فاصله از آبراهه، تراکم شبکه زهکشی و زمان تمرکز می‌شود. وزن نسبی محاسبه شده بر اساس نظرات کارشناسی و محاسبه‌های اعداد مثلثی فازی روش FAHP برای زیرمعیارهای حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ۰/۴۲۷۹، فاصله از آبراهه ۰/۱۵۷۹، تراکم

شبکه زهکشی ۰/۴۱۴۶ و زمان تمرکز ۰/۳۴۱۵ به دست آمده است. پس مهم‌ترین زیرمعیار مربوط به هیدرواقلیم در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مطالعاتی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته است (جدول ۱۲).

جدول ۱۲: زیرمعیارهای هیدرواقلیم و وزن به دست آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (محاسبات نگارندگان)

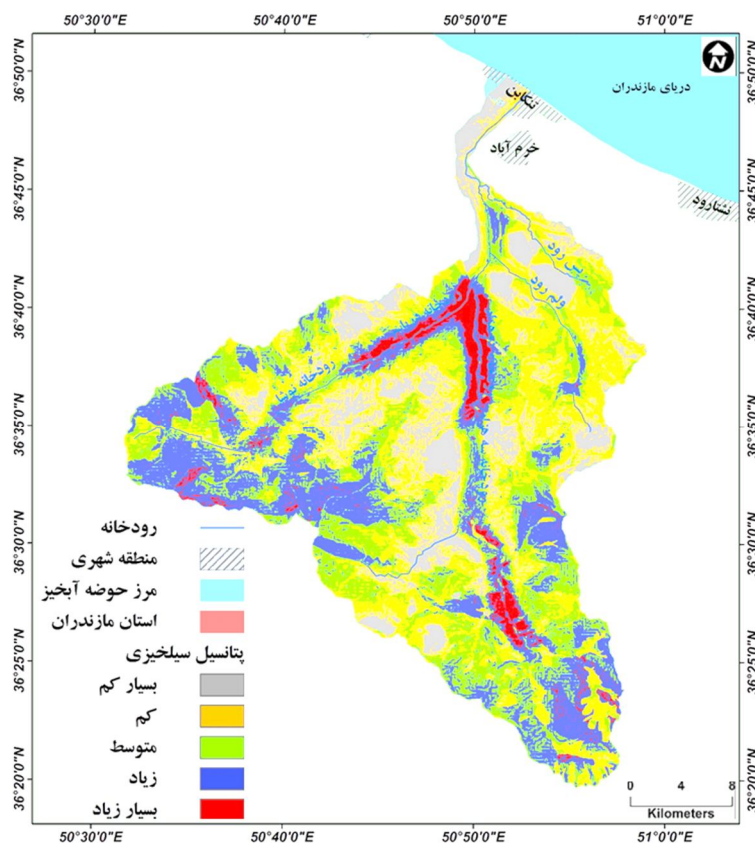
هیدرواقلیم	بارش	فاصله از آبراهه	تراکم شبکه زهکشی	زمان تمرکز	وزن نهایی
بارش	(۱، ۱، ۱)	(۵/۲، ۲، ۳/۲)	(۳/۲، ۱، ۱/۲)	(۲، ۳/۲، ۱)	۰/۴۲۷۹
فاصله از آبراهه	(۲/۳، ۱/۲، ۲/۵)	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۲/۳، ۱/۲)	(۲، ۳/۲، ۱)	۰/۱۵۷۹
تراکم زهکشی	(۲، ۱، ۲/۳)	(۲، ۳/۲، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۳/۲، ۱، ۱/۲)	۰/۴۱۴۶
زمان تمرکز	(۱، ۲/۳، ۱/۲)	(۱، ۲/۳، ۱/۲)	(۲، ۱، ۲/۳)	(۱، ۱، ۱)	۰/۱۵۵۷

رابطه ۳ شکل عمومی مدل‌سازی فضایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را با استفاده از FAHP نشان می‌دهد که در محیط ArcMap و با تلفیق لایه معیارها به دست آمده است. نقشه نهایی طبقات

پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز مورد بررسی در شکل ۱۷ آورده شده است. نتایج ارائه شده در جدول ۱۳ نشان می‌دهد که کلاس پتانسیل سیل‌خیزی بسیار زیاد ۴۴ کیلومتر مربع معادل ۵ درصد از گستره

قرار گرفتن در مسیر آبراهه‌های اصلی حوضه مطالعاتی و زیرحوضه‌های با زمان تمرکز پایین، بیشترین نقش را در تولید رواناب و بالا بودن پتانسیل سیل‌خیزی این بخش از منطقه مطالعاتی دارند.

منطقه مورد بررسی را تشکیل می‌دهد؛ تراکم بالای شبکه زهکشی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته دریافتی زیاد، سازندهای با نفوذپذیری کم و مستعد ایجاد رواناب و سیلاب، لندفرم‌های مستعد ایجاد رواناب و سیلاب،



شکل ۱۷: نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن

پتانسیل سیل‌خیزی در پهنه‌های از سطح منطقه گسترش دارد که به دلیل تراکم زهکشی بالا، شیب و ارتفاع زیاد، تراکم کم پوشش گیاهی، نفوذپذیری کم سازندهای زمین‌شناسی و کاربری‌های مستعد سیل‌خیزی، همواره با خطرپذیری ناشی از سیلاب مواجه بوده و جزء مناطق پرخطر می‌باشند.

رابطه (۳)

$$\text{پتانسیل سیل‌خیزی} = (\text{توپوگرافی} \times 0.2695) + (\text{هیدرواقليم} \times 0.3415) + (\text{زمین‌شناسی} \times 0.2305) + (\text{پوشش زمین} \times 0.1558)$$

کلاس سیل‌خیزی با پتانسیل زیاد دارای ۲۰۸/۸ کیلومتر مربع مساحت است که ۲۱/۹ درصد از کل حوضه را به‌خود اختصاص داده است. این طبقه

جدول ۱۳: مساحت کلاس‌های پتانسیل سیل‌خیزی در حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (محاسبات نگارندگان)

درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	پتانسیل سیل‌خیزی
۱۶	۱۵۲	بسیار کم
۲۷	۲۵۹	کم
۳۰	۲۹۲	متوسط
۲۲	۲۰۹	زیاد
۵	۴۴	بسیار زیاد

پس از پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی مبتنی بر ۴ معیار ذکر شده، ۲۰ پارامتر برای تشخیص تغییرپذیری یا به عبارتی تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل هر کدام از مناطق همگن انتخاب شدند. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل‌عاملی بر روی ۲۰ پارامتر منتخب در مناطق همگن هیدرولوژیک، پارامترهایی را که با پتانسیل سیل‌خیزی همبستگی بالای ۰/۷۵ داشته باشند، در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه آبخیز تأثیرگذار هستند. تحلیل‌عاملی نشان داد که در مناطق همگن هیدرولوژیک، بر اساس ۲ عامل و ۲۰ متغیر، ۱۰۰ درصد واریانس داده‌ها توجیه شده است (جدول ۱۴). در این پژوهش عامل دوم که پتانسیل سیل‌خیزی آن، بار عاملی ۰/۹۹۵ را نشان می‌دهد، مورد تحلیل قرار گرفته است که ۵۱/۱ درصد از واریانس کل را توجیه می‌کند. با توجه به جدول ۱۵ و نتایج حاصل از تحلیل‌عاملی با چرخش دورانی واریانس، در عامل دوم پارامترهای مساحت، طول آبراهه اصلی، تراکم شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، ضریب شکل هورتن، زمان تمرکز، درصد اراضی جنگل، درصد اراضی مرتع و درصد اراضی با نفوذپذیری زیاد، همبستگی بالایی (بیشتر از ۰/۷۵) را با پتانسیل سیل‌خیزی نشان داده‌اند.

