پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال نهم، شماره ۲، پاییز۱۳۹۹
صص. ۹۷-۸۱

پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبریز قوری‌چای کورائیم در استان اردبیل

عقیل مددی* – استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
صیاد اصغری سراسکانرود – دانشیار گروه ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
مهدی بادامکی – دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
احسان قلعه – دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۳/۰۶ تائید نهایی: ۱۳۹۹/۰۵/۱۲

چکیده

سیلاب‌ها از جمله مخرب‌ترین و فراوان‌ترین بلایای طبیعی هستند. در این رابطه، پهنه‌بندی خطر سیلاب یکی از روش‌های کارآمد در زمینه مدیریت و کاهش اثرات سیلاب به شمار می‌آید. در این تحقیق به ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیل در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای واقع در نیمه جنوبی و غرب استان اردبیل پرداخته شد. در این رابطه، ۱۰ معیار موثر بر رخداد سیل به کار بسته شد. این معیارها عبارتنداز: ارتفاع، شیب، جهت شیب، تحدب سطح زمین، سازندهای زمین‌شناسی، تراکم زهکشی، شماره منحنی (CN)، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی. در این میان، متغیر شیب زمین با وزن ۰/۲۶ (مستخرج از مدل فرایند تحلیل شبکه) نقش عمده‌ای در شناسایی پهنه‌های پرخطر سیلاب ایفا می‌کند. جهت تلفیق و روی‌هم‌گذاری لایه‌های موضوعی مذکور با هدف تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب از دو مدل منطق فازی و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در بستر سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده به عمل آمد. پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز قوری-چای نشان داد که در حدود ۱۸ درصد از مساحت حوضه آبخیز مطالعاتی در کلاس‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد واقع شده‌اند. خطر سیلاب در بستر دره‌های اصلی و اراضی پایین‌دست حوضه مورد مطالعه به دلایل ژئومورفومتریکی از قبیل شکل‌گیری و توسعه دشت‌های سیلابی، ارتفاع نسبی پایین، مقعر بودن سطح زمین و آهنگ سریع حرکت رواناب‌های بالادست از پتانسیل رخداد بالایی برخوردار می-باشد. بعلاوه، مکان‌گزینی مناطق مسکونی در دشت‌های سیلابی پایین‌دست حوضه خطر وقوع سیلاب در این پهنه‌ها را افزایش داده است.

واژگان کلیدی: سیلاب، منطق فازی، مدل ANP، GIS، قوری‌چای.

* نویسنده مسئول: E-mail: Aghil48madadi@yahoo.com

مقدمه

سیلاب به افزایش خطرناک دبی یک رودخانه یا مسیل گفته می‌شود. این پدیده در تاریخ بشر از سابقه‌ی زیادی برخوردار است و یکی از زیان‌آورترین و مخرب‌ترین حوادث طبیعی به شمار می‌آید. شهرهای قدیمی معمولا با توجه به دسترسی آسان‌تر به آب در کناره‌ی رودخانه‌ها شکل گرفته‌اند؛ به همین دلیل از طغیان رودخانه‌ها متاثر گردیده و متحمل خسارات و تلفاتی می‌شوند(حافظی مقدس و غفوری، ۱۳۸۸: ۵۷). سیلاب زمانی اتفاق می‌افتند که آب از رودخانه‌ها، جویبارها و کانال‌های آب خارج گردد، به بیان دیگر مجرای طبیعی خود را ترک نماید. هنگامی شاهد چنین رخدادی می‌باشیم که ظرفیت کانال یا رودخانه کاملا از آب پر شده باشد و وارد دشت‌های سیلابی و مناطقی که مردم در آن سکونت دارند گردد. سیلاب‌ها تمامی راه‌های حمل و نقل (خیابان‌ها، بزرگراه‌ها و معابر عمومی)، امکانات تفریحی، تجاری، صنعتی و غیره را متاثر می‌سازند. هنگامی که بارندگی سنگینی اتفاق بیفتد و تمامی این آب نتواند به داخل خاک نفوذ کند، حجم زیادی از آب وارد سیستم‌های زهکشی می‌گردد و کانال‌های آبی را لبریز می‌سازد. حجم اضافه و مازادی که نمی‌تواند زهکشی شود، به دشت‌های سیلابی وارد می‌شود و از توپوگرافی و پستی و بلندی‌های منطقه مجاور رودخانه متاثر می‌شود. این رویدادها به صورت نامنظم و وابسته به جریانات اقلیمی منطقه‌ای و محلی اتفاق می‌افتند. به این نوع سیلاب، سیلاب رودخانه‌ای اطلاق می‌گردد(فیلیپ و همکاران[۱]، ۲۰۰۶: ۱۱۸۱). درواقع، سیل یک رخداد ناگهانی و رویداد سریع و مخرب به شمار می‌آید که می‌تواند عوارض ویرانگر از قبیل تخریب شهرها را در پی داشته باشد. همه ساله در نقاط مختلف دنیا، جان و مال بسیاری از مردم در اثر وقوع سیل در معرض خطر قرار می‌گیرد. بر اساس آمار سازمان‌های تخصصی ملل متحد در یک دهه در ۱۳۰ مورد وقوع سیلاب‌های بزرگ افزون بر ۶۴۱۰۳ نفر تلفات انسانی و ۹/۰۶ میلیارد دلار خسارت اقتصادی محسوس به بار آورده است. در سال‌های اخیر، توسعه شهرها و صنایع مختلف در دشت‌های سیلابی، بالاخص در کناره‌ها و حاشیه رودخانه‌ها موجب گردیده تا ساکنین و اماکن موجود در ناحیه، در معرض خطر سیلاب قرار گیرند، که در این راستا مسائل و مشکلات زیادی برای شهرنشینان، مالکان زمین‌های زراعی و صنایع و کارگاه‌های حاشیه رودخانه‌ها در طی رخداد سیل ایجاد می‌شود(امیدوار، ۱۳۹۲: ۱۸۱). به همین دلیل، سیلاب‌ها در طول تاریخ رایج‌ترین، مرگ‌بارترین و پرهزینه‌ترین مخاطره در میان خوادث طبیعی محسوب می‌شوند. خطر رخداد سیلاب طی زمان افزایش یافته است، به‌خصوص از زمانی که بسیاری از کشورها پروانه‌ها و مجوزهای ساخت و ساز در دشت‌های سیلابی را صادر نمودند و حتی رشد تجاری و مسکونی در این مناطق را تشویق نمودند(خیری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۱). در کنترل و مبارزه با اثرات سیلاب شناسایی فاکتورها و پارامترهای تاثیرگذار بر آن از اهمیت زیادی برخوردار است. به بیان دیگر قبل از هر گونه برنامه‌ریزی به منظور کنترل سیلاب، می‌بایست رفتار فرایندهای آن را به خوبی درک کرد(قنواتی، ۱۳۸۲: ۱۷۵). در واقع، اندازه و تناوب رخداد سیلاب در هر منطقه وابسته به عوامل متعددی است. مشخصه‌های فیزیکی حوضه آبخیز مانند: شکل، شیب، شبکه آبراهه و پستی و بلندی‌های زمین همراه با ویژگی‌های هیدرولوژیکی از قبیل: بارش، ذخیره و تلفات برگابی و چالابی، تبخیر و تعرق، تخلخل و نفوذپذیری و اقدامات ناشی از فعالیت‌های انسانی در وقوع و تشدید سیلاب و یا کاهش و افزایش میزان تلفات و خسارات حاصل از آن مشارکت دارند. شناسایی این عوامل و طبقه‌بندی آنها در هر منطقه‌ای، از اصول اساسی و اولیه مهار سیلاب و کاهش مخاطرات آن به شمار می‌رود(فاضل و همکارن، ۱۳۹۶: ۱۲۲). با توجه به علل گوناگون و تاثیرگذار در وقوع سیلاب، می‌توان با اعمال روش‌ها، اقدامات و راهکارهای علمی و عملی از بروز بسیاری از سیل‌ها جلوگیری نموده و در سیل‌هایی که نتوان از رخداد آنها جلوگیری کرد، با انجام اقدامات متنوع از قبیل پهنه‌بندی خطر سیلاب و متعاقب آن تعیین کاربری متناسب برای پهنه‌های سیل‌گیر، خسارات و تلفات ناشی از آن را کاهش داد(زینی وند و همکاران، ۱۳۸۵: ۳). نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب می‌تواند به عنوان ابزاری کارآمد در برنامه‌ریزی مسیر رشد و توسعه

