مجله آمایش جغرافیایی فضا،
فصلنامه علمی- پژوهشی دانشگاه گلستان
سال دهم/ شماره مسلسل سی و هشتم/ زمستان ۱۳۹۹ / صفحات: ۲۵۸-۲۳۵

تعیین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک. مطالعهٔ موردی: حوضه‌های آبخیز سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله) تنکابن

احمد کیا[۱]، شهریار خالدی[۲*]، غلامرضا جانباز قبادی[۳]

[۱]دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور
[۲]استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران
[۳]استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور

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

چکیده

در سال‌های اخیر به‌دلیل وقوع سیلاب‌های مکرر در حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن (چشمه‌کیله) و متعاقب آن ایجاد خسارات ناشی از سیل در محدودهٔ شهری تنکابن، لزوم توجه به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی را به‌ویژه در زمین‌های حاشیه رودخانه‌های اصلی حوضهٔ مورد بررسی بیش از پیش نمایان ساخته است. در این پژوهش، با رویکردی مبتنی بر دیدگاه سیستمی در یک حوضهٔ آبخیز، در ابتدای کار بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، پوشش اراضی و هیدرواقلیمی، با استفاده از تحلیل خوشه‌ای اقدام به شناسایی مناطق همگن هیدرولوژیک گردید؛ با انجام این مرحله، سه منطق همگن هیدرولوژیکی در حوضهٔ آبخیز تعیین شد. در گام دوم، با بهره‌گیری از ۴ معیار توپوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش اراضی و هیدرواقلیم و به‌کار بردن روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، اقدام به پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در مناطق همگن هیدرولوژیک شد. نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در منطقهٔ مطالعاتی نشان داد که بیشترین مساحت از منطقهٔ مطالعاتی در طبقهٔ سیل‌خیزی متوسط قرار دارند؛ در نهایت، به‌منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه از تحلیل‌عاملی استفاده گردید. یافته‌های تحلیل‌عاملی 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 آبراههٔ 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 که در این میان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک مورد بررسی، عامل مساحت با بار عاملی ۰/۹۹۷ است.

واژه‌های کلیدی: مناطق همگن هیدرولوژیک، پتانسیل سیل‌خیزی، تحلیل خوشه‌ای، تحلیل‌عاملی، حوضه‌های آبخیز سه‌هزار و دوهزار

مقدمه

جهت ارائه برنامه‌ریزی صحیح مدیریتی در سطح حوضه‌های آبریز، دانستن اطلاعات رواناب و سیلاب، نیاز اساسی به مدیریت منابع آب و مسائل مهندسی آب دارد. سیلاب‌ها عموماً در دره‌های خشک که داده‌های اندازه‌گیری‌شده ندارند، رخ می‌دهند (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۹۰؛ اعلمی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۲؛ پناهی و همکاران، ۱۳۹۸: ۵۵۴)؛ بنابراین، توسعهٔ روش‌های تخمین رواناب، شبیه‌سازی و پهنه‌بندی

*نویسنده مسئول: shahriar_khaledi6@yahoo.com

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. به‌طورکلی 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 به‌طورکلی 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 به‌وجودآورندهٔ 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).

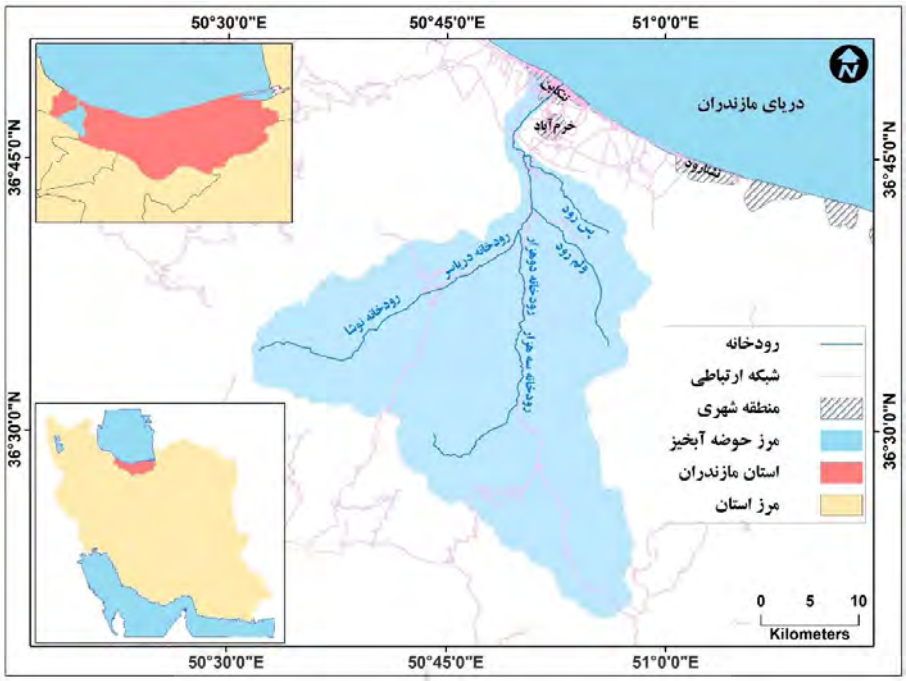
Yu و همکاران در سال ۲۰۱۹ در پژوهشی با عنوان تحلیل فراوانی سیلاب مبتنی فرآیند در یک حوضهٔ کشاورزی که رفتار فصلی متغیری به‌لحاظ سیلاب دارد، با استفاده از روش تحلیل فراوانی سیل معمولی (FFA) مبتنی بر فرآیند، سناریوهایی را برای ایجاد تعداد زیادی از بارش‌های طوفانی بر اساس آمار سنجش از دور بارش نسبتاً کوتاه را در حوضهٔ 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 کنترل‌کنندهٔ 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 سالهٔ مخزن ژلین، از سطح طغیان طراحی شده فراتر می‌رود. اسکندری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی با عنوان بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ نمرود و تأثیر آن بر ویژگی‌های اقتصادی - اجتماعی منطقه و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت آن، انجام داده‌اند. هدف اصلی این پژوهش تعیین پهنه‌های سیل‌خیز و سیل گیر، حوضه رودخانه با استفاده از منطق فازی است. با توجه به نقشهٔ 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 (مطالعهٔ موردی: حوضه صفارود)، حوضهٔ 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 پهنهٔ زیاد و ۷۴/۱۳ درصد در پهنهٔ خیلی زیاد از لحاظ پتانسیل سیل‌خیزی قرار دارند.

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 (پوراحمد، 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 مخاطرهٔ یاد شده ذکر کرد. در این پژوهش نیز که هدف اصلی آن پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز سه هزار و دو هزار 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[1] به تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک پرداخته می‌شود. سپس عوامل مؤثر در پهنه‌بندی سیل‌خیزی منطقه شناسایی و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی[2]، پتانسیل سیل‌خیزی در حوضهٔ آبخیز پهنه‌بندی می‌گردد؛ در نهایت، از طریق تحلیل‌عاملی[3]، مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک تعیین می‌شود.

منطقهٔ مطالعاتی

رودخانه‌های دوهزار و سه‌هزار تنکابن منطبق بر بخشی از حوضهٔ آبخیز چشمه‌کیله است که در جنوب شهر تنکابن قرار دارد. حوضهٔ 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″۴۴ ′۳۱ °۵۰ تا ″۴۱ ′۵۹ °۵۰ طول شرقی و ″۴۲ ′۱۹ °۳۶ تا ″۰۸ ′۵۰ °۳۶ عرض شمالی واقع گردیده است (شکل ۱). قلمرو مورد مطالعه از بخش شمالی به دریای مازندران، از بخش شرقی به حوضهٔ آبخیز رودخانه نشتارود، از بخش جنوبی به حوضهٔ آبخیز رودخانه الموت‌رود- شاهرود و از بخش غربی به حوضه‌های شیرود و چالکرود محدود می‌گردد. رودخانه‌های دو هزار 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.