بیشترین مساحت از منطقه مطالعاتی در طبقه سیل‌خیزی متوسط قرار دارند؛ این طبقه ۲۹۲ کیلومتر مربع گسترش دارد که معادل ۳۰ درصد از کل منطقه است. پهنه‌هایی که اگرچه پتانسیل سیل‌خیزی آن‌ها بالا نبوده و می‌توان با انجام عملیات صحیح مدیریتی در سطح حوضه از وقوع سیلاب‌های پرخطر در آن‌ها جلوگیری نمود، اما طی سال‌های اخیر فعالیت‌هایی همچون تغییر کاربری اراضی (تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی و به اراضی کشاورزی و مسکونی)، جنگل‌تراشی و حذف پوشش‌های گیاهی متراکم، تعرض در حریم رودخانه‌ها و تسطیح اراضی و فعالیت‌های معدنی مرتبط با شن و ماسه در مسیر رودخانه موجب شده است تا این اراضی هم پتانسیل بیشتری برای سیل‌خیزی داشته باشند؛ بنابراین، این پهنه‌ها از نظر مدیریت آبخیزداری باید مورد توجه ویژه باشند. طبقات با پتانسیل سیل‌خیزی کم و بسیار کم با ۲۵۹ و ۱۵۲ کیلومتر مربع به ترتیب شامل ۲۷ و ۱۶ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی می‌شود؛ پهنه‌هایی که به دلیل تراکم پوشش گیاهی بالا، تراکم کم شبکه زهکشی و دوری از مسیر آبراهه‌های اصلی، پوشش خاک متوسط تا ضخیم و همچنین ارتفاع و شیب کم و قرار گرفتن در دشت‌ها، پتانسیل سیل‌خیزی کمتری دارند.

جدول ۱۴: مقادیر ویژه واریانس توجیه‌شده پارامترهای مؤثر در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک (محاسبات نگارندگان)

عامل	مقادیر ویژه اولیه		مقادیر تجمعی واریانس	درصد واریانس
	تجمعی	کل		
۱	۷۳/۲	۱۴/۶	۵۱/۱	۵۱/۱
۲	۱۰۰	۵/۴	۱۰۰	۴۸/۹

مناطق همگن هیدرولوژیک مورد بررسی، مساحت است. از طرفی، پارامترهای درصد مساحت اراضی جنگلی و درصد مساحت اراضی مرتعی به ترتیب با ۰/۸۶۸- و ۰/۷۸۵- به صورت قوی منفی با پتانسیل سیل‌خیزی منطقه در ارتباط هستند؛ بنابراین به هر میزان پوشش جنگلی و مرتعی اراضی منطقه بیشتر باشد، از پتانسیل سیل‌خیزی آن کاسته می‌شود.

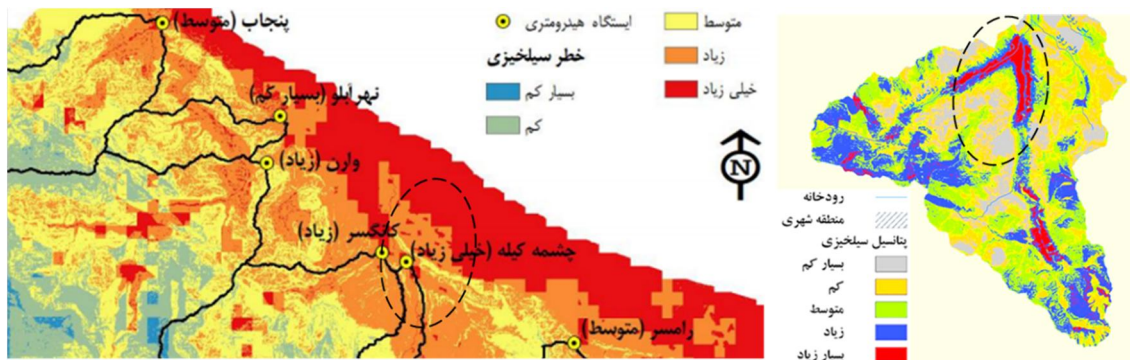
در این میان پارامترهای مساحت، طول آبراهه اصلی، تراکم شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، ضریب شکل هورتن، ضریب شکل گراویلیوس، زمان تمرکز، بارش و درصد مساحت اراضی با نفوذپذیری زیاد به ترتیب با بارهای عاملی ۰/۹۹۷، ۰/۹۹۳، ۰/۸۳۵، ۰/۹۹۴، ۰/۹۹۵، ۰/۷۵۹، ۰/۸۰۶ و ۰/۹۹۹ به صورت مثبت قوی با عامل پتانسیل سیل‌خیزی ارتباط دارند که در این میان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی

جدول ۱۵: ماتریس دورانی واریماکس پارامترهای مؤثر در پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار چشمه‌کیله تنکابن (محاسبات نگارندگان)

پارامتر	عامل ۱	عامل ۲
پتانسیل سیل خیزی	۰/۱۰۲	۰/۹۹۵
بارش سالانه (میلیمتر)	۰/۷۹۵	۰/۸۰۶
مساحت (کیلومتر مربع)	۰/۰۷۷	۰/۹۹۷
متوسط ارتفاع (متر)	-۰/۷۴۸	-۰/۶۶۴
شیب (درصد)	-۰/۹۵۶	-۰/۲۹۴
طول آبراهه اصلی (کیلومتر)	۰/۳۶۷	۰/۹۳
مجموع طول آبراهه‌ها (کیلومتر)	-۰/۹۶۵	-۰/۲۶۲
تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	-۰/۰۵۵	۰/۸۳۵
نسبت انشعاب	-۰/۱۱	۰/۹۹۴
شکل حوضه (هورتن)	-۰/۱۰۲	۰/۹۹۵
ضریب گراولییوس	۰/۶۷۵	۰/۷۳۸
زمان تمرکز (ساعت)	۰/۶۵۱	۰/۷۵۹
درصد مساحت جنگل	۰/۴۹۷	-۰/۸۶۸
درصد مساحت مرتع	-۰/۰۶۲	-۰/۷۸۵
درصد مساحت اراضی شهری	۰/۹۶۶	-۰/۲۵۷
درصد مساحت اراضی کشاورزی	۰/۹۰۴	۰/۴۲۸
درصد سازند کم‌تراوا	-۰/۹۷۹	-۰/۲۰۵
درصد سازند نسبتاً کم‌تراوا	-۰/۹۸۷	-۰/۱۵۹
درصد سازند نسبتاً تراوا	۰/۷۳۵	۰/۶۷۸
درصد سازند تراوا	۰/۱۳۸	۰/۹۹

توجه به این نقشه مشاهده می‌شود که خروجی حوضه آبخیز چشمه‌کیله (رودخانه‌های دوهزار و سه‌هزار) در طبقه با خطر سیل خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.

آنچه که به‌عنوان نقشه نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی در این مطالعه ارائه شده است با نتایج و نقشه‌های مطالعات رحمانی و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد. نقشه خطر سیل خیزی تهیه‌شده توسط پژوهشگران نامبرده در شکل ۱۸ آورده شده است. با



شکل ۱۸: مقایسه نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل خیزی تهیه‌شده در این پژوهش (شکل سمت راست) با نقشه تهیه‌شده در مطالعات رحمانی و همکاران در سال ۱۳۹۸ (شکل سمت راست)

### نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به دلیل وقوع سیلاب‌های مکرر در حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن (چشمه کیله) و متعاقب آن ایجاد خسارات ناشی از سیل، لزوم توجه به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی به‌ویژه در زمین‌های حاشیه رودخانه‌های اصلی حوضه مورد بررسی بیش از پیش نمایان می‌شود. در این پژوهش، با رویکردی مبتنی بر دیدگاه سیستمی در یک حوضه آبخیز (ارتباط متقابل تمام عناصر موجود در حوضه)، بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، پوشش اراضی و هیدرواقليمی اقدام به شناسایی مناطق همگن هیدرولوژیک گردید. با انجام این مرحله، سه منطق همگن هیدرولوژیک در حوضه آبخیز تعیین شد؛ تعیین مناطق همگن کاربردهای متنوعی دارد که از کاربردهای حاصل از آن می‌توان به اجرای عملیات اصلاحی و حفاظتی (سازوکارهای مقابله با سیلاب) اشاره نمود که در نحوه اجرای عملیات، زیرحوضه‌های موجود در یک منطقه همگن نیاز به عملیات یکسانی دارند و همین موضوع به ساده‌تر شدن عملیات حفاظتی در مناطق همگن کمک خواهد کرد.