[۱] Philip et al

آتی شهر، همچنین شناخت مناطقی که در آن توسعه زیرساخت‌های تخلیه و زهکشی سیلاب ضروری می‌باشد مورد استفاده قرار گیرد. در این رابطه، تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA)، روش و تکنیک مورد نیاز جهت تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده مرتبط با تصمیم‌گیری را، که اغلب شامل داده‌ها و معیارهای غیرقابل مقایسه‌اند، مهیا می‌سازد(صالحی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۸۲). در این راستا، امروزه بهره‌گیری از علوم جدید به ویژه تکنیک دورسنجی (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا ارزیابی سریعی از پتانسیل خطرات طبیعی از جمله سیل را در حداقل زمان داشته باشند و لذا تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی به منظور شناسایی مناطق سیل‌خیز، تعیین گستره‌ی سیل، پهنه‌بندی مناطق سیل‌گیر و تخمین خسارات وارده در سطح وسیعی استفاده می‌شود(بروشکه و همکاران، ۱۳۸۵: ۵). مطالعات داخلی و خارجی متعددی در این زمینه صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات داخلی اشاره کرد از جمله: عابدینی و بهشتی جاوید (۱۳۹۵) در تحقیقی با بهره‌گیری از مدل‌های فرآیند تحلیل شبکه و منطق فازی و با استفاده از ۱۰ معیار طبیعی و انسانی، حوضه رودخانه لیقوان‌چای را از نظر پتانسیل سیل‌خیزی مورد ارزیابی قرار دادند. مطابق نتایج حاصله بیشترین تمرکز سطوح با خطر سیلاب بالا در بخش‌های پایین‌دست حوضه و در زمین‌های پست و کم شیب واقع شده که در آنها به دلیل شیب پایین و عمق زیاد رسوبات و مواد نفوذپذیر امکان نفوذ بیشتر بارش‌ها وجود دارد و قدرت تولید رواناب این مناطق در مقایسه با سایر بخش‌ها بسیار کم است. حاتمی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۶) به پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و GIS در سطح شهرستان ایذه پرداختند. برای رسیدن به این هدف از ۱۱ شاخص شامل، آبخوان‌ها، اقلیم، پوشش گیاهی، ارتفاع، خاک‌شناسی، فاصله از شبکه آبراه‌ها، سازنده‌های زمین‌شناسی، کاربری اراضی، هم تبخیر، هم‌بارش و هم‌دما استفاده کردند. نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب نشان داد که حدود ۴۳ درصد از شهرستان در پهنه خطر خیلی زیاد، ۱۶/۱۴ درصد در پهنه خطر زیاد، ۱۲/۴۶ درصد در پهنه خطر متوسط، ۱۰/۹۱ درصد در پهنه خطر کم و ۸/۳ درصد خیلی کم از لحاظ سیل‌گیری قرار دارد. مددی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و تحلیل فضایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خیاوچای پرداختند و به این نتیجه رسیدند که عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل در حوضه دارند. مددی و همکاران (۱۳۹۷) به پهنه بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز خیاوچای با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC پرداختند. نتیجه گرفتند که عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۷۳، ۰/۱۶۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳، بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۴۱/۴۵۷ و ۷۵/۸۷۵ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقه‌ی بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. همچنین مطالعات خارجی عبارتند از: چن[1] و همکاران (۲۰۰۹) مدلی را بر اساس سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و رواناب سطحی تجمعی و رواناب بارش برای سیلاب شهری ارائه کردند. کاربست این مدل به منظور تهیه نقشه مخاطره سیلاب بخشی از شهر ممفیس ایالات متحده آمریکا بیانگر کارایی بالای GIS در پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب است. فرناندز و لوتز[2] (۲۰۱۰) با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب شهری در استان توکومان[3] آرژانتین اقدام نمودند. آنها پنج معیار فاصله از شبکه‌های زهکشی، توپوگرافی (ارتفاع و شیب)، سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، و کاربری زمین شهری را با استفاده از مدل AHP در چارچوب یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تلفیق نمودند. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب نشان داد که مخاطره‌آمیزترین پهنه‌ها منطبق بر زمین‌های پست با شیب کمتر از ۰/۶ درصد و وجود کانال‌های با ساماندهی اندک است. قین[4] و همکاران (۲۰۱۱) در محدوده بزرگراه‌های منطقه فیولینگ چین بر اساس معیارهای زمین‌شناسی،

[1] - Chen
[2] - Fernandez & Lutz
[3] - Tucuman
[4] - Qin

شدت بارندگی، تناوب سیل، ژئومورفولوژی و پوشش گیاهی، به پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب با بهره‌گیری از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) اقدام نمودند. نتایج این پژوهش بیانگر این است که در کل منطقه مطالعاتی، سطوح بسیار خطرناک، خطرناک، با خطر متوسط و با خطر پایین به ترتیب ۱۱/۸۹ درصد، ۴۱/۶۵ درصد، ۳۲/۲۰ درصد و ۱۴/۲۶ درصد از منطقه را در برمی‌گیرند. القمدی[1] و همکاران (۲۰۱۲) رشد و توسعه فیزیکی شهری و ریسک سیل‌گرفتی شهر مکه را با توجه دو رخداد مهم سیل در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ با استفاده از تحلیل‌های مکانی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) پهنه‌بندی کردند و نقشه پتانسیل سیلاب شهری را در مناطق مختلف آن به دست آوردند. نتایج نشان می‌دهد که مناطق مسکونی شهر مکه در طی دوره زمانی مورد مطالعه (۱۹۹۰–۲۰۱۰ میلادی) تا ۱۹۷ درصد افزایش یافته است، این درحالی است که مساحت‌های سیل‌گیر شهر تا ۲۴۸ درصد افزایش یافته است. این امر به دو دلیل اساسی بوده است: ۱– استقرار مناطق مسکونی جدید در مناطق مستعد سیلاب کنونی؛ ۲– ساخت و ساز و غیرقابل نفوذ شدن سطوح گسترده‌ای از منطقه که باعث افزایش خطر رواناب سطحی شده است. بلمونته و گارسیا[2] (۲۰۱۲) مخاطره وقوع سیلاب در شرق اسپانیا را پهنه‌بندی نمودند. آنها با کاربست تکنیک GIS و ترکیب و روی‌هم‌گذاری متغیرها و لایه‌های تاثیرگذار در خطر سیلاب، نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب را تهیه نمودند و منطقه مطالعاتی را به پنج طبقه خطر طبقه‌بندی نمودند. هاگ[3] و همکاران (۲۰۱۲) توانمندی‌ها و ظرفیت‌های بالای سامانه اطلاعات جغرافیای (GIS) و سنجش از دور (RS) را در ارزیابی پهنه‌بندی خطر وقوع سیلاب خاطر نشان ساختند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های دورسنجی (RS) می‌تواند ارزیابی سریع و جامعی از پهنه‌های سیل‌گیر حوضه‌های آبریز را میسر سازد. این امر به‌ویژه در حوضه‌های آبریز فاقد آمار و اطلاعات دارای اهمیت شایان توجهی است. شارما[4] و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی ریسک سیلاب در حوضه رودخانه کوپیلی واقع در آسام هندوستان با استفاده از یک رویکرد تحلیل چندمعیاره پرداختند. داده‌های مورد استفاده آنها شامل تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، داده‌های اجتماعی– اقتصادی (مبتنی بر پنج متغیر سرشماری)، زیرساخت‌ها (شبکه ارتباطی) و کاربری اراضی بود. نتایج نشان داد که در حدود ۲۴۸۳۷ هکتار از اراضی منطقه به همراه ۹۵ روستا در پهنه‌های با خطر زیاد رخداد سیل قرار دارند.

در پژوهش حاضر، خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به وسعت زیاد، حاکمیت شرایط اقلیمی نیمه‌خشک و وجود سکونتگاه‌های پرشمار در منطقه، می‌توان به اهمیت ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح حوضه آبریز قوری‌چای پی برد. این امر مخصوصا در رابطه با وجود سکونتگاه‌های انسانی زیاد، وجود اراضی کشاورزی گسترده و حفاظت منابع آب و خاک از اهمیت قابل توجهی برخوردار می‌باشد. بنابراین، پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح حوضه مطالعاتی یکی از گام‌های اساسی در زمینه اقدامات مدیریتی در رابطه با کاهش و مقابله با خطر سیلاب می‌باشد.

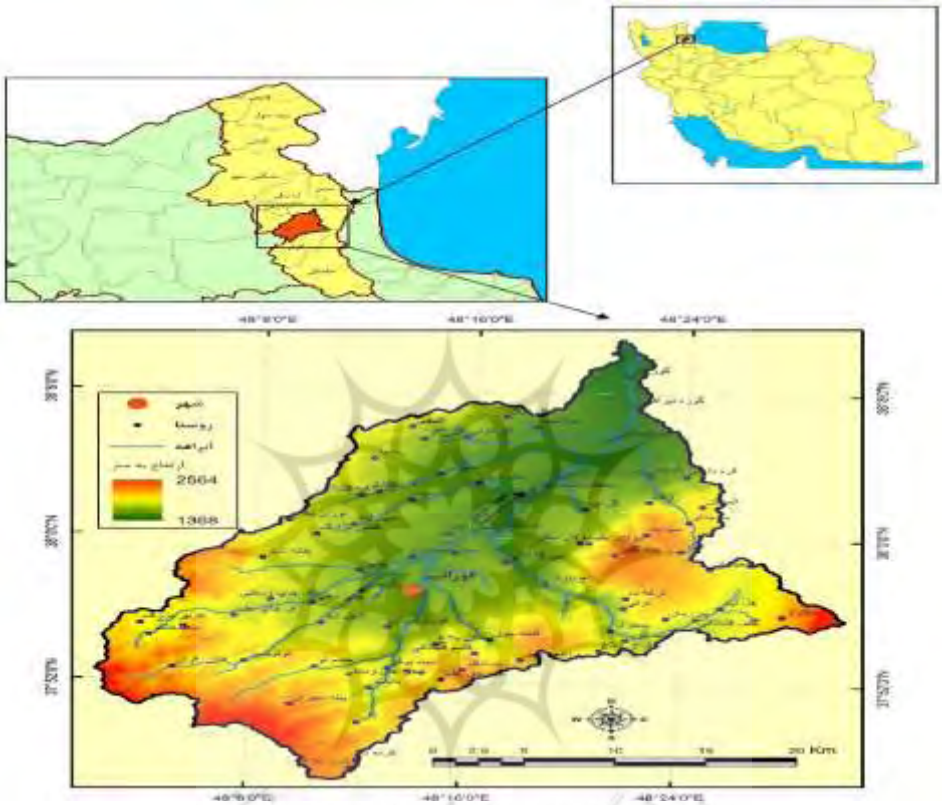
مواد و روش

معرفی منطقه مورد مطالعه

در پژوهش حاضر خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای مورد بررسی قرار می‌گیرد. این حوضه در استان اردبیل و در محدوده اداری شهرستان‌های نیر، اردبیل و کوثر قرار گرفته است. بخش عمده این حوضه در محدوده شهرستان نیر واقع شده است. حوضه مطالعاتی از نظر موقعیت ریاضی در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۱ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. مساحت این حوضه در