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



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضهٔ 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 به‌این‌که در منطقهٔ مطالعاتی، به جهت تنوع محیطی زیاد پارامترهای توپوگرافی، فیزیوگرافی، زمین‌شناسی، پوشش اراضی و هیدرواقلیمی، پتانسیل سیل‌خیزی دارای پراکنش فضایی متغیر است، همگن‌بندی زیرحوضه‌ها می‌تواند گامی مؤثر در ارائه الگویی کاربردی از پهنه‌بندی سیل‌خیزی باشد؛ به‌طوری‌که بتوان زیرحوضه‌هایی که از نظر برخی از ویژگی‌ها به‌هم 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 فاصلهٔ اقلیدسی از طریق ۲۴ ویژگی مربوط به ۱۸ زیرحوضهٔ موجود در حوضهٔ 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 آبراههٔ 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 زیرحوضهٔ مورد بررسی استخراج شده است. جدول ۱ پارامترهای مورد استفاده در تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک را

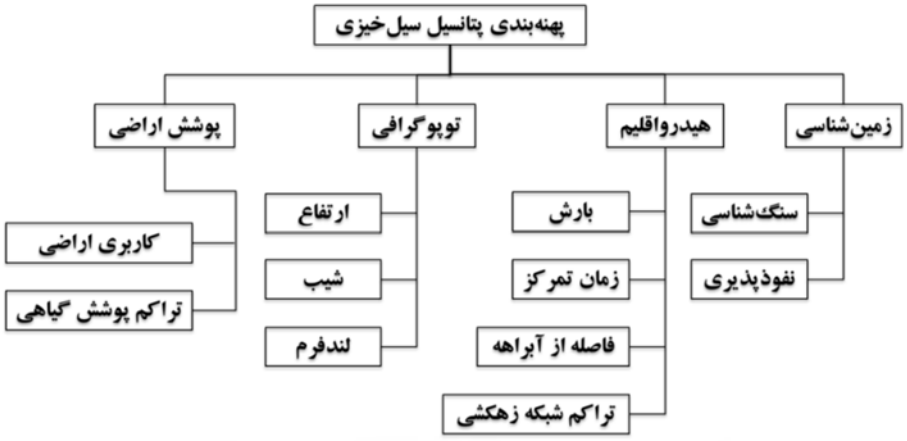
به‌طور نمونه برای تعدادی از زیرحوضه‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. منابع داده‌ای به‌کار گرفته‌شده برای استخراج این پارامترها عبارتند از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (سازمان نقشه‌برداری کشور)، مدل رقومی ارتفاع با اندازهٔ پیکسل ۱۰ متر، نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه رامسر (سازمان زمین‌شناسی کشور)، بافت خاک (اداره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

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^2)	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	۶۲،۰۸
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^2)	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

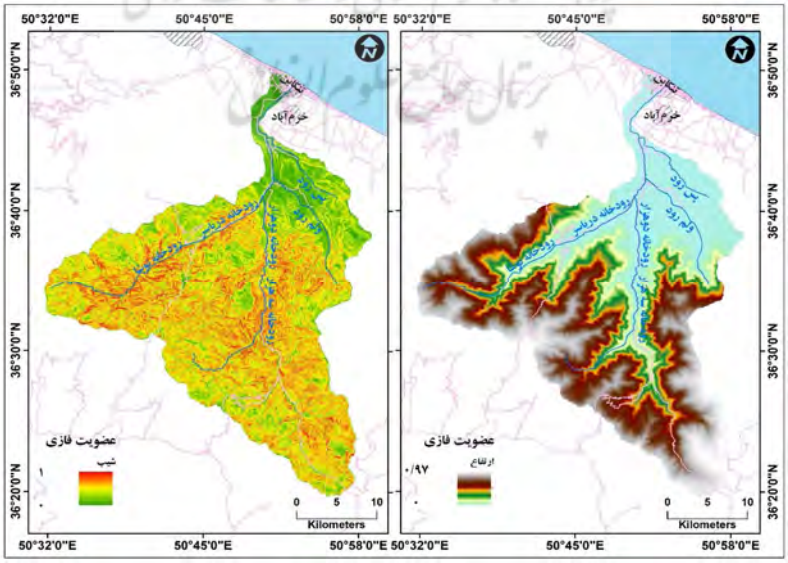
پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی: با توجه به هدف این مرحله از پژوهش، نخست ۱۱ عامل مؤثر در قالب چهار زیرمعیار توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرواقلیم و پوشش اراضی در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی از طریق مطالعات کتابخانه‌ای (قنواتی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۲۳؛ شادفر، ۱۳۹۶: ۲۰؛ Zhang et al., 2002: 164؛ Sinha et al., 2008: 336) و با نظر کارشناسان و پژوهشگران متخصص شناسایی و با توجه به معیارهای مشخص شده، داده‌های مکانی سطح منطقه جمع‌آوری شده‌اند؛ کارشناسان و پژوهشگران شامل افراد دانشگاهی، کارمندان و مدیران شهرداری، مدیریت بحران، منابع طبیعی و شرکت‌های مهندسین مشاور در گستره محدودهٔ 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

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 نقشهٔ فازی‌شدهٔ آن ضرب می‌شود. خروجی نهایی این مرحله، مدل‌سازی فضایی و پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوضهٔ مورد بررسی خواهد بود.



شکل ۲: معیارها و زیرمعیارهای انتخاب‌شده برای پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی

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 اندازهٔ 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 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 (Sentinel-2، ASTER و GeoEye) و Google Earth استفاده شده است.



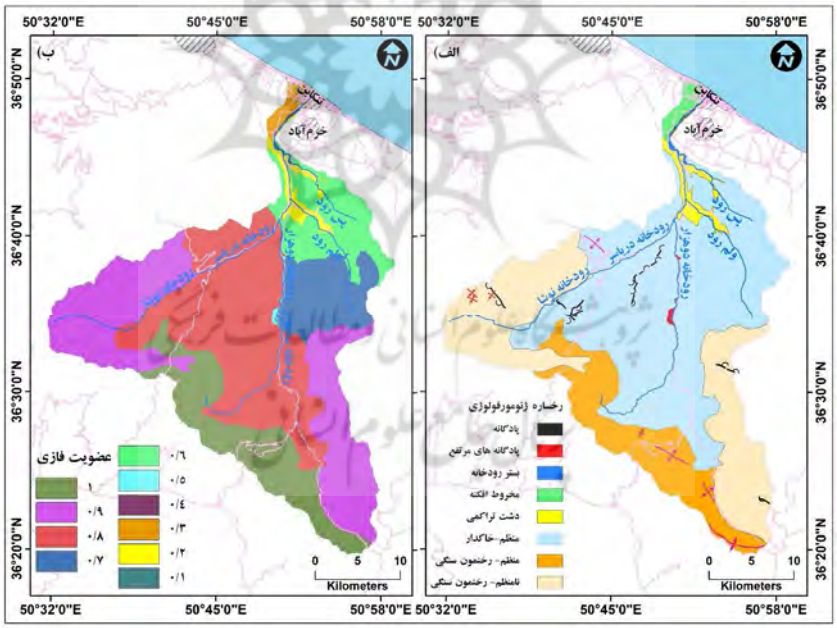
شکل ۳: نقشهٔ فازی‌شدهٔ زیرمعیار ارتفاع

شکل ۴: نقشهٔ فازی‌شدهٔ زیرمعیار شیب

حوضهٔ آبخیز مورد مطالعه براساس مشخصه‌های ارتفاعی، شیب و برخی ویژگی‌های ریخت‌شناسی، عوارض زمین سطح حوضهٔ آبخیز چشمه‌کیله به‌ترتیب به چهار واحد کوهستان (M)، تپه‌ماهور (H)، دشت (P) و نهشته‌های رودخانه‌ای (T، Qal و Fan) تقسیم شده است (شکل ۵). میزان عضویت فازی و توابع عضویت فازی زیرمعیارهای سه‌گانه مربوط به معیار توپوگرافی به‌منظور استفاده در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در جدول ۲ آورده شده است.