با بهره‌گیری از ۴ معیار توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش اراضی و هیدرواقليم و به کار بردن روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در مناطق همگن هیدرولوژیک گردید. تراکم بالای شبکه زهکشی، حداکثر بارش ۲۴ ساعته دریافتی زیاد، سازندهای با نفوذپذیری کم و مستعد ایجاد رواناب و سیلاب، لندفرم‌های مستعد ایجاد رواناب و سیلاب، قرار گرفتن در مسیر آبراهه‌های اصلی حوضه مطالعاتی و زیرحوضه‌های با زمان تمرکز پایین، بیشترین نقش را در تولید رواناب و بالا بودن پتانسیل سیل‌خیزی منطقه مطالعاتی دارند. بیشترین مساحت از منطقه مطالعاتی در طبقه سیل‌خیزی متوسط قرار دارد؛ پهنه‌هایی که اگرچه پتانسیل سیل‌خیزی آن‌ها بالا نبوده و می‌توان با انجام عملیات صحیح مدیریتی در سطح حوضه از وقوع سیلاب‌های

پرخطر در آن‌ها جلوگیری نمود، اما طی سال‌های اخیر فعالیت‌هایی همچون تغییر کاربری اراضی (تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی و به اراضی کشاورزی و مسکونی)، جنگل‌تراشی و حذف پوشش‌های گیاهی متراکم، تعرض در حریم رودخانه‌ها و تسطیح اراضی و فعالیت‌های معدنی مرتبط با شن و ماسه در مسیر رودخانه موجب شده است تا این اراضی هم، پتانسیل بیشتری برای سیل‌خیزی داشته باشند؛ بنابراین این پهنه‌ها از نظر مدیریت آبخیزداری باید مورد توجه ویژه باشند. حال بر اساس آنچه که تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی مناطق سه‌گانه همگن است، پارامترهای مساحت، طول آبراهه اصلی، تراکم شبکه زهکشی، نسبت انشعاب، ضریب شکل هورتن، زمان تمرکز، درصد اراضی جنگل، درصد اراضی مرتع، بارش و درصد اراضی با نفوذپذیری زیاد، همبستگی بالایی را با پتانسیل سیل‌خیزی نشان داده‌اند. در انتهای این بحث، پیشنهادهایی ارائه می‌شود که می‌تواند هم به افزایش کیفیت این پژوهش و پژوهش‌های آتی کمک نماید و هم در نهایت به رویکردی جامع برای کاهش خسارت‌های ناشی از تولید رواناب و سیلاب در حوضه آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار منجر گردد. با توجه به سابقه تاریخی رخداد سیل در منطقه مورد مطالعه، لزوم داشتن یک نقشه جامع و دقیق که بتواند مناطق مستعد سیل‌خیز و سیل‌گیر را نشان دهد، بیش از پیش مشهود و ضروری می‌نماید؛ لذا در این پژوهش، با توجه به قابلیت‌های ارائه شده برای روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی سیلاب، سعی شده است با استفاده از این مدل پهنه‌بندی، وضعیت منطقه در بخش‌های مختلف از نظر حساسیت سیل‌خیزی و سیل‌گیری تشریح و فاکتورهای تأثیرگذار تعیین شود. توصیه می‌شود هرگونه تغییر کاربری اراضی، برنامه‌ریزی و مدیریت و فعالیت‌های بیولوژیک یا مکانیکی در حوضه مورد پژوهش، بر اساس نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی تهیه‌شده، انجام شود.