[1] AL-Ghamdi
[2] Belmonte & García
[3] Haq
[4] Sharma

حدود ۸۲۴ کیلومترمربع و محیط آن در حدود ۲۴۰ کیلومتر می‌باشد. آبراهه اصلی این حوضه رودخانه قوری‌چای می‌باشد که از دامنه‌های شمال شرقی رشته کوه بزقوش (گچی‌قیران) با ارتفاع تقریبی ۲۳۰۰ متر از سطح دریا سرچشمه می‌گیرد. در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای ۷۵ نقطه روستایی و یک نقطه شهری (کورائیم) وجود دارد. اکثر این سکونتگاه‌ها در داخل دره‌های حوضه آبخیز و مجاورت آبراهه‌های اصلی مستقر شده‌اند. این امر می‌تواند مخاطرات ناشی از رخداد سیلاب را افزایش دهد. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز قوری‌چای را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیز قوری‌چای در استان اردبیل(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

مواد و ابزارهای تحقیق

در این پژوهش به منظور تحلیل خطر سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای، داده‌ها و ابزارهایی به شرح زیر مورد استفاده قرار گرفت: نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ شامل برگه‌های اردبیل و گیوی، نقشه خاک‌شناسی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه شده توسط موسسه تحقیقات خاک و آب، مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مربوط به ماهواره ALOS – PALSAR با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر، تصاویر ماهواره‌ای مربوط به ماهواره Sentinel2 با قدرت تفکیک فضایی ۱۰ متر به منظور تهیه تراکم پوشش گیاهی (NDVI) حوضه آبخیز مطالعاتی و داده‌های هواشناسی و اقلیمی شامل داده‌های مربوط به ایستگاه سینوپتیک اردبیل و داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی مستقر در داخل حوضه آبخیز مطالعاتی. همچنین در پژوهش حاضر برای آماده‌سازی، استخراج متغیرها و پارامترهای پژوهش و همچنین اجرای مدل‌ها از نرم‌افزارهای Arc GIS همراه با اکستنشن Arc Hydro، نرم افزار ENVI برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار Super Decision جهت اجرای مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) استفاده گردید.

روش تحقیق

به منظور مدل‌سازی خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای از دو مدل منطق فازی و فرآیند تحلیل شبکه (ANP) در چارچوب سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد که در ادامه توضیحاتی در خصوص این مدل‌ها ارائه می‌شود.

مدل ANP

فرایند تحلیل شبکه‌ای یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد و در مجموعه مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد. این مدل بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده و در آن، شبکه جایگزین سلسله مراتب گردیده است. روش تحلیل شبکه‌ای می‌تواند به مانند ابزاری موثر در مواردی مورد استفاده قرار گیرد که ارتباط داخلی عناصر یک سیستم به صورت ساختار شبکه‌ای شکل می‌گیرند(فرجی سبکبار، ۱۳۹۲: ۵۲). فرایند تحلیل شبکه‌ای هر موضوع و مساله‌ای را به مثابه «شبکه‌ای» از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها (همه این‌ها عناصر نامیده می‌شوند) که با یکدیگر در خوشه‌هایی جمع شده‌اند، در نظر می‌گیرد. تمامی عناصر در یک شبکه می‌توانند به هر شکل دارای ارتباط با یکدیگر باشند. به عبارت دیگر در یک شبکه بازخورد و ارتباط متقابل بین و میان خوشه‌ها امکان‌پذیر است. بنابراین تحلیل شبکه‌ای را می‌توان متشکل از دو قسمت دانست: سلسله مراتب کنترلی و ارتباط شبکه‌ای. سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تاثیرگذار است و ارتباط شبکه‌ای وابستگی بین عناصر و خوشه‌ها را شامل می‌شود. این قابلیت ANP امکان در نظر گرفتن وابستگی‌های متقابل بین عناصر را فراهم آورده و در نتیجه نگرش دقیقی به مسائل پیچیده ارائه می‌کند. تاثیر عناصر بر عناصر دیگر در یک شبکه توسط یک سوپر ماتریس در نظر گرفته می‌شود.

فرایند تحلیل شبکه‌ای را در چهار مرحله زیر می‌توان خلاصه کرد:

الف- ساخت مدل و تبدیل مساله/ موضوع به یک ساختار شبکه‌ای، ب- تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و تعیین بردارهای اولویت، ج- تشکیل سوپرماتریس و تبدیل آن به سوپرماتریس حد و د- انتخاب گزینه برتر

منطق فازی

براساس تئوری فازی یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد. به عبارت دیگر یک مجموعه فازی، مجموعه‌ای از المان‌ها با ویژگی‌های مشابه می‌باشد که در آن، مجموعه دارای درجه‌ای مشخص از صفر تا یک است. مقدار صفر به مفهوم عدم عضویت و مقدار یک به مفهوم عضویت کامل می‌باشد. در منطق فازی با بهره‌گیری از توابع مختلف فازی می‌توان داده‌ها و معیارها را بنا به عملکردشان در محدوده بین صفر تا یک قرار داد و در نتیجه سطح تأثیر هر یک از طبقات معیارها را در وقوع یک پدیده همچون سیل نشان داد(عابدینی و بهشتی جاوید، ۱۳۹۵: ۲۹۶). با استفاده از نظریه فازی می‌توان متغیرهای نادقیق و مبهم را به شکل ریاضی تبدیل کرد(ولیزاده کامران، ۱۳۸۶: ۱۵۷). منطق فازی شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتا پیچیده است با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی و یا به عبارتی دانش فرد خبره و با هدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و یا تا حد زیادی تکمیل می‌نماید(نسرین نژاد، ۱۳۹۳: ۲۱). این نظریه در الگو کردن پدیده‌های فیزیکی، نقشه‌برداری و طبقه‌بندی بطور گسترده استفاده شده است(وهابی، ۱۳۸۵: ۳۶). در مدل فازی هر عضو همزمان در مجموعه‌های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می‌پذیرد(ولیزاده کامران، ۱۳۸۶: ۱۵۷). در فرآیند فازی‌سازی، جهت عضویت در مجموعه، ایده‌آلی تعریف می‌گردد. به هر مقداری از پدیده که نسبت به هسته تعریف مجموعه، مرکزی‌تر باشد، ارزش ۱ اختصاص می‌یابد و

به مقادیری که به طور قطع، بخشی از مجموعه نمی‌باشند، ارزش ۰ تخصیص داده می‌شود. مقادیری که بین این دو حد واقع می‌شوند، در منطقه انتقال یا گذار مجموعه قرار می‌گیرند (ازری[۱]، ۲۰۱۲).