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)
	شیب	۰ تا ۷۶ درجه	پیوسته، Large	دامنه عددی (صفر تا یک)
		کوهستان با دامنهٔ منظم و رخنمون سنگی	گسسته (نظرات کارشناسی)	۱
	لندفرم	کوهستان با دامنهٔ نامنظم و رخنمون سنگی		۰/۹
		کوهستان با دامنهٔ منظم خاک‌دار (شیب زیاد)		۰/۸
		کوهستان با دامنهٔ منظم خاک‌دار (شیب متوسط)		۰/۷
		تپه با دامنهٔ منظم خاک‌دار		۰/۶
		دشت سیلابی با پادگانه‌های مرتع		۰/۵
		دشت سیلابی با پادگانه‌های رودخانه‌ای		۰/۴
		دشت (مخروط‌افکنه)		۰/۳
		دشت تراکمی		۰/۲
		بستر رودخانه		۰/۱



شکل ۵: الف) نقشهٔ زیرمعیار لندفرم ژئومورفولوژیکی ب) نقشهٔ فازی شده زیرمعیار لندفرم ژئومورفولوژیکی

معیار زمین‌شناسی: نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورقه رامسر سازمان نقشه‌برداری مبنای تهیه معیار زمین‌شناسی است که شامل دو زیرمعیار نفوذپذیری و سنگ‌شناسی می‌شود. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی، وضعیت تکتونیک، زمین‌ساخت و بازدیدهای میدانی، واحدهای سنگی حوضهٔ مورد مطالعه بر اساس نفوذپذیری به چهار طبقه شامل تراوا، نسبتاً تراوا، نسبتاًکم تراوا و خیلی کم‌تراوا تقسیم شده

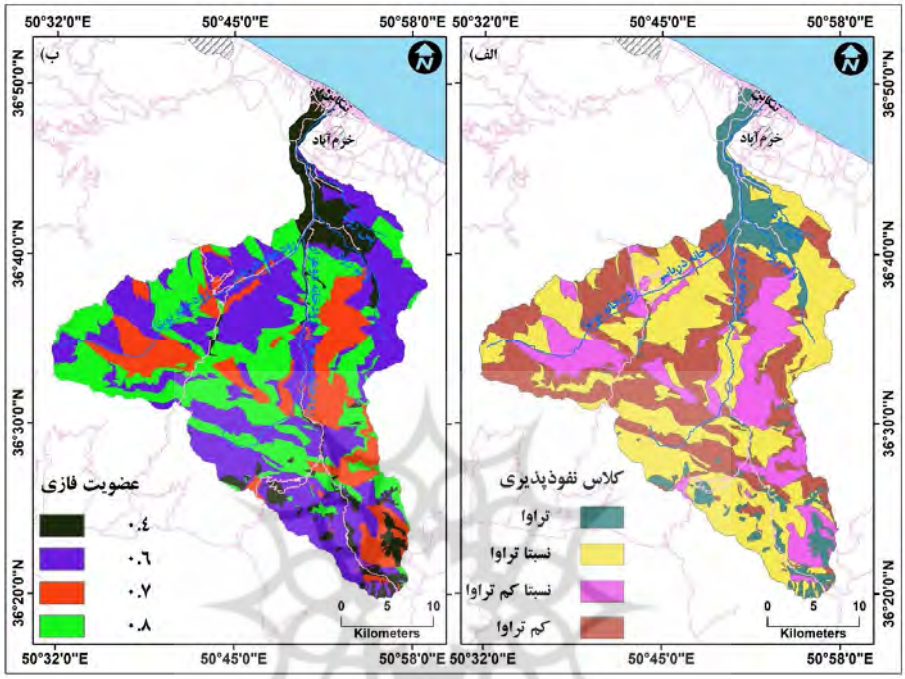
است (شکل ۶). واحدهای اصلی زمین‌شناسی حوضه شامل آذرین‌های کرتاسه، جواهرده، شمشک، تیزکوه، نسن، سلطانیه، روته، الیکا، مبارک، کرج، لالون، میلا، زاگون و واحدهای کواترنری می‌باشد. ویژگی‌های سنگ‌شناسی در میزان نفوذپذیری آب در درون زمین و یا آب‌گذری مستقیم و در نتیجه تعادل جریان رودخانه و یا سیل‌خیزی حوضه تأثیر بسزایی دارند. با توجه به تفوذپذیری سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه، عضویت فازی به‌صورت 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.

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

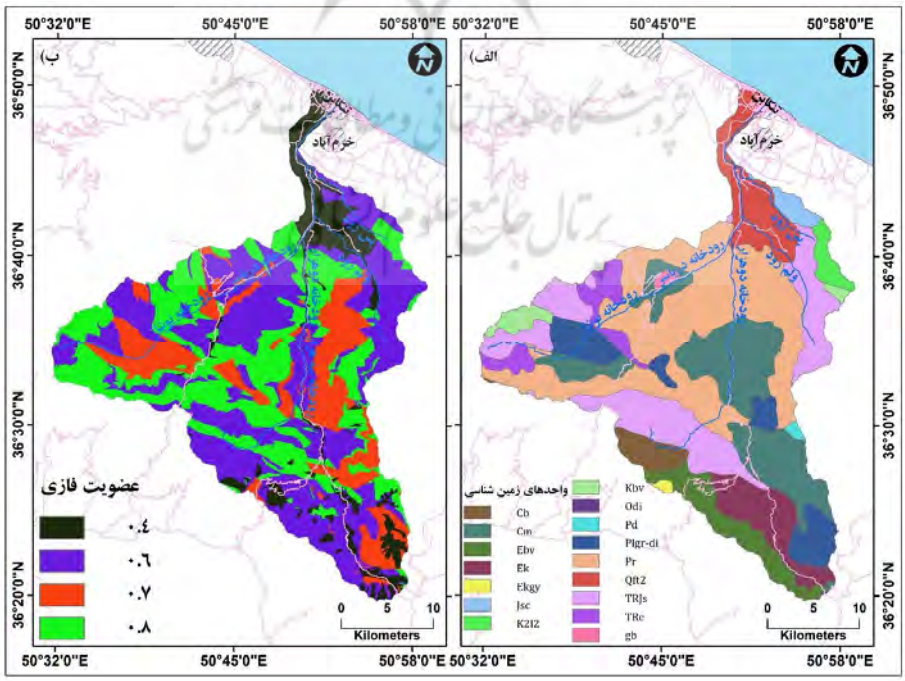
نفوذپذیری	واحد سنگی	چینه	میزان عضویت فازی
کم‌تراوا	K2 vl	آذرین‌های کرتاسه	۰/۸
	J1-2 c	جواهرده	
	Js c	شمشک	
	Kl	تیز کوه	
	PE s	سلطانیه	
	Pr l,ml	روته	
	Gy	واحد گچ و کنگلومراء پالئوسن	
	Cm l,ml	مبارک	
نسبتاً کم تراوا	Eq	کوارتزیت قاعده	۰/۷
	Sv	سیلورین	
	bg, g, gd, gd a, gd n, gp, im	آذرین نفوذی	
	Cm l	مبارک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

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

مقاومت سنگ‌های منطقه استفاده شده است. در روش پسیاک بسته به حساسیت سنگ، نمرهٔ بین صفر تا ده در نظر گرفته می‌شود و سپس با توجه به مساحت گسترش آن، میانگین وزنی گرفته‌شده و نمره متوسط مربوط به این عامل تعیین می‌شود. سازندهای حوضهٔ 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 به‌صورت گسسته و با بهره‌گیری از نظرات پژوهشگران و متخصصان انجام شده است (جدول ۴).