## منابع

۱. اسکندری نژاد، فاطمه. اکتام مرتضی اف و آرتوبلسکی موسی اف. ۱۳۹۴. بررسی پتانسیل سیل خیزی حوضه نمود و تأثیر آن بر ویژگی های اقتصادی- اجتماعی منطقه و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت آن. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره چهارم، شماره ۱ (پیاپی ۱۳)، صص ۷۵-۸۹.
۲. اعلمی، محمد تقی. لیلیا ملکانی و محمد علی قربانی. ۱۳۹۴. مدل سازی بارش - رواناب در حوضه لیقوان - چای با استفاده از مدل اتومای سلولی. پژوهش های ژئومورفولوژی کمی، دوره سوم، شماره چهارم، صص ۶۰-۷۳.
۳. بروشکه، ابراهیم. رضا سکوتی. مجید منتظری و افشین قهرمانی. ۱۳۸۵. بررسی پدیده سیل و پهنه بندی آن با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی حوضه آبخیز سد بارون). هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، ۲۴ تا ۲۶ بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۸ ص.
۴. پناهی، رؤیا. محمد مهدی حسین زاده و سمیه خالقی. ۱۳۹۸. پهنه بندی مخاطره سیلاب به منظور تعیین حریم رودخانه ها (مطالعه موردی: رودخانه گاماسیاب). اکوهیدرولوژی، دوره ۶، شماره ۲، صص ۵۵۳-۵۶۷.
۵. پوراحمد، احمد. ۱۳۸۱. نقش ساختار جغرافیایی در سیل مرداد ماه ۱۳۷۸ شهر نکا. محیط شناسی، دوره ۲۸، شماره ۲۹، صص ۵۹-۷۰.
۶. ثقفیان، بهرام. حسن فرازجو. عادل سپهر و علی نجف نژاد، ا. ۱۳۸۵. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر روی شرایط سیلاب در حوضه آبخیز سد گلستان. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۲، شماره ۱، صص ۱۸-۲۸.
۷. جهادی طرقي، مهناز و رضا حسین زاده. ۱۳۹۰. واکنش سیستم های رودخانه ای به رخدادهای سیلابی بزرگ (نمونه موردی: رودخانه مادرسو). پژوهش های فرسایش محیطی، دوره ۱، شماره ۴، صص ۶۸-۷۵.
۸. جهانشاهی، افشین. کاکا شاهی. کریم سلیمانی و علیرضا مقدم نیا. ۱۳۹۸. تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی در غرب حوضه هامون - جازموریان. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۲۲۳-۲۳۵.
۹. خسروانی، محمد. و بهرام ثقفیان. ۱۳۸۴. اولویت بندی وضعیت سیل خیزی، راهبرد کنترل و اندازه گیری های سیل در حوضه های آبخیز. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۲، شماره ۲، صص ۱۲-۱۹.
۱۰. رحمانی، شیما. اصغر عزیزیان و امیر صمدی. ۱۳۹۸. تعیین درجه خطر سیل خیزی حوضه های آبریز استان مازندران با استفاده از یک روش توزیعی مبتنی بر GIS. فصل نامه هیدرولیک، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۲۳-۱۳۹.
۱۱. رضایی، پرویز. (۱۳۸۸). تحلیل همبندی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله. پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۶۸، صص ۱۰۸-۱۱۸.
۱۲. روغنی، محمد. عبدالمحمد غفوری و سید محمود رضا طباطبایی. ۱۳۸۶. روشی نوآورانه برای اولویت بندی زیرحوضه های آبخیز جهت کنترل سیلاب. نشریه بین المللی مشاهده و اطلاعات کاربردی زمین، دوره ۹، صص ۷۹-۸۷.
۱۳. شادفر، صمد. ۱۳۹۶. اولویت بندی پتانسیل سیل خیزی واحدهای هیدرولوژیکی با استفاده از GIS. ترویج و توسعه آبخیزداری، دوره ۵، شماره ۱۸، صص ۱۹-۲۴.
۱۴. علی عسگری کاشانی، آرزو. مهدی ذاکری نیا. مجید حیدری زاده و حسین شریفان. ۱۳۹۳. تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی و توابع توزیع منطقه ای به روش گشتاورهای خطی در استان گلستان. پژوهش های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۱، شماره ۱، صص ۱-۲۱.
۱۵. قاسمی، علی. علی سلاجقه. آرش ملکیان و اباذر اسمعیلی عوری. ۱۳۹۳. بررسی سیل خیزی و تعیین عوامل مؤثر در آن در حوضه رودخانه بالقی چای با استفاده از تکنیک GIS. AHP و RS. محیط شناسی، دوره ۴۰، شماره ۲، صص ۳۸۹-۴۰۰.
۱۶. قنواتی، عزت الله. امیر کرم و مرضیه آقاعلی خانی. ۱۳۹۰. پهنه بندی خطر سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، دوره ۲۳، شماره ۴ (پیاپی ۴۸)، صص ۱۲۱-۱۳۸.
۱۷. محمدی، مژده. حسین ملکی نژاد و حمیده افخمی. ۱۳۹۶. همگن بندی هیدرولوژیکی به روش همبستگی متعارف (مطالعه موردی: حوضه های اصفهان - سیرجان و دشت یزد - اردکان). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، دوره ۱۱، شماره ۳۸، صص ۱۱-۲۴.
۱۸. نصرتی، کاظم. محمود احمدی. محمد رضا ثروتی و مهدی مزبانی. ۱۳۹۲. تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل خیزی حوضه آبخیز دره شهر بر اساس مناطق

- land cover change analysis. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(4): 15-926.
23. Patil, Jyoti. Arjamadutta Sarangi. Ajay Kumar Singh and Taqueer Ahmad. 2008. Evaluation of modified CN methods for watershed runoff estimation using a GIS-based interface. *Biosystems Engineer*, 100(1): 137-146.
24. Sinha, Rajiv. Venkata Ganugula Bapalu. Lamabam Kamal Singh and Bhakta Rath. 2008. Flood Risk Analysis in the Kosi River Basin, North Bihar Using Multi-Parametric Approach of Analytical Hierarchy Process (AHP). *Journal of Indian Society Remote Sensing*, 36: 335-349.
25. Yu, Guo. Daniel Wright. Zhihua Zhu. Cassia Smith and Kathleen Holman. 2019. Process-based flood frequency analysis in an agricultural watershed exhibiting nonstationary flood seasonality. *Hydrology and Earth System Science*, 23(5): 2225-4443.
26. Zhang, Jiquan. Norio Okada. Hirokazu Tatano and Seiji Hayakawa. 2002. Risk Assessment and Zoning of Flood Damage Caused by Heavy Rainfall in Yamaguchi Prefecture, *Journal of Flood Defense*, 42: 162-169.
- همگن هیدرولوژیک. آمایش جغرافیایی فضا، دوره ۳، شماره ۸، صص ۱۱۹-۱۳۶.
۱۹. نصرتی، کاظم، خهبات درفشی. سعیده قره‌چاهی و خلیل رحیمی. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب سطح حوزه آبریز هراز - قره‌سو با استفاده از تکنیک‌های آماری چند متغیره. پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۲، شماره ۵، صص ۴۱-۵۵.
20. Helena, Beatriz, Rafael Pardo. Marisol Vega. Enrique Barrado. Jose Manuel Fernandez and Luis Fernandez. 2000. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Resources*, 34(3): 807-816.
21. Lan, YYingynig. Faliang Guil. Dongnan Luo. Youqin Zou and Hua Bai. 2019. Study of flood control safety evaluation based on composite risk model. *Natural hazards and earth system sciences*, <https://doi.org/10.5194/nhess-2019-236> Preprint. Discussion started: 25 July 2019.
22. Miller, Scott. N. William Kepner. Megan Mehaffey. Mariano Hernandez. Ryan Miller. David Goodrich. Kim Devonald. Daniel Heggem and Paul Miller. 2002. Integrating landscape assessment and hydrologic model for