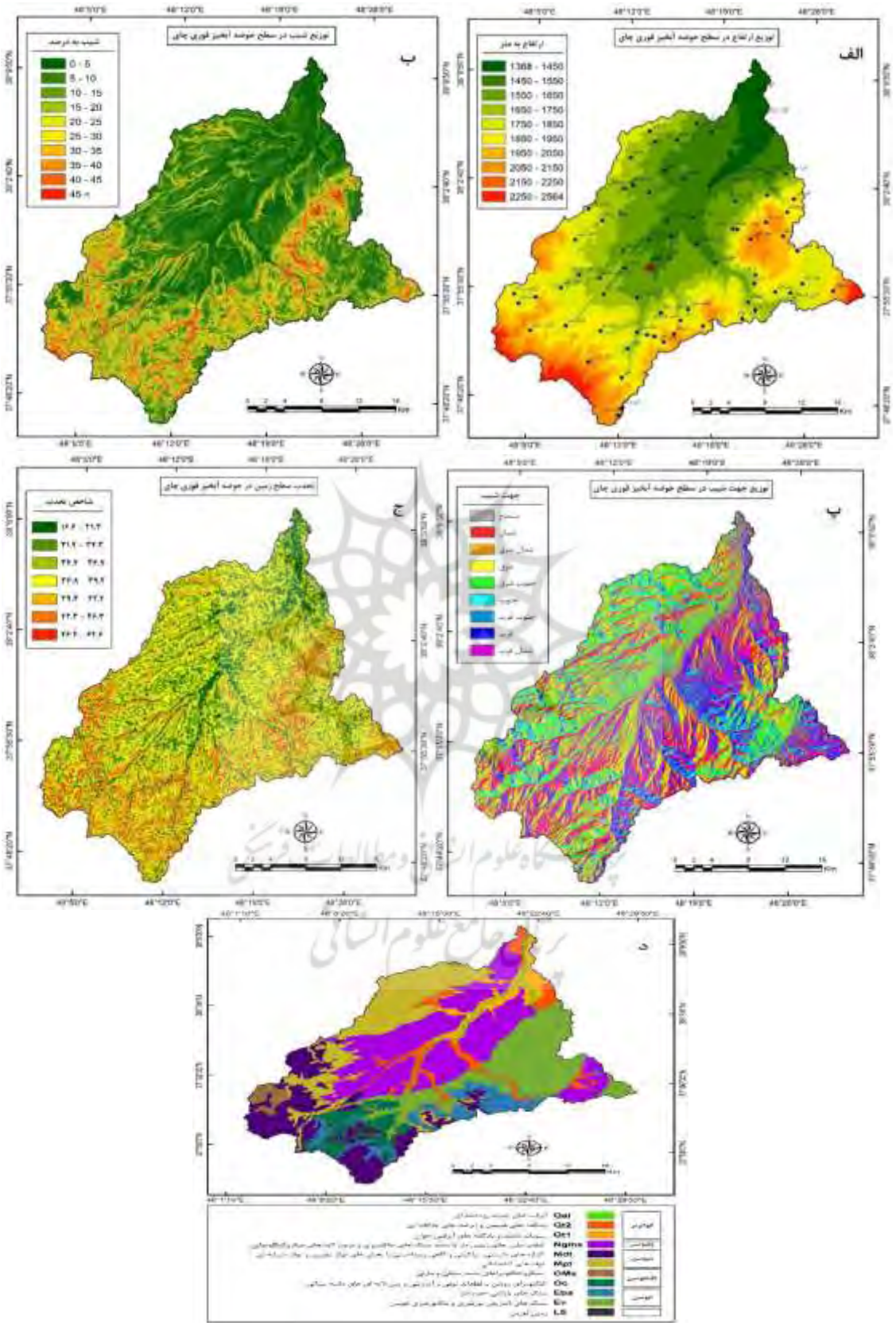
بحث و یافته‌ها

در این تحقیق با توجه به محدودیت داده‌های موجود از ۱۰ فاکتور موثر در بروز سیلاب استفاده شد. برخی از این فاکتورها به صورت مستقیم و برخی از آنها به صورت غیرمستقیم در خطر وقوع سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای تاثیرگذارند. این فاکتورها را می‌توان به سه دسته اصلی طبقه‌بندی نمود که عبارتنداز: فاکتورهای ژئومورفولوژیکی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، تحدب سطح زمین و سازندهای زمین‌شناسی؛ فاکتورهای هیدرولوژیکی شامل تراکم زهکشی، شماره منحنی (CN) و فاصله از آبراهه‌های اصلی؛ و فاکتورهای پوشش زمین که خود شامل متغیرهای کاربری اراضی و پوشش گیاهی می‌شود.

تحلیل فضایی فاکتورهای ژئومورفولوژیکی

نمودار آلتی‌متری حوضه آبخیز قوری‌چای نشان می‌دهد که در حدود ۵ درصد از سطح حوضه در طبقه ارتفاعی ۱۳۶۸ تا ۱۴۵۰ متر واقع شده است که منطبق بر قسمت‌های خروجی حوضه می‌باشد. همچنین در حدود ۴ درصد از سطح حوضه در دو طبقه ارتفاعی ۲۱۵۰ تا ۲۲۵۰ متر و ۲۲۵۰ تا ۲۵۶۴ متر واقع شده‌اند که منطبق بر چندین نقطه ارتفاعی در بالادست حوضه و رشته‌کوه بزقوش می‌باشد. همچنین حدود ۶ درصد سطح حوضه در طبقه ارتفاعی ۲۰۵۰ تا ۲۱۵۰ متر واقع شده است. سایر طبقات ارتفاعی تا حدودی به صورت یکنواخت توزیع شده‌اند و هر کدام از طبقات بین ۱۰ تا ۱۷ درصد از سطح حوضه را دربرمی‌گیرند(شکل ۲ الف). میانگین شیب حوضه آبخیز قوری‌چای ۱۵ درصد است. تقریبا ۲۱ درصد از سطح حوضه آبخیز قوری‌چای (با مساحت تقریبا ۱۷۰ کیلومترمربع) دارای شیب کم‌تر از ۵ درصد و در حدود ۲۵ درصد از سطح حوضه (با مساحت ۲۰۹ کیلومترمربع) دارای شیب‌های بین ۵ تا ۱۰ درصد است(شکل ۲ ب). حوضه آبخیز قوری‌چای عمدتا بخش‌هایی از دامنه‌های شمال شرقی رشته‌کوه بزقوش را زهکشی می‌کند. بنابراین روند عمومی حوضه مطالعاتی جنوب غربی- شمال شرقی می‌باشد. درحدود ۲/۸ درصد از حوضه مطالعاتی شامل اراضی مسطح است. شیب‌های جنوب غربی با ۷/۷ درصد و شیب‌های جنوبی با ۸ درصد از کمترین میزان توزیع فضایی در سطح حوضه برخوردار هستند. در مرتبه بعد شیب‌های غربی با حدود ۱۰ درصد و شیب‌های شمالی با حدود ۱۲ درصد و شیب‌های شمال‌شرقی با حدود ۱۳ درصد در مرتبه بعد قرار دارند. مساحت شیب‌های شرقی، جنوب شرقی و شمال غربی در سطح حوضه تقریبا برابر بوده و هر کدام حدود ۱۵ درصد از سطح حوضه را دربرمی‌گیرند(شکل ۲ پ). در خصوص اثرگذاری شاخص تحدب زمین بر خطر رخداد سیلاب می‌توان گفت که قسمت‌هایی از سطح حوضه آبخیز قوری‌چای که از تحدب بالایی برخوردار هستند رواناب‌های ناشی از بارش با سرعت بالایی تخلیه شده و به تعبیر دیگر امکان تجمع و انباشت آب وجود ندارد. بنابراین می‌توان گفت که در این قسمت‌ها خطر سیلاب یا وجود ندارد و یا به حداقل ممکن می‌رسد. در مقابل، در قسمت‌هایی از حوضه آبخیز مورد مطالعه که از تحدب بسیار پایینی برخوردار می‌باشند و یا به بیان دیگر سطوح مقعّری هستند احتمال تجمع و انباشت آب بسیار زیاد است و از این‌رو در معرض سیل و آبگرفتگی هستند(شکل ۲ ج). واحدهای سنگ‌شناسی بر اساس نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ اردبیل و کیوی(سازمان زمین‌شناسی کشور)، شامل الف) سازندهای زمین‌شناسی با مقاومت زیاد و تخلخل و نفوذپذیری اندک(واحدهای Mdt، Ev و Eba)، ب) سازندهای زمین‌شناسی با مقاومت، تخلخل و نفوذپذیری متوسط(واحدهای Mpt، Oms، Ngms و Oc)، ج) سازندهای زمین‌شناسی با فرسایش‌پذیری زیاد، تخلخل و نفوذپذیری بالا(واحدهای Qt1، Qt2 و Qal)، می‌باشد(شکل ۲ د).

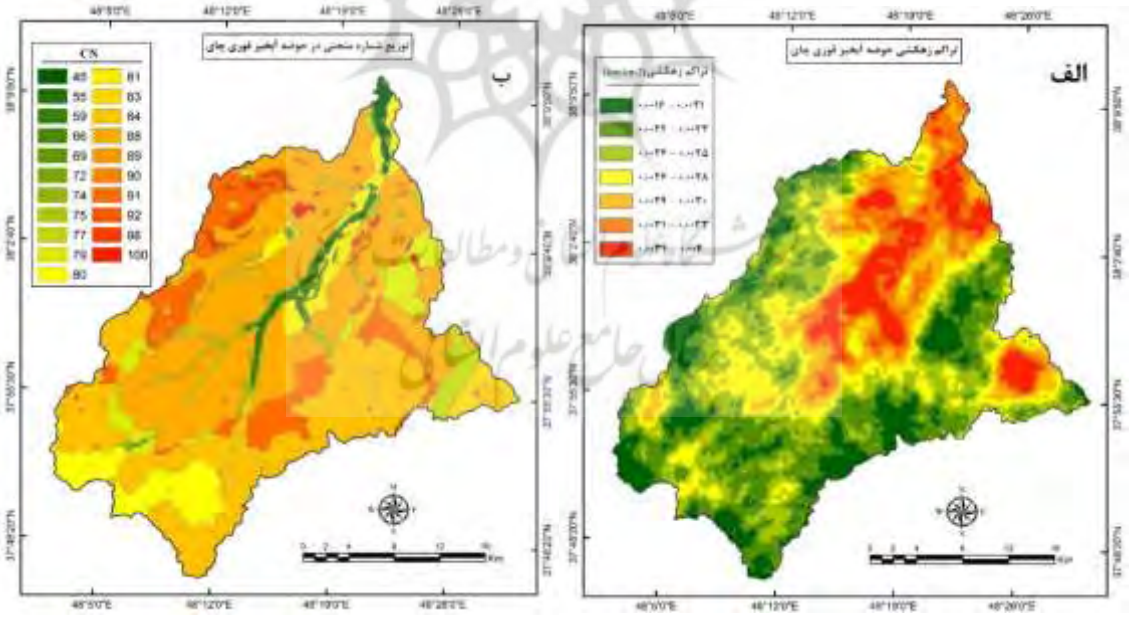
[۱] Esri

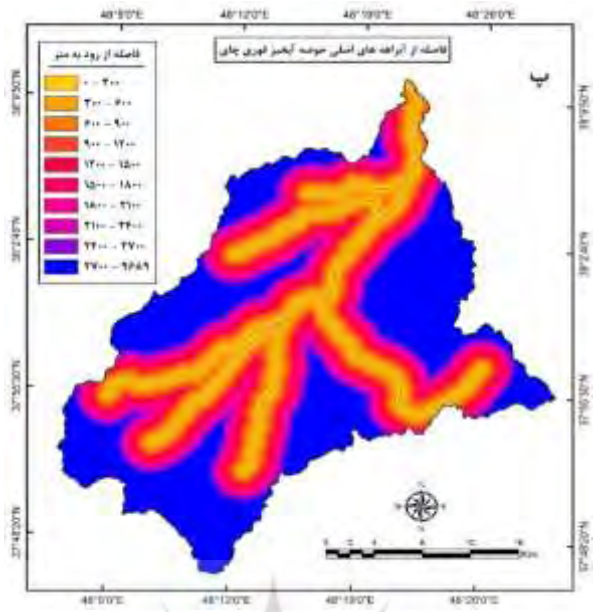


شکل ۲: توزیع فضایی پارامترهای ژئومورفولوژیکی در سطح حوضه قوری چای(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