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



شکل ۷: الف) نقشهٔ زیرمعیار واحدهای سنگ‌شناسی ب) نقشهٔ فازی شده زیرمعیار واحدهای سنگ‌شناسی

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

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

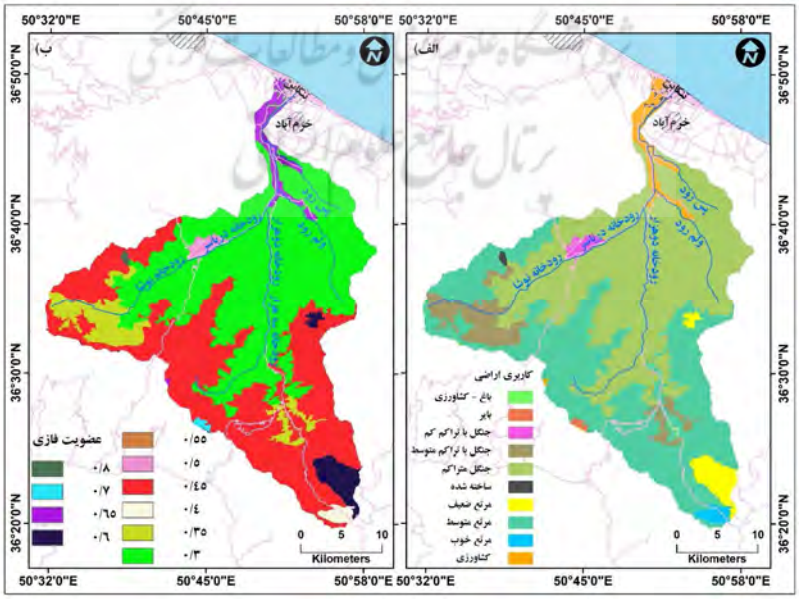
پوشش اراضی: کاربری و نوع پوشش زمین یک فاکتور کلیدی وقوع سیل است. پوشش اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش‌های مختلفی تأثیر می‌گذارد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش نفوذپذیری گردد، موجب افزایش دبی سیلابی می‌گردد. به‌منظور بررسی تأثیر پوشش اراضی بر روی

پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ 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 حوضهٔ مورد مطالعه کاربری‌های مثل مرتع، منطقهٔ 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 به‌دلیل 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). نقشهٔ 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)

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



شکل ۸: الف) نقشهٔ زیرمعیار کاربری اراضی ب) نقشهٔ فازی‌شده زیرمعیار کاربری اراضی

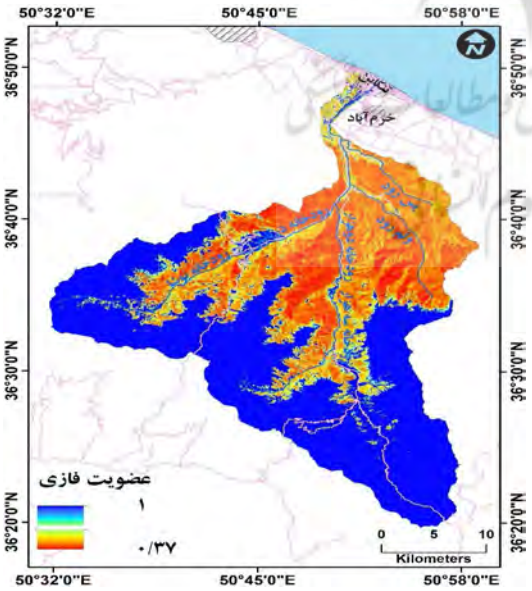
تراکم پوشش گیاهی از لایه‌هایی که از طریق آن، وضعیت حوضه از لحاظ هیدرولوژیکی بررسی می‌شود. وقوع سیل رابطهٔ معکوسی با تراکم پوشش گیاهی دارد؛ بدین‌معنی که با افزایش پوشش گیاهی و تاج گیاهان، شدت رواناب کاهش یافته و با کاهش پوشش گیاهی رواناب منطقه افزایش می‌یابد. در نواحی که تراکم پوشش گیاهی بالاست و یا مناطق 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 درنتیجه 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 سیل‌خیزی یک محدوده است؛ بنابراین شاخص پوشش گیاهی یک فاکتور مهم در سیل‌خیزی حوضهٔ آبخیز می‌باشد. بدین‌منظور از روی تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ (سنجنده OLI) به تاریخ دسامبر ۲۰۱۸، پس از انجام پیش‌پردازش، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) استخراج گردیده است (رابطه ۱).

$$NDVI = (IR - R)/(IR+R) \quad \textbf{رابطه ۱)}$$

که در این رابطه IR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵)، R باند قرمز (باند ۴) و NDVI شاخص تفاضل نرمال‌شدهٔ 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 نقشهٔ فازی‌شده زیر معیار تراکم پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

هیدرواقلیم: این معیار در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله تنکابن) دارای چهار معیار بارش، زمان تمرکز، فاصله از آبراهه و تراکم شبکه زهکشی است که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود. جهت مطالعهٔ 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 محدودهٔ مطالعاتی قرار دارند و هم شامل ایستگاههای بیرون از محدوده مطالعاتی می‌شوند (شکل ۱۰).

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



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

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 / روش	IDW	RBF	Kriging		
			Circular	Spherical	Gaussian
میانگین	۲۸/۴	۸/۸	۶/۳	۷/۱	۵/۴
جذر میانگین مربعات	۱۲۶/۳	۱۱۸	۱۱۳/۸	۱۱۳/۴	۱۱۴/۴
میانگین استاندارد	-	-	۰/۰۵۱	۰/۰۵۸	۰/۰۴۳
جذر میانگین مربعات استاندارد	-	-	۰/۸۹	۰/۸۹	۰/۸۹
میانگین خطای استاندارد	-	-	۱۲۸/۴	۱۲۸/۵	۱۲۸/۳