فاکتورهای هیدرولوژیکی

ملاحظه می‌شود که تراکم زهکشی بالا در پایین دست حوضه دیده می‌شود و از این نظر نواحی جنوبی حوضه قوری‌چای و ارتفاعات مجاور خط تقسیم در قسمت‌های غربی و شرقی حوضه از پایین‌ترین میزان شاخص تراکم زهکشی برخوردار می‌باشند. با توجه به توزیع فضایی مقادیر شاخص تراکم زهکشی حوضه مطالعاتی (شکل ۳ الف) می‌توان گفت که در جهت پایین‌دست حوضه با دریافت شاخه‌ها و انشعابات گوناگون بر میزان تراکم زهکشی و دبی رودخانه افزوده می‌شود. اهمیت این روند در رابطه با بارش‌های رگباری مخصوصا در اواخر فصل زمستان و اوایل فصل بهار به طور محسوسی افزایش می‌یابد. در پژوهش حاضر، با توجه به فقدان ایستگاه سینوپتیک و در دسترس نبودن داده‌های دقیق بارش در حوضه مطالعاتی از شماره منحنی (CN) حوضه به عنوان متغیر جایگزین استفاده به عمل آمد. از این‌رو، محاسبه مقادیر CN در قسمت‌های مختلف حوضه مطالعاتی و مشارکت دادن آن در همپوشانی لایه‌های موضوعی موثر بر سیلاب کمبود داده‌های مرتبط با بارش را تا حدودی جبران می‌نماید زیرا هر چه اندازه که مقدار CN در قسمت‌هایی از حوضه دارای ارقام بالایی باشد به همان اندازه آب‌دوی و تولید رواناب در آن قسمت از حوضه زیادتر می‌باشد و به همین دلیل ارتفاع رواناب ناشی از بارش‌های با طول مدت مختلف در آن قسمت از حوضه دارای مقادیر بیشتری خواهد بود(شکل ۳ ب). از طریق انطباق لایه فاصله از آبراهه‌ها با مناطق مسکونی منطقه می‌توان نتیجه گرفت که در محدوده حوضه آبخیز قوری‌چای تقریبا ۳۳ درصد از مناطق مسکونی (روستاها و شهر کورائیم) با مساحت ۱۸۲/۶ هکتار در فاصله بین ۰ تا ۳۰۰ متری آبراهه‌های اصلی (آبراهه‌های رده ۵ و ۶) واقع شده‌اند. این اراضی مسکونی به دلیل مجاورت و نزدیکی به رودخانه در معرض سیلاب قرار دارند. همچنین بالغ بر ۱۴ درصد مناطق مسکونی با مساحت تقریبی ۷۸/۳ هکتار در فاصله بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ متری رودخانه‌های منطقه استقرار یافته‌اند که از نظر مخاطره سیلاب در رده دوم قرار دارند(شکل ۳ پ).



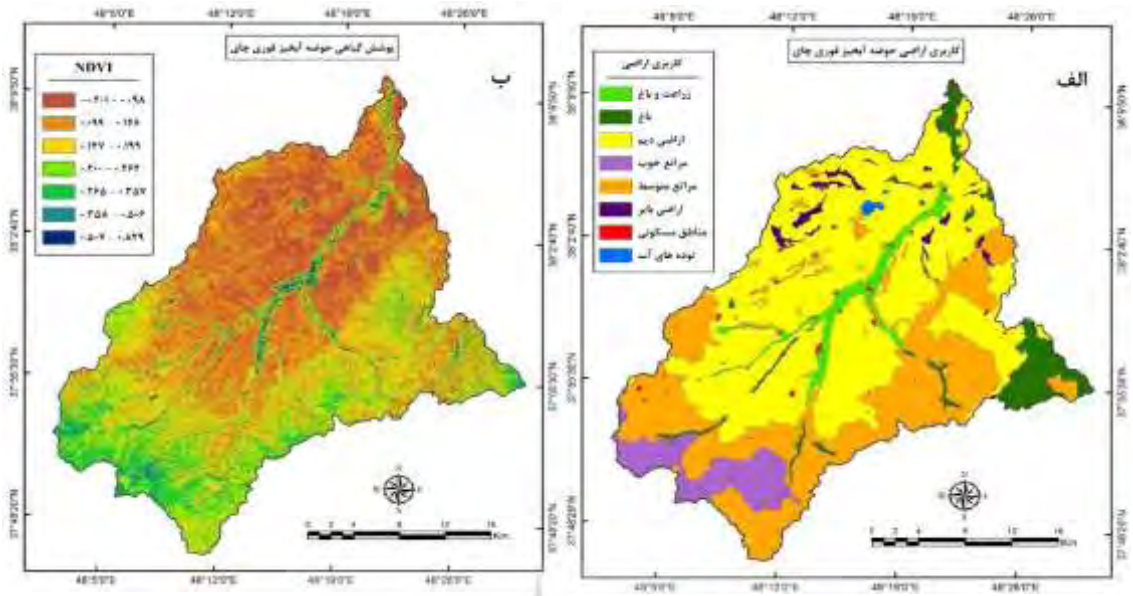


شکل ۳: توزیع فضایی پارامترهای هیدرولوژیکی در سطح حوضه قوری چای(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

فاکتورهای پوشش زمین

لایه کاربری اراضی حوضه آبخیز قوری‌چای از روی تصاویر ماهواره‌ای لندست استخراج شد. این لایه شامل هشت کاربری مختلف است. این کاربری‌های عبارتنداز: مناطق مسکونی (روستاها و شهر کورائیم)، باغات، زمین‌های زراعی مخلوط با باغات، اراضی دیم، مراتع با پوشش گیاهی خوب، مراتع با پوشش گیاهی متوسط، اراضی بایر و برونزدهای سنگی و در نهایت توده‌های آب. بخش اعظمی از سطح حوضه آبخیز قوری‌چای شامل اراضی دیم می‌باشد. در واقع در حدود ۵۲ درصد از سطح حوضه یعنی بالغ بر ۴۳۲ کیلومتر از سطح حوضه به این نوع کاربری اختصاص یافته است. کاربری مراتع متوسط با مساحت تقریبی ۲۴۸ کیلومترمربع دومین کاربری وسیع منطقه محسوب می‌شود که در حدود ۳۰ درصد از سطح حوضه را شامل می‌شود. مراتع با پوشش گیاهی خوب در حدود ۶ درصد از سطح حوضه (۵۲ کیلومترمربع) را شامل می‌شوند و به طور عمده در قسمت‌های بالادست حوضه (جنوب حوضه) پراکنده شده‌اند. اراضی کشاورزی آبی منطقه شامل باغات (۵/۶ درصد با مساحت ۴۶/۵ کیلومترمربع) و زراعت (۳/۳ درصد با مساحت ۲۷/۳ کیلومترمربع) عمدتا در مجاورت آبراهه‌های اصلی منطقه واقع شده‌اند. در نهایت اراضی بایر با ۱/۳ درصد در حدود ۱۰/۶ کیلومترمربع از سطح حوضه را شامل می‌شوند. مناطق مسکونی با ۰/۶۶ درصد و مساحت تقریبی ۵/۵ کیلومترمربع و توده‌های آب با ۰/۲۳ درصد و مساحت ۱/۹ کیلومترمربع کم‌وسعت‌ترین کاربری‌های موجود در حوضه آبخیز قوری‌چای به شمار می‌آیند(شکل ۴ الف). با توجه به مقادیر شاخص پوشش گیاهی[۱] و توزیع فضایی آن می‌توان نتیجه گرفت که در حدود ۲۰ درصد از سطح حوضه دارای مقادیر NDVI نزدیک به صفر یا کمتر از آن؛ در حدود ۳۱ درصد دارای مقادیر ۰/۰۹ تا ۰/۱۴ و ۲۴ درصد دارای مقادیر ۰/۱۴ تا ۰/۱۹ می‌باشد. بخش اعظمی از پایین‌دست (به استثنای دره اصلی قوری‌چای) و غرب حوضه مطالعاتی متعلق به این کلاس‌ها هستند که در بیشتر موارد شامل اراضی دیم می‌باشند. پوشش گیاهی همبستگی بالایی را با توزیع ارتفاعات و بارش منطقه نشان می‌دهد به طوری که با افزایش ارتفاع و به تبع آن افزایش بارش بر میزان شاخص NDVI نیز افزوده می‌شود. بالاترین مقادیر این شاخص (بیشتر از ۰/۵) در اطراف آبراهه‌های اصلی (مخصوصا در قسمت‌های پایین‌دست حوضه) و بخش‌هایی از جنوب حوضه (بالادست) دیده می‌شود. مقادیر بالاتر شاخص NDVI در مجاورت آبراهه‌های اصلی منطقه عموما منطبق بر زمین‌های کشاورزی آبی و باغات می‌باشد(شکل ۴ ب).