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

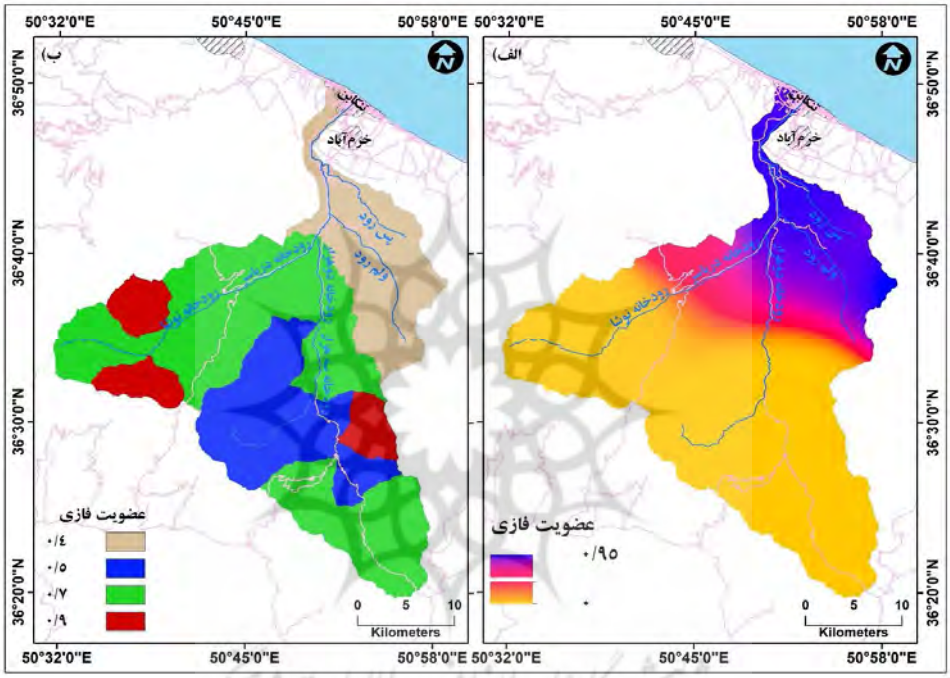
زیرحوضه	مساحت (کیلومتر مربع)	زمان تمرکز (ساعت)	میزان عضویت فازی
سرچشمه‌رود	۳۰	۰/۳۵	۰/۹
نوشا	۳۲/۳	۰/۴۳	۰/۹
نیاردره	۳۱/۸	۰/۴۴	۰/۹
تخت سلیمان	۳۸	۰/۵۳	۰/۷
هلیان	۵۲	۰/۶۲	۰/۷
سلج‌انبار	۴۲/۳	۰/۶۷	۰/۷
گلستان	۵۹/۲	۰/۷۴	۰/۷
یان‌دشت	۴۶/۷	۰/۷۷	۰/۷
خشچال	۵۲/۷	۰/۸۲	۰/۷
گرمارود	۵۷/۴	۰/۹۳	۰/۷
دریاسر	۵۵/۲	۰/۹۴	۰/۷
میانکوه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

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 به‌دست آمده از سه روش درون‌یابی IDW، RBF و Kriging (دایره‌ای[1]، کروی[2] و گوسین[3])، 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 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 منطقهٔ مورد مطالعه برخوردار بوده و تأثیر شرایط توپوگرافی را بر روی میزان بارش دریافتی در بخش‌های مختلف حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (از مناطق مرتفع و کوهستانی گرفته تا مناطق دشتی و جلگه‌ای) به‌خوبی منعکس سازد. پس از تهیه لایه درون‌یابی حداکثر بارش ۲۴ ساعته در حوضهٔ مورد مطالعه، نقشه فازی شده این لایه با استفاده از تابع عضویت فازی پیوسته Large استفاده شد. در مقابل بخش‌هایی از گسترهٔ مطالعاتی که بارش کمتری داشتند، در نقشهٔ

1. Circular
2. Spherical
3. Gaussian

عضویت فازی بارش دارای مقادیر وزن نسبی کمتری بودند، در نتیجه در تهیه نقشهٔ 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 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.



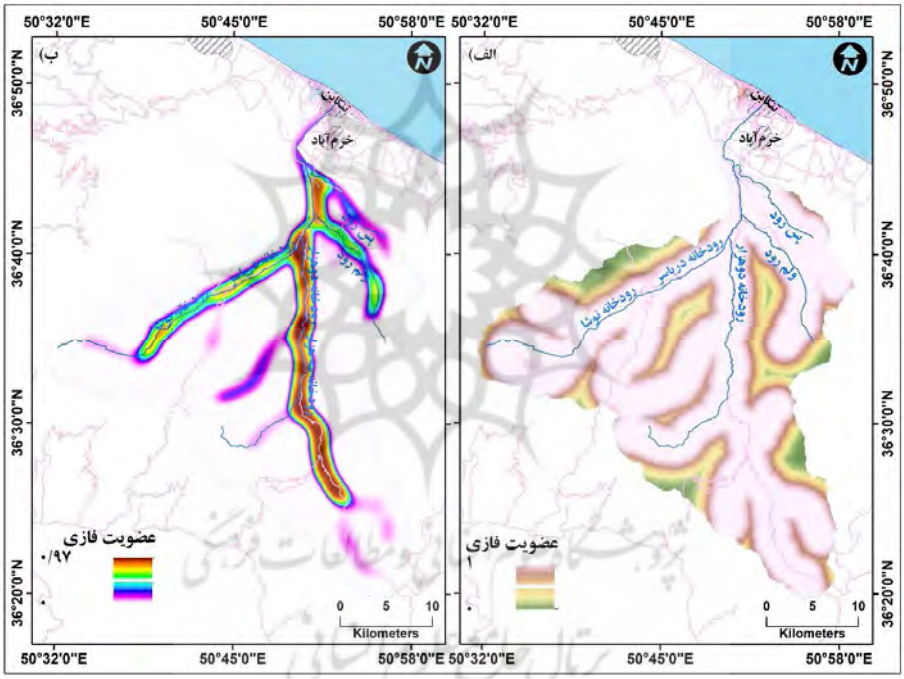
شکل ۱۱: نقشهٔ فازی زیرمعیار حداکثر بارش ۲۴ ساعته **شکل ۱۲: نقشهٔ فازی زیرمعیار زمان تمرکز**

آبراهه‌ها در حوضه، عمل تخلیه جریان‌های سطحی را انجام می‌دهند و با فاصله‌گرفتن 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، نقشهٔ مورد نظر استخراج و نهایی شد. پس از استخراج آبراهه‌های حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله تنکابن)، لایه رستری فاصله از آبراهه از طریق تابع فاصله اقلیدسی[1] 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 محاسبهٔ تراکم شبکه زهکشی در منطقهٔ

1. Euclidean Distance

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 به‌کار گرفته شد. بر این‌اساس، پهنه‌هایی که دارای تراکم زهکشی بیشتری باشند، وزن فازی بیشتری داشته و پتانسیل سیل‌خیزی بیشتری هم دارند. نقشهٔ عضویت فازی تراکم شبکه زهکشی حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله) در شکل ۱۴ آورده شده است. بدین‌ترتیب میزان عضویت فازی برای عوامل لندفرم، سنگ‌شناسی، نفوذپذیری، زمان تمرکز و کاربری اراضی، به‌صورت 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).



شکل ۱۳: نقشهٔ فازی‌شدهٔ زیرمعیار فاصله از رودخانه شکل ۱۴: نقشه فازی زیرمعیار تراکم شبکه زهکشی

عوامل تأثیرگذار در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک: به‌منظور شناخت عوامل مؤثر بر سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک، از تحلیل-عاملی 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 منطقهٔ 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 استخراج-شده، استاندارد شدن که در این‌صورت متغیرها تأثیر غیر متجانسی بر اندازه‌گیری فاصله نخواهند داشت. از

متداول‌ترین روش‌ها، روش Z-Score می‌باشد. در هر مشاهده از یک متغیر تصادفی اگر میانگین داده‌ها از آن کم شود و به انحراف معیار داده‌ها تقسیم شود، مقدار به‌دست آمده را Z-Score می‌گویند که از رابطهٔ ۲ حاصل می‌شود.