[۱] NDVI



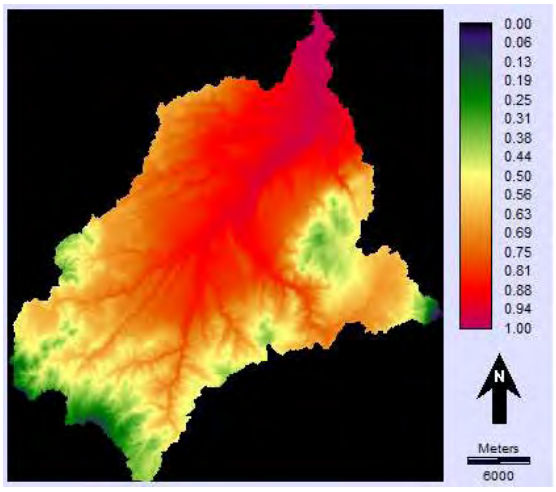
شکل ۴: توزیع فضایی پارامترهای پوشش زمین در سطح حوضه قوری چای(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

فازی‌سازی معیارهای موثر بر خطر وقوع سیلاب در حوضه قوری‌چای

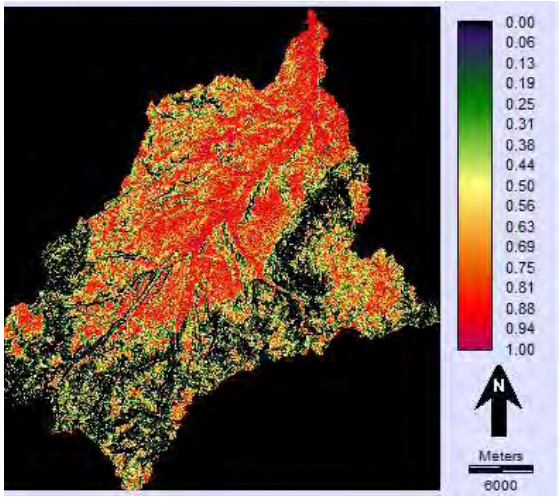
در تحقیق حاضر از منطق فازی به منظور استاندارد کردن لایه‌های موضوعی استفاده شد. در طی فرایند فازی‌سازی، ارزش‌های هر یک از سلول‌ها یا پیکسل‌های لایه‌های موضوعی به دامنه همسان بین صفر تا یک تبدیل می‌شود. در این فرایند بالاترین مقدار عددی یعنی ارزش ۱ به حداکثر عضویت و پایین‌ترین ارزش عددی یعنی عدد ۰ به حداقل عضویت در مجموعه تخصیص داده می‌شود. در جدول (۱) نوع تابع فازی هر کدام از معیارهای تحقیق به همراه توضیحات مربوطه ارائه شده است. همچنین در شکل‌های (۵) تا (۱۴) لایه‌های فازی‌شده تحقیق نشان داده شده است.

جدول ۱: نوع توابع فازی‌ساز لایه‌های موضوعی تاثیرگذار بر سیل‌گیری حوضه آبخیز قوری‌چای(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۸)

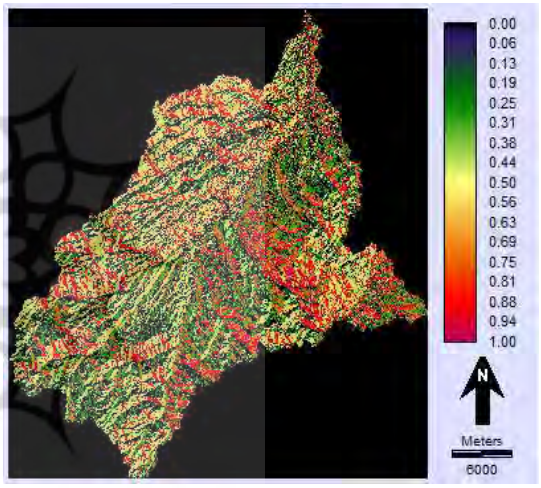
متغیر	توضیحات	نوع تابع فازی
ارتفاع	با افزایش ارتفاع از مخاطره سیلاب کاسته می‌شود.	تابع خطی کاهنده
شیب	با افزایش شیب از مخاطره سیلاب کاسته می‌شود و برعکس.	تابع خطی کاهنده
جهت شیب	کلاسه‌بندی مجدد و اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در خطر سیلاب و سپس فازی کردن	تابع بزرگ فازی
تراکم زهکشی	با افزایش تراکم زهکشی خطر سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع خطی افزایشی
تحدب سطح زمین	با کاهش شاخص تحدب سطح زمین پتانسیل وقوع سیلاب افزایش می‌یابد.	تابع خطی کاهنده
پوشش گیاهی	با افزایش تراکم پوشش گیاهی مخاطره سیلاب کاهش می‌یابد.	تابع خطی کاهنده
فاصله از رودخانه	در مناطق مجاور رودخانه‌ها مخاطره سیلاب افزایش قابل توجهی می‌یابد.	تابع نزدیک فازی
سازندهای زمین‌شناسی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در خطر سیلاب و سپس فازی کردن.	تابع بزرگ فازی
کاربری اراضی	اختصاص کدها بر اساس اهمیت آن در خطر سیلاب و سپس فازی کردن	تابع بزرگ فازی
ارتفاع رواناب	با افزایش شماره منحنی بر پتانسیل وقوع سیلاب افزوده می‌شود.	تابع خطی افزایشی



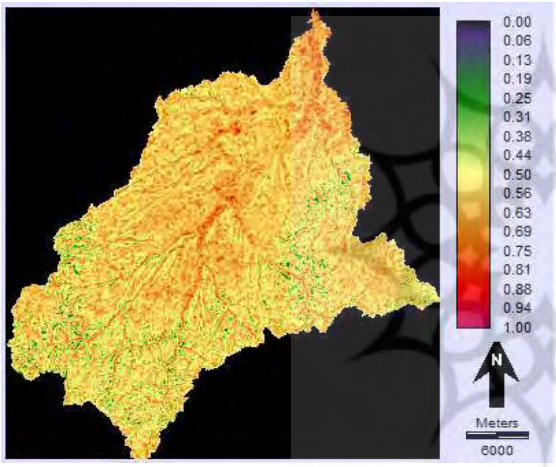
شکل ۵: نقشه فازی لایه ارتفاع



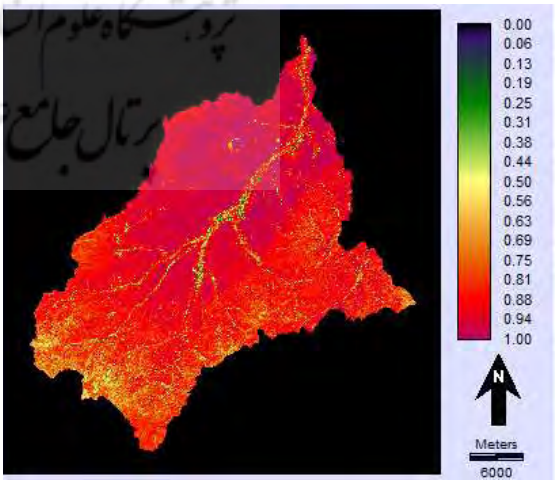
شکل ۶: نقشه فازی لایه شیب



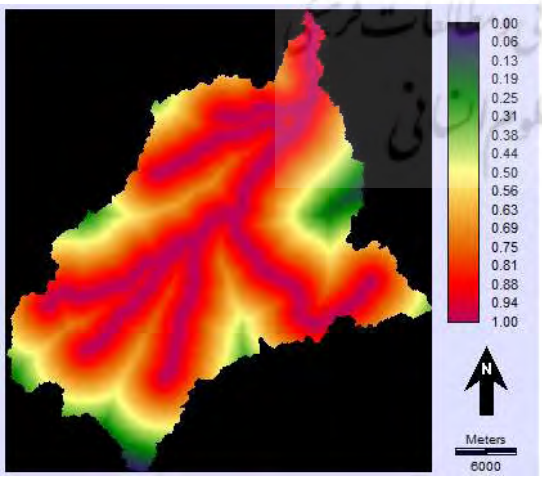
شکل ۷: نقشه فازی لایه جهت شیب



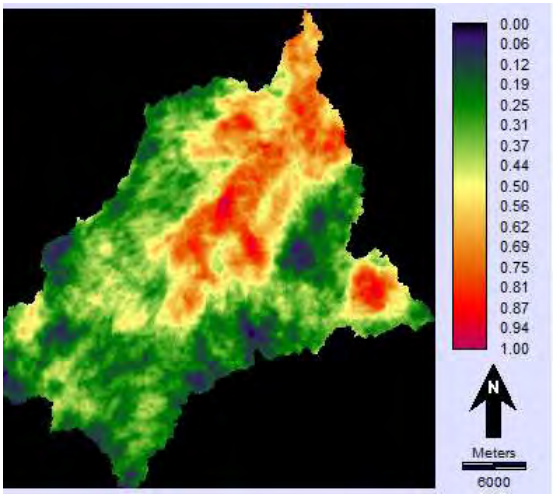
شکل ۸: نقشه فازی لایه تحدب سطح زمین



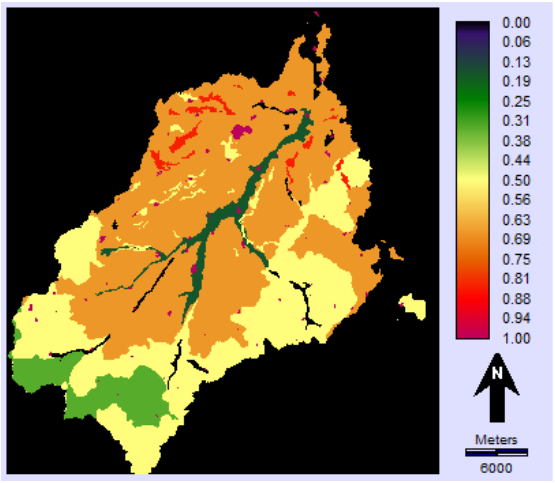
شکل ۹: نقشه فازی لایه NDVI



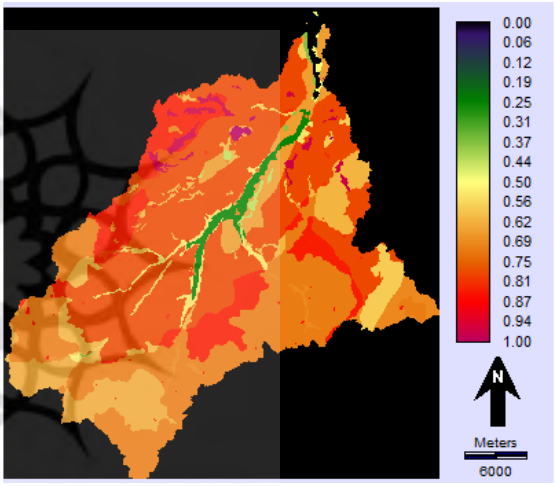
شکل ۱۰: نقشه فازی لایه فاصله از آبراهه



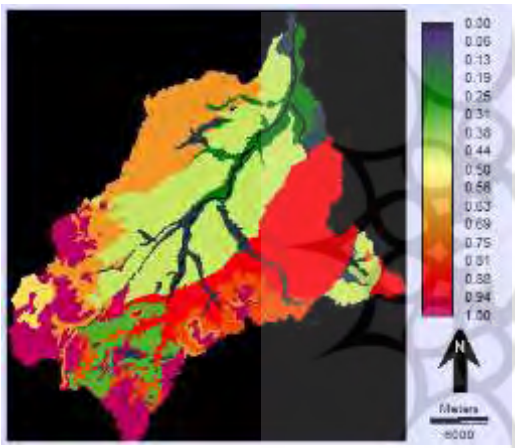
شکل ۱۱: نقشه فازی لایه تراکم زهکشی



شکل ۱۲: نقشه فازی لایه کاربری اراضی



شکل ۱۳: نقشه فازی لایه شماره منحنی



شکل ۱۴: نقشه فازی لایه سازندهای زمین‌شناسی

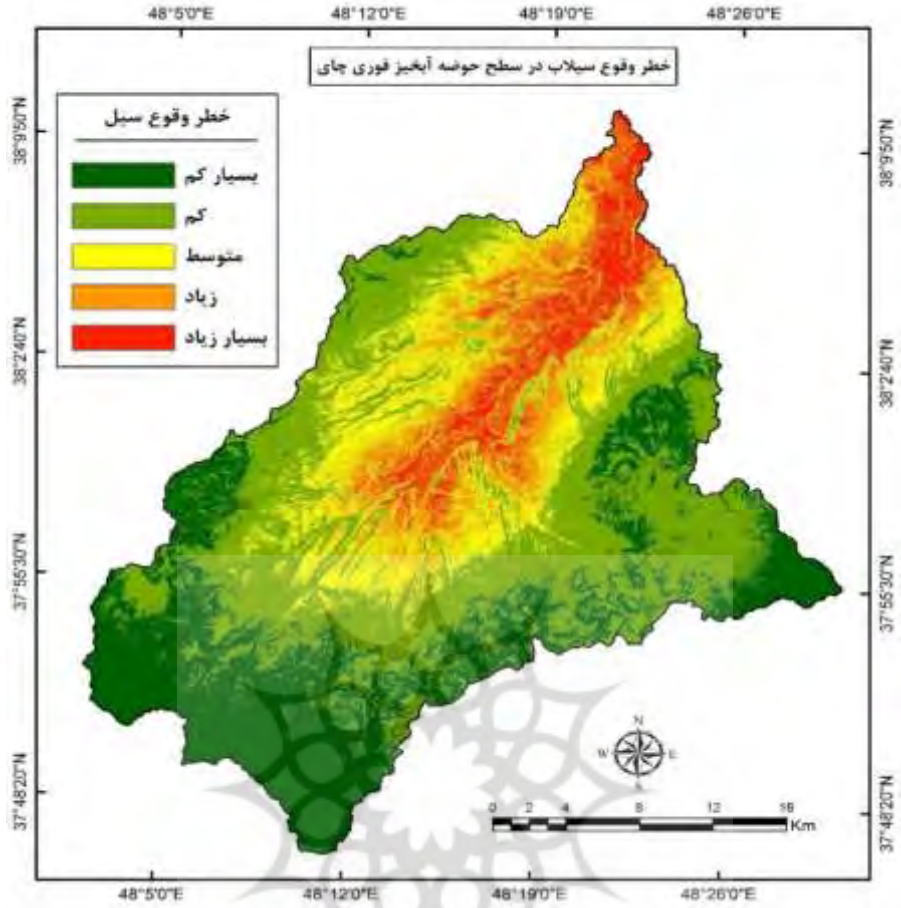
محاسبه وزن معیارها با استفاده از مدل ANP

در مدل فرآیند تحلیل شبکه با در نظر گرفتن ارتباط شبکه‌ای موجود بین خوشه‌ها و زیرمعیارها و نیز ارتباط درونی آنها باهم، ماتریس‌های مربوط به مقایسات زوجی تهیه و آماده شد. سوپر ماتریس حد در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل از سوپرماتریس پژوهش و وزن هر یک از معیارها نتیجه گرفته می‌شود که در بین ۱۰ معیار موثر بر خطر سیلاب در حوضه آبخیز قوری‌چای معیار توزیع شیب در سطح حوضه (با وزن۰/۲۶) از بالاترین اهمیت در رابطه با خطر رخداد سیلاب در سطح حوضه مطالعاتی برخوردار است. توزیع ارتفاعات منطقه (با وزن ۰/۱۸) و فاصله از آبراهه‌های اصلی یا آبراهه‌های رده ۵ و ۶ (با وزن ۰/۱۷) به ترتیب دومین و سومین معیار مهم در خطر بروز سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای به شمار می‌آیند.

جدول ۲: سوپر ماتریس نهایی

		هدف	هیدرولوژی			پوشش زمین		ژئومورفولوژی				
		پهنه بندی سیل	تراکم زهکشی	شماره منحنی	فاصله از	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	ارتفاع	تحدب زمین	جهت شیب	سازندهای زمین	شیب
هدف	پهنه بندی سیل	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰	۰/۰۰۰۰
هیدرولوژی	تراکم زهکشی	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴	۰/۰۳۸۴
	شماره منحنی	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵	۰/۱۲۵۵
	فاصله از رودخانه	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹	۰/۱۷۲۹
پوشش زمین	پوشش گیاهی	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳	۰/۰۳۱۳
	کاربری اراضی	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰	۰/۰۵۴۰
ژئومورفولوژی	ارتفاع	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷	۰/۱۸۶۷
	تحدب زمین	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴	۰/۰۳۱۴
	جهت شیب	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵	۰/۰۳۵۵
	سازندهای زمین شناسی	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴	۰/۰۶۱۴
	شیب	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸	۰/۲۶۲۸

لایه نهایی حاصل از ترکیب و روی‌هم‌گذاری لایه موضوعی نشان دهنده پتانسیل خطر سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای می‌باشد. نقشه حاصله به پنج کلاس خطر سیلاب بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد طبقه‌بندی شد(شکل ۱۵). با توجه به نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز قوری‌چای می‌توان بیان داشت که تقریبا ۴۹ کیلومترمربع از مساحت حوضه آبخیز مطالعاتی در کلاس خطر سیلاب بسیار زیاد قرار گرفته است که در حدود۵/۹ درصد از سطح حوضه را در برمی‌گیرد. علاوه بر این، بالغ بر۱۰۱ کیلومترمربع یا سهمی در حدود ۱۲ درصد از مساحت منطقه مطالعاتی در کلاس خطر زیاد جای گرفته است. اکثر این سطوح پرخطر در مجاورت یا کناره‌های آبراهه‌های اصلی حوضه و یا دشت‌های سیلابی واقع در کناره آنها واقع شده‌اند. این امر را می‌توان به دلایل متعددی نسبت داد که از جمله می‌توان هموار یا کم‌شیب بودن این زمین‌ها (و در نتیجه امکان پخش و گسترش راحت‌تر سیلاب)، وجود دره توسعه یافته با دشت سیلابی کف آن، عبور رودخانه قوری‌چای از این پهنه‌ها و ارتفاع پایین این پهنه‌ها را برشمرد.



شکل ۱۵: پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای با استفاده از مدل ANP

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به ارزیابی مکانی و پهنه‌بندی خطر رخداد سیل در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای واقع در استان اردبیل پرداخته شد. حوضه آبخیز قوری‌چای حوضه‌ای تقریبا طویل و کشیده با روند عمومی جنوبی- شمالی به شمار می‌آید که مساحتی در حدود ۸۲۴ کیلومترمربع از دامنه‌های شمالی رشته کوه بزقوش را زهکشی می‌کند. قوری‌چای در تقسیم‌بندی زمین‌ساختی ایران در زون ساختاری البرز- آذربایجان واقع شده است. سنگ‌های با نفوذپذیری کم از جمله سنگ‌های آذرین بیرونی درصد قابل توجهی از سطح این حوضه را پوشش داده‌اند. در این تحقیق در راستای پهنه‌بندی مخاطره سیلاب در محدوده حوضه‌ی آبخیز قوری‌چای، ۱۰ معیار موثر بر رخداد سیل به کار بسته شد. این معیارها می‌توانند به سه دسته عمده تقسیم‌بندی شوند: معیارهای ژئومورفولوژیکی شامل متغیرهای ارتفاع، شیب، جهت شیب، تحدب سطح زمین و سازندهای زمین‌شناسی؛ معیارهای هیدرولوژی شامل متغیرهای تراکم زهکشی، شماره منحنی (CN) و فاصله از آبراهه؛ و معیارهای پوشش زمین شامل کاربری اراضی و پوشش گیاهی(NDVI). تمامی این متغیرها در رابطه با رخداد سیل در منطقه مطالعاتی دارای تاثیر و اهمیت بوده و مهم‌تر اینکه از ماهیت فضایی برخوردار هستند. با هدف ارزیابی یکپارچه و سیستماتیک این معیارها، سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) با داشتن قابلیت‌ها و توانمندی‌های بالای تجزیه و تحلیل مکانی به نحو شایسته و کارآمدی می‌تواند در راستای ارزیابی خطر سیلاب به کار بسته شود. در این خصوص، جهت تلفیق و روی‌هم‌گذاری لایه‌های موضوعی تحقیق با هدف تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب در سطح حوضه آبخیز قوری‌چای از دو مدل منطق فازی و فرایند تحلیل شبکه‌ای(ANP) در قالب سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده به عمل آمد. در این راستا، تمامی لایه‌های موضوعی موثر بر وقوع سیلاب با کاربست توابع مختلف فازی‌ساز، در دامنه بین ۰ و ۱ استاندارد و

دارای واحدهای یکسانی شدند. سپس تمامی لایه‌های موضوعی مربوطه با اعمال وزن‌های حاصل از مدل ANP ترکیب شدند.

پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه آبخیز قوری‌چای نشان داد که در حدود ۱۸ درصد از مساحت حوضه آبخیز مطالعاتی در کلاس‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد واقع شده‌اند. پهنه‌های مخاطره‌آمیز به طور عمده در اطراف رودخانه قوری‌چای واقع در قسمت‌های پایین‌دست حوضه واقع شده‌اند. وجود مناطق مسکونی(به صورت روستاهای بزرگ و کوچک) مخاطره سیلاب در این قسمت‌ها را افزایش می‌دهد. به همین دلیل اتخاذ اقدامات و استراتژی‌هایی در محدوده حوضه آبخیز مطالعاتی به منظور به حداقل رساندن احتمال بروز سیلاب یا کاهش تلفات و خسارات آن لازم و ضروری می‌باشد. این امر هم از طریق اقدامات سازه‌ای(از قبیل لایروبی بستر رودخانه‌ها و احداث سیل‌بندها) و هم از طریق اقدامات غیرسازه‌ای (مخصوصا برنامه‌ریزی کاربری اراضی در جهت کاهش مخاطره و پایداری محیط) امکان‌پذیر است.

منابع

- امیدوار، ک.، ۱۳۹۲، مخاطرات طبیعی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه یزد، یزد.
- بروشکه، ا.، سکوتی، ر.، منتصری، م و قهرمانی، ا.، ۱۳۸۵، بررسی پدیده سیل و پهنه‌بندی آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۲۴-۲۶ بهمن ماه، دانشگاه شهید چمران اهواز، صص ۸-۱.
- حاتمی‌نژاد، ح.، آتش‌افروز، ن و آروین، م.، ۱۳۹۶، پهنه‌بندی خطر سیل با استفاده از تحلیل چندمعیاره و *GIS* مطالعه موردی: شهرستان ایذه، فصلنامه دانش پیشگیری و مدیریت بحران، دوره ۷، شماره ۲، صص ۵۷-۴۴.
- حافظی مقدس، ن و غفوری، م.، ۱۳۸۸، زمین‌شناسی زیست‌محیطی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان.
- خیری‌زاده آروق، م.، ملکی، ج و عمونیا، ح.، ۱۳۹۱، پهنه بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز مردق چای با استفاده از مدل *ANP*، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۳، صص ۵۶-۳۹.
- زینی‌وند، ح. ضیاتباراحمدی، م، خ و تلوری، ع، ا.، ۱۳۸۵، پهنه بندی سیل با به کارگیری نرم افزار *HEC-RAS* در دشت سیلابی سیلاخور بروجرد، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۱، صص ۱۳-۱.
- عابدینی، م و بهشتی جاوید، ا.، ۱۳۹۵، پهنه بندی خطر وقوع سیلاب حوضه آبخیز لیقوان چای با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه و سیستم اطلاعات جغرافیایی، نشریه فضای جغرافیایی، جلد ۱۶، شماره ۵۵، صص ۳۱۲-۲۹۳.
- فاضل، س.، تقوایی، م و محمودزاده، ا.، ۱۳۹۶، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهری با استفاده از مدل *ANP*، مطالعه موردی: شهر نجف‌آباد، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره ۱۱، صص ۱۳۲- ۱۲۱.
- فرجی سبکبار، ح و زراعتی، م.، ۱۳۸۷، بررسی و مدیریت ریسک سیلاب در منطقه کاشان با استفاده از تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی(سپهر)، دوره ۱۷، شماره ۶۶، صص ۳۱-۲۴.
- قنواتی، ع، ا.، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی خطر سیلاب شهر کرج با استفاده از منطق فازی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۲، شماره ۸، صص ۱۳۲-۱۱۳.
- مختاری هشی، ح و رحیمی، د.، ۱۳۹۵، پهنه بندی خطر سیل در مراکز انسانی و اقتصادی استان خراسان جنوبی با استفاده از منطق فازی، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دوره ۲۷، شماره ۱، پیاپی ۶۱، صص ۲۱۶-۱۹۹.
- مددی، ع.، پیروزی، ا و شکرزاده، ا.، ۱۳۹۷، بررسی تحلیل فضایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خیاوچای، طرح پژوهشی، دانشگاه محقق اردبیلی.

- مددی، ع.، پیروزی، ا و آقایاری، ل.، ۱۳۹۷، پهنه‌بندی خطر سیلاب با استفاده از تلفیق روش‌های *SCS-CN* و *WLC* (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی خیاوچای مشکین شهر)، نشریه هیدروژئومورفولوژی، دوره ۵، شماره ۱۷، صص ۸۵-۱۰۲.
- نسرین‌نژاد، ن، ا.، رنگزن، ک.، کلانتری، ن و صابری، ع.، ۱۳۹۳، پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی حوزه آبریز باغان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (*FAHP*)، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۵، شماره ۴، پیاپی ۱۷، صص ۳۴-۱۵.
- ولیزاده کامران، خ.، ۱۳۸۶، کاربرد *GIS* در پهنه بندی خطر سیلاب (مطالعه موردی: حوضه رود لیقوان)، مجله فضای جغرافیایی، سال ۷، شماره ۲۰، صص ۱۶۹-۱۵۳.
- وهابی، ج.، ۱۳۸۵، پهنه بندی خطر سیل با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی (مطالعه موردی طالقان رود)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۱، صص ۴۰-۳۳.
- *Al-ghamdi, K.A., Mirza, M.N. and Elzahrany, R.A., 2012. GIS evaluation of urban growth and flood hazards: a case study of Makkah city, Saudi Arabia. Knowing to manage the territory, protect the environment, and evaluate the cultural heritage. pp. 6-10.*
- *Belmonte, C. and García, S., 2012. Flood risk assessment and mapping in peri-urban Mediterranean environments using hydrogeomorphology, Application to ephemeral streams in the Valencia region (eastern Spain). Landscape and Urban Planning, 104(5), pp.189–200.*
- *Chen, J., 2009. A GIS-based model for urban flood inundation, Journal of Hydrology, 373, pp.184– 192.*
- *Fernandez, D.S. and Lutz, M.A., 2010. Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and Multicriteria decision analysis. Engineering Geology, 111, pp. 90–98.*
- *Haq, M., Akhtar, M., Muhammad, S., Paras, S. and Rahmatullah, J., 2012. Techniques of remote sensing and GIS for flood monitoring and damage assessment: a case study of Sindh province, Pakistan, Egypt. Space Science, 15, pp. 135–141.*
- *Philip, G., Oguntunde, A., Jan, F., Nick, V.G. and Hubert, H.G., 2006. Hydro climatology of the Volta River Basin in West Africa: Trends and variability from 1901to 2002. Journal Physics and Chemistry of the Earth, 31, pp. 1180-1188.*
- *Qin, Q., Tang, H. and Chen, H., 2011. Zoning of highway flood-triggering environment for highway in Fulling District, International Conference on Photonics, 3D imaging and Visualization. International Society for Optics and Photonics, 82, pp. 530- 538.*
- *Sharma, S., Roy, P.S., Chakravarthi, V. and Srinivasa, R.G., 2018. Flood risk assessment using multi-criteria analysis: a case study from Kopili River Basin, Assam, India. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 9(1), pp. 1-15.*