جدول ۸: توابع عضویت معیارها و زیرمعیارهای مورد استفاده در پهنه‌بندی سیل‌خیزی حوضهٔ آبخیز (محاسبات نگارندگان)

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

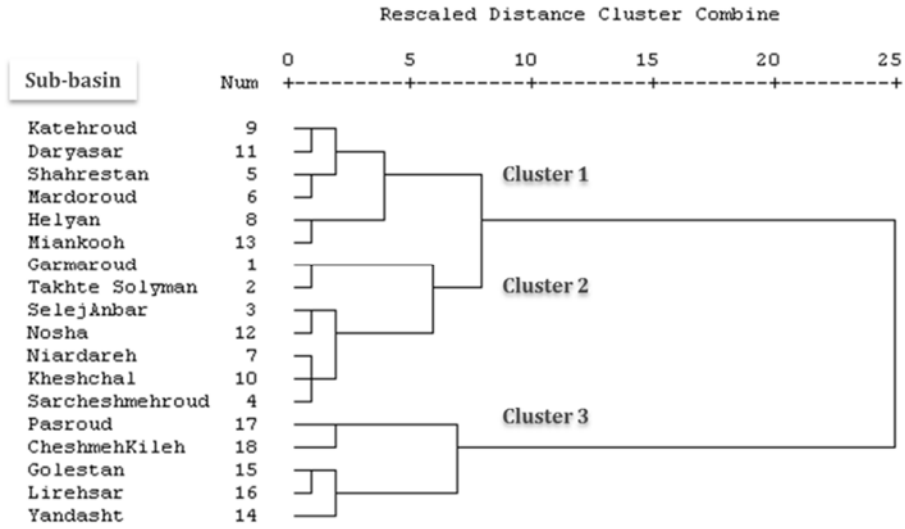
رابطه ۲) $Zi=(X1-Xm)/Sd$

در این رابطه Zi عدد استاندارد شده، X1 مقدار داده، Xm میانگین داده‌ها و Sd انحراف معیار داده‌ها است. سپس پارامترهای استاندارد شده مورد تحلیل‌عاملی قرار گرفته و میزان همبستگی هر کدام از اجزای این پارامترها با مقدار پتانسیل سیل‌خیزی به‌دست آمده از FAHP در عامل‌های مختلف مشخص و مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در پتانسیل سیل‌خیزی حوضه تعیین می‌شوند.

یافته‌های پژوهش

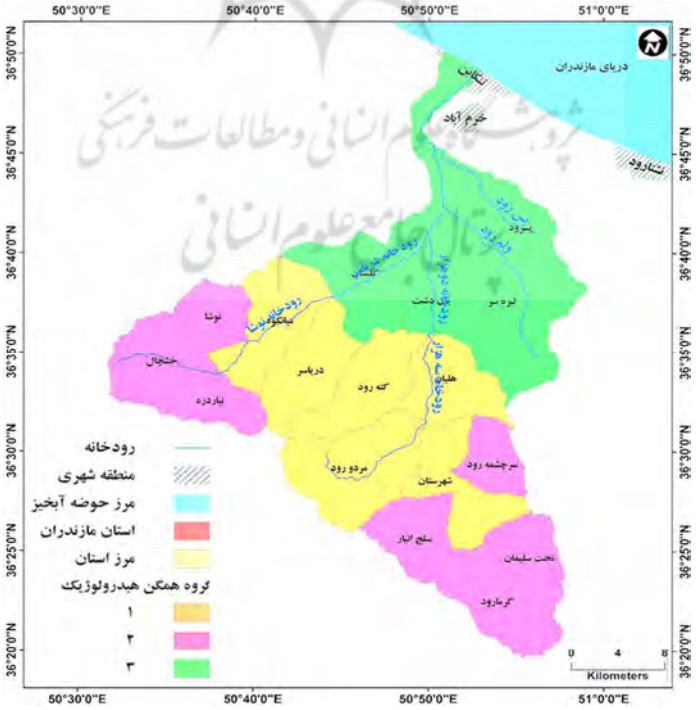
با توجه به نتایج حاصل از تحلیل خوشه‌ای بر اساس پارامترهای به‌کار گرفته‌شده، ۱۸ زیر حوضهٔ مطالعاتی چشمه‌کیله در سه گروه همگن هیدرولوژیکی قرار می‌گیرند که در شکل ۱۵ این سه گروه نشان داده شده است؛ این سه گروه در فاصلهٔ اقلیدسی کمتر از ۱۰ خوشه‌بندی شده‌اند. هر خوشه گروهی از زیرحوضه‌هاست که بیشترین همانندی را با یکدیگر دارند. در گروه همگن یک زیرحوضه‌های کته‌ورد، دریاسر، شهرستان، مردورود، هلیان و میان‌کوه، در گروه همگن دو زیرحوضه‌های گرمارود، تخت سلیمان، سلجانبار، نوشا، نیاردره، خشچال و سرچشمه‌رود و در گروه همگن سه زیرحوضه‌های پس‌رود، گلستان، لیره‌سر،یان‌دشت و خروجی چشمه-کیله قرار گرفته‌اند. موقعیت جغرافیایی زیرحوضه‌ها و گروههای همگن هیدرولوژیک منطقهٔ مورد بررسی در شکل ۱۶ آورده شده است.

لازم به ذکر است در این پژوهش تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک به‌منظور تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر در پتانسیل سیل‌خیزی هر کدام از مناطق همگن حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن صورت گرفته است؛ بدین‌صورت که سطح پتانسیل سیل‌خیزی در هر منطقهٔ همگن مشخص شود. پس از مشخص شدن عضویت فازی کلاس‌های هر یک از زیرمعیارها با استفاده از FAHP، جهت تهیه لایه‌های معیارهای چهارگانه توپوگرافی، هیدرواقلیم، زمین‌شناسی و پوشش زمین از مقایسه‌های زوجی معیارها و زیرمعیارها و نظرات کارشناسی استفاده شده است.



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

با انجام این مرحله، وزن نسبی هر کدام از زیرمعیارها برای تهیه لایه معیار مربوطه به‌دست آمد. این وزن حاصل از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی بیانگر آن است که هر کدام از زیرمعیارها به چه میزان در تهیه نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه‌های آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار (چشمه‌کیله تنکابن) نقش دارند. شیب، مدل رقومی ارتفاع و لندفرم زیرمعیارهای مربوط به معیار 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 نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ مطالعاتی شیب می‌باشد (جدول ۹).



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

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

توپوگرافی	شیب	مدل رقومی ارتفاع	لندفرم	وزن نهایی
شیب	(۱، ۱، ۱)	(۱، ۳/۲، ۲)	(۱/۲، ۱، ۳/۲)	۰/۳۷۹۸
مدل رقومی ارتفاع	(۱/۲، ۲/۳، ۱)	(۱، ۱، ۱)	(۲/۳، ۱، ۲)	۰/۲۵۲۶
لندفرم	(۲/۳، ۱، ۲)	(۱/۲، ۱، ۳/۲)	(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 محاسبه‌شده برای زیرمعیار نفوذپذیری ۰/۵۳۹ و برای زیرمعیار سنگ‌شناسی ۰/۴۶۱ است که نشان می‌دهد نفوذپذیری، زیرمعیار اثرگذارتری در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ 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 به‌دست‌آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (محاسبات نگارندگان)

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

جدول ۱۱. زیرمعیارهای پوشش زمین و وزن به‌دست‌آمده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی

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

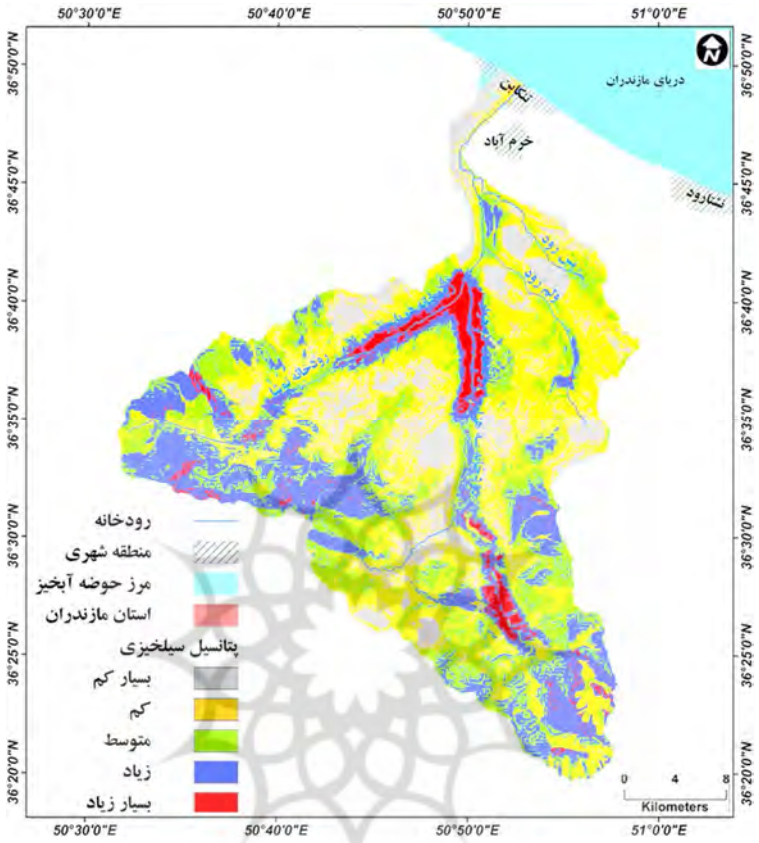
معیار هیدرواقلیم شامل زیرمعیارهای حداکثر بارش ۲۴ ساعته، فاصله از آبراهه، تراکم شبکه زهکشی و زمان تمرکز می‌شود. وزن نسبی محاسبه‌شده بر اساس نظرات کارشناسی و محاسبه‌های اعداد مثلثی فازی روش FAHP برای زیرمعیارهای حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته ۰/۴۲۷۹، فاصله از آبراهه ۰/۱۵۷۹، تراکم شبکه زهکشی ۰/۴۱۴۶ و زمان تمرکز ۰/۳۴۱۵ به‌دست‌آمده است. پس مهم‌ترین زیرمعیار مربوط به هیدرواقلیم در پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ آبخیز مطالعاتی حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته است (جدول ۱۲).

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

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

رابطهٔ ۳ شکل عمومی مدل‌سازی فضایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی را با استفاده از FAHP نشان می‌دهد که در محیط ArcMap و با تلفیق لایه معیارها به‌دست‌آمده است. نقشهٔ نهایی طبقات پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ 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 گسترهٔ

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



شکل ۱۷: نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی حوضهٔ رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن

رابطه ۳)

پتانسیل سیل‌خیزی =
(توپوگرافی × ۰/۲۶۹۵) + (هیدرواقلیم × ۰/۳۴۱۵) +
(زمین‌شناسی × ۰/۲۳۰۵) + (پوشش زمین × ۰/۱۵۵۸)

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 پتانسیل سیل‌خیزی در پهنه‌های از سطح منطقه گسترش دارد که به‌دلیل 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.

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

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

بیشترین مساحت از منطقهٔ مطالعاتی در طبقهٔ 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 به‌ترتیب شامل ۲۷ و ۱۶ درصد از مساحت منطقهٔ مطالعاتی می‌شود؛ پهنه‌هایی که به‌دلیل 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.

پس از پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی مبتنی بر ۴ معیار ذکرشده، ۲۰ پارامتر برای تشخیص تغییرپذیری یا به‌عبارتی 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 حوضهٔ 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 واریماکس، در عامل دوم پارامترهای مساحت، طول آبراههٔ 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.

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

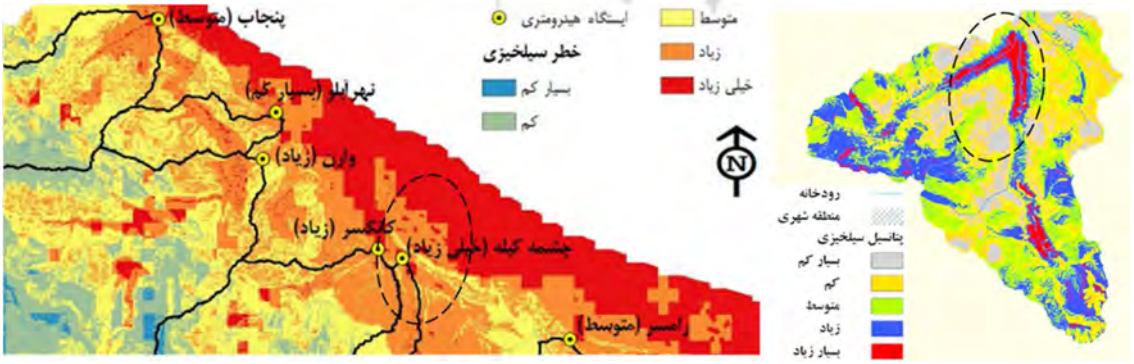
عامل	مقادیر ویژه اولیه		مقادیر تجمعی واریانس	درصد واریانس
	تجمعی	کل		
۱	۷۳/۲	۱۴/۶	۵۱/۱	۵۱/۱
۲	۱۰۰	۵/۴	۱۰۰	۴۸/۹

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 به‌ترتیب با بارهای عاملی ۰/۹۹۷، ۰/۹۳، ۰/۸۳۵، ۰/۹۹۴، ۰/۹۹۵، ۰/۷۵۹، ۰/۸۰۶ و ۰/۹۹ به‌صورت مثبت قوی با عامل پتانسیل سیل‌خیزی ارتباط دارند که در این میان مهم‌ترین پارامتر مؤثر در سیل‌خیزی مناطق همگن هیدرولوژیک مورد بررسی، مساحت است. از طرفی، پارامترهای درصد مساحت اراضی جنگلی و درصد مساحت اراضی مرتعی به‌ترتیب با ۰/۸۶۸- و ۰/۷۸۵- به‌صورت 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.

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

پارامتر	عامل ۱	عامل ۲
پتانسیل سیل‌خیزی	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 آبراههٔ اصلی (کیلومتر)	۰/۳۶۷	**۰/۹۳**
مجموع طول آبراهه‌ها (کیلومتر)	-۰/۹۶۵	-۰/۲۶۲
تراکم زهکشی (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	-۰/۵۵	**۰/۸۳۵**
نسبت انشعاب	-۰/۱۱	**۰/۹۹۴**
شکل حوضه (هورتن)	-۰/۱۰۲	**۰/۹۹۵**
ضریب گراویلیوس	۰/۶۷۵	۰/۷۳۸
زمان تمرکز (ساعت)	۰/۶۵۱	**۰/۷۵۹**
درصد مساحت جنگل	۰/۴۹۷	**-۰/۸۶۸**
درصد مساحت مرتع	-۰/۶۲	**-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**

آنچه که به‌عنوان نقشهٔ نهایی پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در این مطالعه ارائه شده است با نتایج و نقشه‌های مطالعات رحمانی و همکاران (۱۳۹۸) همخوانی دارد. نقشهٔ خطر سیل‌خیزی تهیه‌شده توسط پژوهشگران نامبرده در شکل ۱۸ آورده شده است. با توجه به این نقشه مشاهده می‌شود که خروجی حوضهٔ آبخیز چشمه‌کیله (رودخانه‌های دوهزار و سه‌هزار) در طبقه با خطر سیل‌خیزی زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است که با نتایج این پژوهش همخوانی دارد.



شکل ۱۸: مقایسه نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی تهیه شده در این پژوهش (شکل سمت راست) با نقشهٔ تهیه‌شده در مطالعات رحمانی و همکاران در سال ۱۳۹۸ (شکل سمت راست)

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر به‌دلیل وقوع سیلاب‌های مکرر در حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار تنکابن (چشمه‌کیله) و متعاقب آن ایجاد خسارات ناشی از سیل، لزوم توجه به پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی به‌ویژه در زمین‌های حاشیه رودخانه‌های اصلی حوضهٔ مورد بررسی بیش از پیش نمایان می‌شود. در این پژوهش، با رویکردی مبتنی بر دیدگاه سیستمی در یک حوضهٔ آبخیز (ارتباط متقابل تمام عناصر موجود در حوضه)، بر اساس ویژگی‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، فیزیوگرافی، پوشش اراضی و هیدرواقلیمی اقدام به شناسایی مناطق همگن هیدرولوژیک گردید. با انجام این مرحله، سه منطق همگن هیدرولوژیکی در حوضهٔ 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 نحوهٔ اجرای عملیات، زیرحوضه‌های موجود در یک منطقهٔ 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 هیدرواقلیم و به‌کار 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 حوضهٔ مطالعاتی و زیرحوضه‌های با زمان تمرکز پایین، بیشترین نقش را در تولید رواناب و بالا بودن پتانسیل سیل‌خیزی منطقهٔ مطالعاتی دارند. بیشترین مساحت از منطقهٔ مطالعاتی در طبقهٔ 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 سه‌گانهٔ همگن است، پارامترهای مساحت، طول آبراههٔ 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 حوضهٔ آبخیز رودخانه‌های سه‌هزار و دوهزار منجر گردد. با توجه به سابقهٔ تاریخی رخداد سیل در منطقهٔ مورد مطالعه، لزوم داشتن یک نقشهٔ 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 حوضهٔ مورد پژوهش، بر اساس نقشهٔ پهنه‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی تهیه‌شده، انجام شود.

منابع

۱. اسکندری‌نژاد، فاطمه. اکتم مرتضی‌اف و آرتوبلسکی موسی‌اف. ۱۳۹۴. بررسی پتانسیل سیل‌خیزی حوضه نمرود و تأثیر آن بر ویژگی‌های اقتصادی- اجتماعی منطقه و ارائه راهکارهایی جهت مدیریت آن. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره چهارم، شماره ۱ (پیاپی ۱۳)، صص ۷۵-۸۹.

۲. اعلمی، محمد تقی. لیلا ملکانی و محمد علی قربانی. ۱۳۹۴. مدل‌سازی بارش - رواناب در حوضهٔ لیقوان-چای با استفاده از مدل اتومای سلولی. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، دوره سوم، شماره چهارم، صص ۶۰-۷۳.

۳. بروشکه، ابراهیم. رضا سکوتی. مجید منتظری و افشین قهرمانی. ۱۳۸۵. بررسی پدیده سیل و پهنه‌بندی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی حوضه آبخیز سد بارون). هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۲۴ تا ۲۶ بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۸ ص.

۴. پناهی، رؤیا. محمد مهدی حسین‌زاده و سمیه خالقی. ۱۳۹۸. پهنه‌بندی مخاطره سیلاب به‌منظور تعیین حریم رودخانه‌ها (مطالعهٔ 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. محیط‌شناسی، دوره ۲۸، شماره ۲۹، صص ۵۹-۷۰.

۶. ثقفیان، بهرام. حسن فرازجو. عادل سپهر و علی نجف‌نژاد، ا. ۱۳۸۵. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بر روی شرایط سیلاب در حوضهٔ آبخیز سد گلستان. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۲، شماره ۱، صص ۱۸-۲۸.

۷. جهادی طرقی، مهناز و رضا حسین‌زاده. ۱۳۹۰. واکنش سیستم‌های رودخانه‌ای به رخدادهای سیلابی بزرگ (نمونه موردی: رودخانه مادرسو). پژوهش‌های فرسایش محیطی، دوره ۱، شماره ۴، صص ۶۸-۷۵.

۸. جهانشاهی، افشین. کاکا شاهدی. کریم سلیمانی و علیرضا مقدم‌نیا. ۱۳۹۸. تعیین مناطق همگن هیدرولوژیکی در غرب حوضهٔ هامون-جازموریان. تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۵، شماره ۱، صص ۲۲۳-۲۳۵.

۹. خسروانی، محمد. و بهرام ثقفیان. ۱۳۸۴. اولویت‌بندی وضعیت سیل‌خیزی، راهبرد کنترل و اندازه‌گیری‌های سیل در حوضه‌های 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 سیل‌خیزی حوضه‌های آبریز استان مازندران با استفاده از یک روش توزیعی مبتنی بر GIS. فصل‌نامه هیدرولیک، دوره ۱۴، شماره ۱، صص ۱۲۳-۱۳۹.

۱۱. رضایی، پرویز. (۱۳۸۸). تحلیل همدیدی رخداد سیلاب در حوضه ماسوله. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۱، شماره ۶۸، صص ۱۰۸-۱۱۸.

۱۲. روغنی، محمد. عبدالمحمد غفوری و سید محمود رضا طباطبایی. ۱۳۸۶. روشی نوآورانه برای اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز جهت کنترل سیلاب. نشریه بین‌المللی مشاهده و اطلاعات کاربردی زمین، دوره ۹، صص ۷۹-۸۷.

۱۳. شادفر، صمد. ۱۳۹۶. اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی واحدهای هیدرولوژیکی با استفاده از GIS. ترویج و توسعه آبخیزداری، دوره ۵، شماره ۱۸، صص ۱۹-۲۴.

۱۴. علی‌عسگری کاشانی، آرزو. مهدی ذاکری‌نیا. مجید حیدری‌زاده و حسین شریفان. ۱۳۹۳. تعیین مناطق همگن هیدرولوژیک و توابع توزیع منطقه‌ای به روش گشتاورهای خطی در استان گلستان. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۱، شماره ۱، صص ۱-۲۱.

۱۵. قاسمی، علی. علی سلاجقه. آرش ملکیان و اباذر اسمعلی‌عوری. ۱۳۹۳. بررسی سیل‌خیزی و تعیین عوامل مؤثر در آن در حوضهٔ رودخانه بالقلی‌چای با استفاده از تکنیک GIS، RS و AHP. محیط‌شناسی، دوره ۴۰، شماره ۲، صص ۳۸۹-۴۰۰.

۱۶. قنواتی، عزت‌الله. امیر کرم و مرضیه آقاعلیخانی. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر سیل در حوضه فرحزاد (تهران) با استفاده از مدل فازی. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی (مجله پژوهشی علوم انسانی دانشگاه اصفهان)، دوره ۲۳، شماره ۴ (پیاپی ۴۸)، صص ۱۲۱-۱۳۸.

۱۷. محمدی، مژده. حسین ملکی‌نژاد و حمیده افخمی. ۱۳۹۶. همگن‌بندی هیدرولوژیکی به روش همبستگی متعارف (مطالعه موردی: حوضه‌های 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 سیل‌خیزی حوزهٔ آبخیز دره‌شهر بر اساس مناطق

همگن هیدرولوژیک. آمایش جغرافیـایی فضـا، دوره ۳، شماره ۸، صص ۱۱۹-۱۳۶.

۱۹. نصرتی، کاظم.، خبات درفشـی. سـعیده قـره‌چـاهی و خلیل رحیمی. ۱۳۹۰. ارزیابی کیفیت آب سطح حـوزه آبریز هراز - قره‌سو با اسـتفاده از تکنیـک‌هـای آمـاری چند متغیره. پژوهش‌های دانش زمین، دوره ۲، شـماره 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 Gui1. Dongnan Luo1. Youqin Zou and Hua Bai1. 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 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی