پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه آبریز رضی چای با استفاده از مدل ویکور

موسی عابدینی*، استاد ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی
الناز پیروزی، دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک دانشگاه محقق اردبیلی
لیلا آقایاری، دانشجوی دکتری مخاطرات ژئومورفولیک دانشگاه محقق اردبیلی

تاریخ دریافت:۱۳۹۸/۱۱/۱۹ تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۹/۱

چکیده

سیلاب یکی از بزرگ ترین و رایج ترین اشکال مخاطرات طبیعی است و همه‌ساله در سراسر جهان منجر به ایجاد خسارات جانی و مالی فراوان می گردد. به‌طوری‌که رخداد این پدیده مخرب در طی چند سال گذشته باعث تخریب برخی از راه های ارتباطی، آسیب به برخی مناطق مسکونی، اراضی زراعی و باغات واقع در این حوضه شده است. برای رسیدن به این هدف با بررسی های میدانی و مطالعه منابع، ابتدا ۸ عامل مؤثر وقوع سیلاب منطقه شامل شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، فاصله از گسل، بارش، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه و خاک شناسایی و طبقه بندی شدند. سپس لایه های اطلاعاتی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. ارزش گذاری و استاندارد سازی نقشه های معیار، به‌صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام گرفت. در مرحله بعد عوامل مورد بررسی به‌صورت وزن دهی کریتیک مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل و مدل سازی نهایی با استفاده از روش ویکور به‌عنوان یکی از روش های تحلیل تصمیم گیری چند معیار انجام شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب عامل شیب با ضریب وزنی ۰.۱۸، عامل ارتفاع با ضریب وزنی ۰.۱۷ و کاربری اراضی با ضریب وزنی ۰.۱۳ به ترتیب مهم ترین عوامل ایجاد سیلاب در حوضه رضی چای هستند. به‌علاوه به ترتیب ۱۵.۴۹ و ۱۶.۴۷ درصد از مساحت حوضه، در طبقه بسیار پرخطر قرار دارد که نشانگر پتانسیل بالای این حوضه برای وقوع سیلاب می باشد. به طور عمده مناطق بسیار پرخطر در قسمت شمال و شمال غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند؛ لذا پهنه بندی خطر سیلاب می تواند کمک مؤثری را در انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی حوضه داشته باشد.

واژه های کلیدی: حوضه رضی چای، پهنه بندی، سیلاب، مدل ویکور.

Flood hazard zoning in the Razey Chay water basin using the VIKOR model

Mousa Abedini [1]*, Elnaz Piroozi[2] , Leila Aghayary[3]

Abstract

Flood is one of the greatest and most common forms of natural hazard and every year around the world, there is a huge loss of life and financial loss. In this study, at first, 8 effective factors in catchment flooding were: slope, elevation, lithology, distance from fault, precipitation, land use, distance from river and soil identification. Then, information layers were prepared by GIS. The evaluation and standardization of the standard maps in the IDRISI software was done in conjunction with the fuzzy method. In the next step, the factors studied were considered as critic weights. The final analysis and modeling was done using the Vikor method as a multi-criteria decision analysis method. The results of this study also showed that among the effective factors in causing flood factor are slope factor with weight factor of 0.18, height factor with weight factor of 0.17 and land use factor with weight factor of 0.13 respectively are in the study basin. In addition, 15.49% and 16.47% of the basin area are in the very high risk category, respectively, which indicates the high potential of this basin for flood. According to the results, the factors slope and elevation and land use have the greatest impact on flood formation in the Razey Chay basin. Mostly, high-risk areas are located in the northwest and northwest basin. Therefore, conservation measures, watershed management and management of the basin are necessary studies.

Key words: Razey Chay Basin, Zoning, Flood, Vikor model.

1 Professor of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili

2 PhD Student of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili

3 PhD Student of Geomorphology, University of Mohaghegh Ardabili

مقدمه

سیل حجم عظیمی از آب است که بیش از دبی متعارف رودخانه باشد. در کشور ما وقوع سیل بیش از آنکه ناشی از بارش های تند باشد، دررابطه‌با برهم‌خوردن تعادل طبیعی و شرایط جغرافیایی و فیزیولوژیکی منطقه می باشد [۱]. این پدیده در بین بلایای طبیعی بیش از سایر بلایای طبیعی منجر به خسارت های مالی و جانی در گوشه‌وکنار دنیا می شود[۳،۲]. آنچه از این به لای طبیعی فاجعه می سازد عدم آگاهی برای مقابله با عواقب آن و پیشگیری از تأثیر سوء وقایع طبیعی بر ارکان تندرستی اقتصادی و محیطی است [۴]. مجموعه عواملی در طبیعت هستند که باعث می شوند جریان رودخانه از آن حالت طبیعی و تعادل خود خارج شده و به یک عامل مخرب تبدیل می شود. از مهم ترین آن-ها تبدیل اراضی، تخریب پوشش-گیاهی، درجه اشباع شدن خاک، تجاوز به حریم رودخانه ها، شدت بارندگی، شیب و نفوذپذیری حوضه می باشد[۵]. تعیین مناطق آسیب‌پذیر سیل برای تصمیم گیرندگان برای برنامه‌ریزی و فعالیت‌های مدیریتی مهم است. پهنه بندی سیل از جمله روش های کاهش خطرهای سیل است که اطلاعات ارزشمندی را دررابطه‌با طبیعت سیلاب ها و آثار آن بر اراضی دشت سیلابی و تعیین حریم رودخانه ها ارائه می دهد.

از گام های اساسی در جهت کاهش آثار زیان بار ناشی از سیلاب، شناخت مناطق سیل گیر و درجه بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل است. تا بر اساس نتایج حاصله بتوان دررابطه‌با نحوه استفاده از اراضی و کاربری های مختلف از جمله توسعه بهینه آتی شهرها و روستاها، کشاورزی، خدماتی و تولیدی تصمیم گیری نمود و زیان-های ناشی از وقوع سیل را کاهش داد. با رشد و توسعه فناوری-های نوین روش-های موجود، تهیه نقشه-های پهنه-بندی خطر سیل و محیط ارائه نمایش این نقشه ها نیازمند استفاده از ابزارهای کارآمدتری است. از یک سو در چند دهه اخیر، استفاده از روش های تصمیم گیری چندمعیاره (MCDM)، در زمینه پهنه-بندی خطر سیلاب بسیار مورد استقبال قرار گرفته است و برای کشف طیف وسیعی از گزینه ها از نظر درگیری های عینی و معیارهای چندگانه، از روش MCDM استفاده می شود و از سوی دیگر سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS) توانایی زیادی جهت تولید نقشه-های پهنه-بندی سیلاب و نمایش بصری آن-ها در اختیار کاربران قرار می-دهد؛ لذا، استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی و سیستم های تصمیم گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، می تواند باعث تسریع در روند برنامه ریزی در تشخیص موارد بحرانی و اضطراری شده و منجر به صدور نتایج مناسبی گردد.

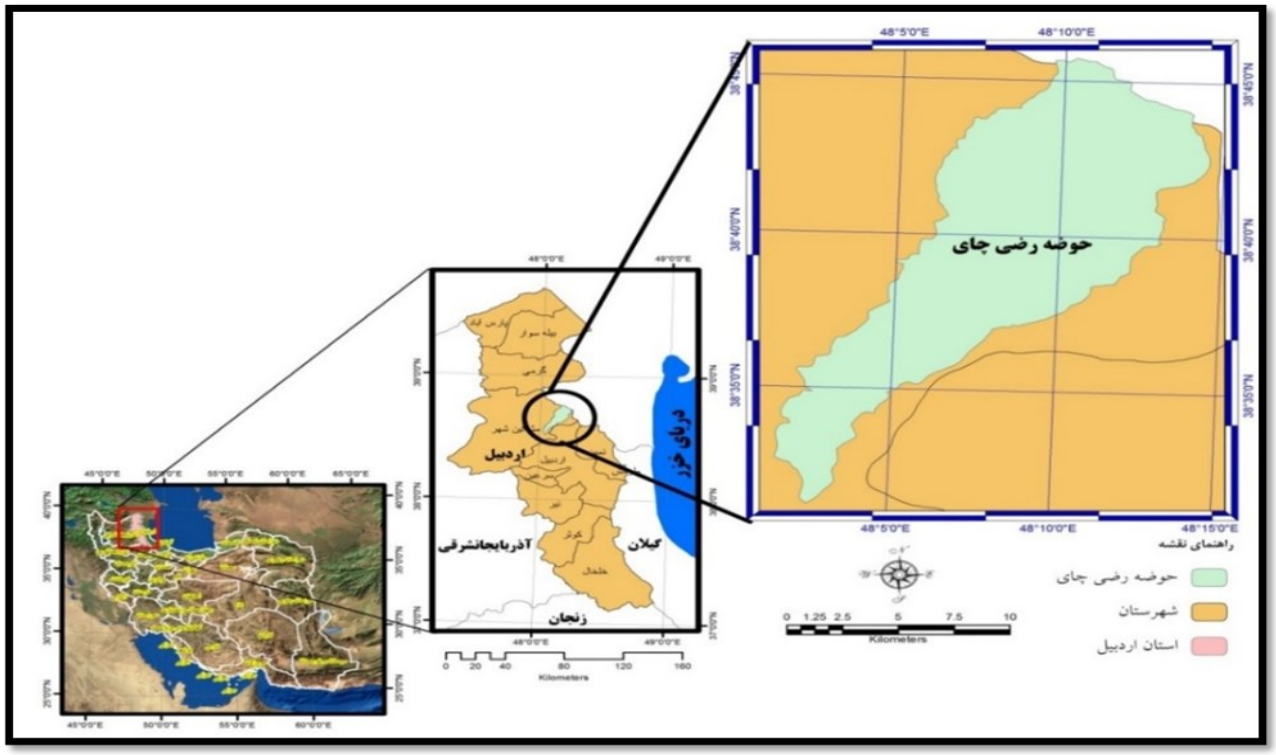
مطالعات متعددی در نقاط مختلف جهان انجام شده و توانایی تحلیل های تصمیم گیری چندمعیاره و به‌ویژه مدل ویکور، برای ارزیابی و پهنه بندی خطر سیلاب نشان داده است. به‌عنوان‌مثال: اصغری سراسکانرود و همکاران [۶]، در تحقیقی به پهنه بندی خطر سیلاب با استفاده از مدل ویکور در حوضه آق لاقان چای پرداختند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از شبکه آبراهه، بیش ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه ی آق لاقان چای دارند و این حوضه دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد سیلاب می باشد. به‌علاوه، نتایج این پژوهش، نشانگر توانمندی روش ویکور در نقش آفرینی به‌عنوان سیستم پشتیبان تصمیم گیری DSS، برای انتخاب گزینه های مناسب بوده است. عابدینی و همکاران [۷]، پهنه بندی خطر سیلاب در بخشی از شهرستان مشکین شهر (حوضه خیاو چای)، را با استفاده از مدل ویکور مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیش ترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند و به ترتیب ۳۷/۲۳ و ۵۰/۵۲ کیلومتر مربع از مساحت محدوده، در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. به‌علاوه در این مطالعه نیز اشاره شده است که استفاده عملیاتی از روش ویکور، چارچوب قاعده مندی در تعیین و پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی در سطح محدوده موردمطالعه ارائه کرده است. عابدینی و همکاران [۸]، به ارزیابی و پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه رضی چای با استفاده از مدل ANP پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد، در بین متغیر های مورد بررسی، عوامل شیب، فاصله از رودخانه و ارتفاع رواناب، کنترل شدیدی بر وقوع سیلاب ها در حوضه آبریز رضی چای اعمال می-کنند و در حدود ۲۸ درصد از سطح حوضه در پهنه های با خطر زیاد و بسیار زیاد قرار دارد که نشانگر توان بالای حوضه از نظر خطر سیلاب می باشد. نفرزادگان و همکاران [۹]، با استفاده از مدل های VIKOR، Permutationو AHPبه مطالعه و ارزیابی سیلاب در حوزه آبخیز دهبار، در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج حاصل در اولویت بندی به روش VIKOR نشان داد زیرحوزه یک، دو و سه به ترتیب بیش ترین پتانسیل خطر سیلاب را در حوزه دارند و سه زیرحوزه مذکور دارای ترین رتبه ازنظر ضریب رواناب، بارندگی و شماره منحنی است.

بالا ترین رتبه ازنظر ضریب رواناب، بارندگی و شماره منحنی می باشند به‌علاوه در این مطالعه، بیان شده است که تکنیک های تصمیم گیری چندمعیاره مانند AHP، VIKORو Permutationدر تصمیم گیری در امور پیچیده که معیار های متعددی در تصمیم گیری آن دخیل می باشند، به‌عنوان ابزار هایی قوی و انعطاف پذیر می باشند. خورشیدی و همکاران [۱۰]، اولویت بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه آبخیز حاجی بختیار، استان ایلام را با کاربرد روش AHP-VIKOR مطالعه کردند. باتوجه‌به نتایج مطالعه، ۳۱ درصد از مساحت منطقه در پتانسیل سیل خیزی متوسط،۵۳ درصد در پتانسیل زیاد و ۱۶درصد در پتانسیل خیلی زیاد واقع شده است. در نهایت باتوجه‌به نتایج حاصله، توانایی روش ویکور در بررسی سیلاب مورد تأیید قرار گرفته است. لی و همکاران [۱۱] ، به ارزیابی کارایی استفاده ترکیبی از روش ویکور و استاندارد سازی فازی‌سازی داده ها برای بررسی فضایی آسیب پذیری سیل، در رودخانه هان چین پرداختند. نتیجه نشان داد که روش ویکور فازی می تواند مشکل عدم اطمینان در تکنیک های استخراج وزن را کاهش دهد و همچنین می‌تواند اولویت بندی قوی را ارائه دهد. ملکیان وآذرنیوند [۱۲] ، با استفاده از روش های آنتروپی شانون و VIKOR، خطر سیلاب را در حوضه شمشک ایران، موردمطالعه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که باتوجه‌به این که روش ویکور گزینه ها را بر اساس حداکثر سودمندی گروه اکثریت و حداقل تأسف فردی رتبه بندی می کند و نزدیک ترین گزینه به راه‌حل ایده آل را ارائه می نماید، نتایج قابل قبولی را ارائه کرده است. در نهایت اشاره شده است که استفاده از روش ویکور و تلفیق آن با روش هایی دیگر مانند وزن دهی شانون می تواند به طور بالقوه در زمینه های مختلف مرتبط با آبخیزداری استفاده شود. برهما [۱۳]، به بررسی کاربرد های روش های VIKORو AHPفازی در مطالعات مربوط به سیل پرداخته است و به این نتیجه دست‌یافته است، روش های MCDMبه دلیل توانایی در رتبه بندی و اندازه گیری گزینه های نزدیک به ایده آل محبوبیت یافته است و بسیاری از روش های MCDMمانند VIKORو AHP فازی، روش علمی جدیدی را برای ارزیابی خطر سیل فراهم می کند. در نهایت در این مطالعه، پیش بینی شده است که در آینده، تعداد برنامه‌ها و رویکردهای مرتبط با روش‌های VIKORو AHPفازی، افزایش می یابد. برهما و میترا [۱۴] ، در حوضه ی آسام هند، خطر سیلاب را با بهره گیری از روش ویکور موردمطالعه قراردادند. در این پژوهش جهت استاندارد سازی لایه‌ها از روش فازی و به‌منظور وزن دهی معیار¬ها از روش AHP استفاده شده است. در نهایت باتوجه‌به نتایج حاصله قابلیت روش ویکور در بررسی سیلاب در این مطالعه مورد تأیید قرار گرفته است. ژو و همکاران [۱۵] ، به بررسی مقاومت دلتای رودخانه یانگ تسه چین (شامل ۲۷ شهر)، در برابر سیلاب شهری پرداخته اند. در این مطالعه از روش های چندمعیاره تاپسیس و ویکور باتوجه‌به ۶۳۲ سناریو استفاده شده است. نتایج مطالعه نشان داد، درحالی‌که کل منطقه سطح متوسطی از مقاومت در برابر سیل شهری را نشان می دهد، ولی شهر نانجینگ پتانسیل بالا تری دارد. در نهایت در این مقاله نیز اذعان شده است که روش ویکور در ارزیابی و پیش بینی خطر سیلاب، نتایج قابل‌قبول تری نسبت به روش تاپسیس را ارائه می دهد.

حوضه آبخیز رضی چای به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی، شیب و وضعیت لیتولوژی (وجود سازندهای بانفوذ پذیری کم) و شرایط اقلیمی (بارش های ناگهانی، رگبارهای بهاری، ذوب برف ها و طغیان رودخانه ها در بهار) از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار می باشد؛ لذا به دلیل اهمیت حوضه آبخیز رضی چای، به لحاظ کشاورزی و مسائل خطر سیلاب سطح بندی سطح حوضه از لحاظ حساسیت به وقوع خطر سیلاب بسیار حائز اهمیت است و ازآن‌جهت که مطالعات بسیار اندکی در این مورد صورت‌گرفته است، لذا ضروری است که در مورد دلایل و عوامل اصلی سیلاب در این منطقه و پهنه بندی آن مطالعاتی صورت گیرد. در مطالعه ی حاضر پهنه بندی حوضه به لحاظ پتانسیل خطر وقوع سیلاب با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره ی ویکور و با استفاده از سیستم های اطلاعات جغرافیایی مدنظر قرار گرفته است، تا با شناسایی مناطق اولویت دار از نظر خطر سیلاب، اقدامات لازم جهت کنترل، برنامه ریزی بهره برداری بهینه از منابع و استراتژی های مدیریت پایدار زمین به عمل آید. نتایج حاصل از این مطالعه و مقایسه آن با نتایج سایر مطالعات انجام شده در حوضه رضی چای، می تواند برای پژوهشگران، مسئولان و سیاست گذاران در راستای پتانسیل سنجی سیلاب بسیار جالب باشد.

معرفی محدوده پژوهش

حوضه آبریز رضی چای در ۴۳ کیلومتری غرب استان اردبیل و در شهرستان مشکین‌شهر، بین مختصات جغرافیایی ″۲۶ ′۰۱ °۴۸ تا ۴۰ ′۱۴ °۴۸ طول شرقی و ″۱۱ ′۱ °۳۸ تا ″۴۹ ′۴۵ °۳۸ عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه بر اساس نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ در حدود ۱۸۰.۲۳۲ کیلومتر مربع می باشد. حوزه موردمطالعه از شمال به مرز ایران و جمهوری آذربایجان، از شرق به قشلاق شور، از شمال شرقی به کوه اویستی، از غرب به سهرابلو، از شمال غرب به طاقچه داش و از جنوب به عرشه چای محدود می گردد. بزرگ ترین مرکز جمعیت این ناحیه شهر رضی است که توسط جاده آسفالته اصلی از جنوب به اردبیل و از شمال به شهر گرمی مربوط می شود. محیط حوزه موردمطالعه ۱۳۷.۳۵۷ کیلومتر می باشد و بیشترین ارتفاع ۲۴۲۰ (در بالا دست حوضه، واقع در ارتفاعات مرزی ایران و آذربایجان) و کمترین ارتفاع آن معادل ۱۱۴۳ متر از سطح دریا (محل خروجی حوضه) می باشد و متوسط ارتفاع حوضه نیز، ۱۷۸۱ متر از سطح دریا می باشد



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبخیز رضی در ایران و اردبیل

روش تحقیق و ابزارها

به‌منظور دستیابی به هدف تحقیق از مواد و روش های زیر استفاده شده است:

۱. مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع تحقیق از طریق مطالعه اسناد و مدارک کتابخانه ای، جهت شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع سیلاب.

۲. تهیه لایه های اطلاعاتی شامل: تهیه نقشه ی شبکه آبراهه، منحنی میزان طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی نقشه توپوگرافی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، تهیه لایه های اطلاعاتی زمین شناسی و لیتولوژی حوضه با استفاده از نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور، تهیه نقشه بارش منطقه موردمطالعه را با استفاده از داده های ایستگاه باران‌سنجی در داخل حوضه و همچنین ایستگاه های مجاور (آمارهای مربوط به سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، ایستگاه های اردبیل، رضی و مشکین شهر) و با به‌دست‌آوردن گرادیان بارش حوضه ($P= 0.228\ H - 86.64$) و نیز استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، تهیه لایه های اطلاعاتی کاربری اراضی حوضه با استفاده از نقشه کاربری شهرستان مشکین‌شهر، تهیه نقشه خاک حوضه از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰.

3. واردکردن لایه‌ها به محیط IDRISIو ارزش گذاری و استانداردسازی نقشه های معیار، در نرم‌افزار IDRISIبه‌صورت توأم با استفاده از روش فازی.

4. وزن دهی و تعیین میزان تأثیر هر یک از عوامل با استفاده از روش کریتیک.

5. مدل سازی نهایی و تهیه نقشه پتانسیل سیلاب حوضه رضی-چای، با استفاده از روش VIKOR.

تشریح مدل VIKOR

مدل ویکور مبتنی بر برنامه ریزی توافقی مسائل تصمیم گیری چند معیاره است، تأکید این روش، بر رتبه بندی و انتخاب از مجموعه ای از گزینه ها و تعیین راه‌حل توافقی برای مسئله با معیار های متضاد است [۱۷]. در شرایطی که فرد تصمیم گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری های یک مسئله در زمان شروع و طرّاحی آن نیست، این روش می تواند به‌عنوان ابزاری مؤثّر برای تصمیم گیری مطرح شود [۱۸]. به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل ویکور دارای گام های زیر است [۱۹]:

مرحلهٔ اوّل: تشکیل ماتریس تصمیم باتوجه‌به تعداد معیار ها، به‌صورت رابطهٔ ۱ است. این ماتریس، بر اساس n آلترناتیو و m شاخص است که در آن x_{ij}عملکرد گزینه i (i:1,2,…,m) درارتباط‌با معیار j (j:1,2,…,n) است.

$$xij = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{22} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

مرحلهٔ دوّم: بی مقیاس کردن یا استاندارد سازی ماتریس تصمیم است. در این مرحله، سعی می شود، معیار ها با ابعاد مختلف به معیار هایی بی بعد تبدیل شوند و ماتریس F به‌صورت رابطهٔ ۲، تعریف می شود.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{in} \\ \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

از آنجا که در اندازه گیری معیار ها، دامنهٔ متنوّعی از مقیاس ها مورداستفاده قرار می گیرند؛ لذا لازم است که معیار ها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد گردد [۲۰]. استاندارد نمودن داده ها به معنی همسان کردن دامنهٔ تغییرات داده ها بین صفر و یک و یا یک دامنهٔ مشخّص دیگر (مانند ۰ تا ۲۵۵) است [۲۱]. در این پژوهش، از روش فازی جهت استاندارد سازی استفاده شده است. در مجموعه های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار ۲۵۵ به حدّاکثر عضویّت و کمترین ارزش یعنی صفر به حدّاقل عضویّت در مجموعه تعلّق می گیرد [۲۲].

مرحلهٔ سوّم: وزن دهی معیار است. به‌منظور وزن دهی معیار ها روش های متعدّدی همچون فرایند تحلیل سلسله مراتبی، فرایند تحلیل شبکه ای، کریتیک، بردار ویژه و آنتروپی شانون وجود دارد. در این پژوهش، جهت وزن دهی عوامل از روش کریتیک استفاده شده است. در این روش، داده ها بر اساس میزان تداخل و تضادّ موجود بین عوامل یا معیار ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می گیرد. در روش کریتیک، برای هر معیار ارزیابی دامنه ای از تغییرات مقادیر اندازه گیری شده در میان پیکسل ها (گزینه) وجود دارد که در قالب یک تابع عضویّت بیان می شوند. هرکدام از بردار های تشکیل شده برای معیار های مورداستفاده، دارای پارامتر های آماری از جمله انحراف معیار هستند. پس از محاسبهٔ انحراف معیار عوامل و معیار های مورد بررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد m×m ایجاد می گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردار های تشکیل شده است. با تعیین پارامتر های بالا، تضادّ موجود بین معیار j با معیار های دیگر از روی رابطهٔ ۳، محاسبه می شود.

$$cjk = \sum_{k=1}^{m} \left(1 - rjk\right) \quad (3)$$

که در آن Cjk معرّف مجموع تضادّ معیار j با معیارهای k است که از k = 1 شروع شده و تا k = m ادامه دارد و rjk، همبستگی بین دو معیار k و j را نشان می دهد. میزان اطّلاعات عامل j را می توان با استفاده از رابطهٔ ۴ محاسبه کرد.

$$cjk = \sum_{k=1}^{m} \left(1 - rjk\right) \quad (4)$$

که در آن Cj، معرّف میزان اطّلاعات معیار j و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار j را نشان می دهد. باتوجه‌به روابط یاد شده، معیار هایی که دارای Cj بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند j از رابطهٔ ۵ تعیین می گردد.

$$Wj = \frac{cj}{\sum_{k=1}^{m} c_k} \quad (۵)$$

که در آن Wj معرّف وزن معیار j و Ck نشانگر میزان اطّلاعات مجموع معیار های k است که از k = 1 شروع شده و تا k = m ادامه دارد.

مرحلهٔ چهارم: تعیین بهترین و بد ترین مقدار (f_j^*) از میان مقادیر (f_j^-) موجود برای هر معیار است. بهترین مقدار و بدترین مقدار معیارها به ترتیب از روابط ۶ و ۷، محاسبه می شوند. در این مطالعه، بهترین مقدار برای معیار ها با توجّه به نقشهٔ استاندارد شدهٔ فازی ۲۵۵ و بد ترین مقدار صفر در نظر گرفته شد.

$$f j^* = \max_i f_{ij} \quad (۶)$$

$$f i^- = \min_i f_{ij} \quad (۷)$$

مرحلهٔ پنجم: محاسبهٔ مقدار سودمندی یا حدّاکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسّف (R) است. Sj، عبارت است از فاصلهٔ گزینهٔ i، نسبت به راه‌حلّ ایده‌آل (ترکیب بهترین) و Rj، فاصلهٔ گزینهٔ i، از راه‌حلّ ایده‌آل منفی (ترکیب بد ترین) است [۲۳]. در این مرحله، مقدار Sباتوجه‌به رابطهٔ ۸ و Rباتوجه‌به رابطهٔ ۹، محاسبه می شوند که wj مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشهٔ معیار است.

$$S_i = \sum_{i=1}^{n} wi \frac{f j^* - f ij}{f j^* - f j^-} \quad (۸)$$

$$R_i = Max\left\{ wi \frac{f i^* - f i j}{f i^* - f i^- j} \right\} \quad (۹)$$

مرحلهٔ ششم: محاسبهٔ شاخص ویکور (مقدار Q) است. مقدار Q باتوجه‌به رابطهٔ ۱۰ محاسبه می شود.

$$Q_i = v\left[\frac{s_i - s^-}{s^* - s^-}\right] + (1-v)\left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}\right] \quad (۱۰)$$

مرحلهٔ هفتم: مرتّب‌کردن گزینه ها بر اساس مقادیر R، S و Q است. در این مرحله، باتوجه‌به مقادیر R، S و Q گزینه ها در سه گروه از کوچک تر به بزرگ تر مرتّب می شوند و در نهایت گزینه ای به‌عنوان گزینهٔ برتر انتخاب می شود که در هر سه گروه به‌عنوان گزینهٔ برتر شناخته شود.

بحث و نتایج

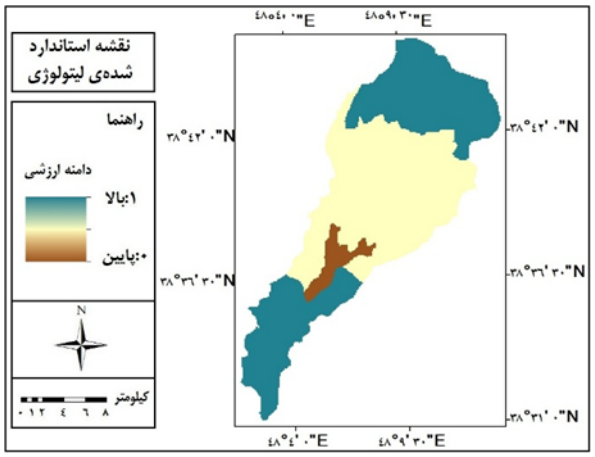
تشریح عوامل مؤثر بر سیل خیزی حوضه

شیب: شیب اراضی، تعیین کننده نحوه و میزان جریان و سرعت حرکت آب است. به‌این‌ترتیب که در اراضی با شیب شدید، تحت‌تأثیر نیروی ثقل آب دارای سرعت زیادی می شود [۲۴]. در حوضهٔ موردمطالعه متوسط مقدار شیب ۱۲درصد است و در برخی نقاط کوهستانی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز است. در این مطالعه، شیب بر مبنای درجه عضویت فازی در حدفاصل ۱-۰ ارزش گذاری شده است (شکل ۲). در این نقشه هر چه به دامنه ارزش ۱ نزدیک می شویم، پتانسیل وقوع سیلاب بیشتر است.

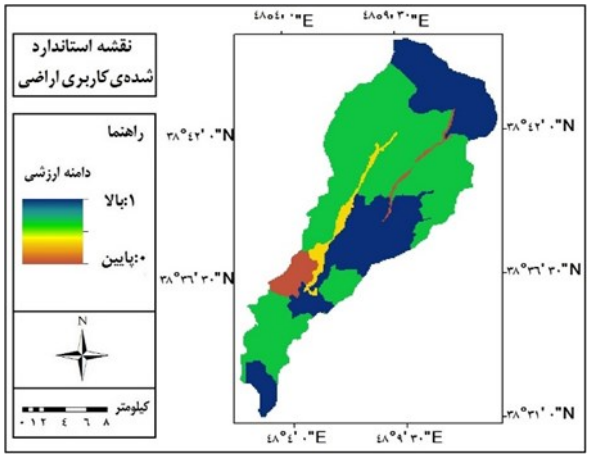
خاک: خاک ها با نفوذ پذیری مناسب به میزان زیادی، آب های حاصل از بارندگی را به زمین نفوذ داده و باعث تغذیه ی سفره های زیرزمینی می گردد. درحالی‌که اراضی با بافت ریز و فشرده باعث می گردد که آب نتواند در زمین نفوذ نموده، بلکه قسمت های زیادی از آب به‌صورت رواناب در سطح زمین جاری می گردد. خاک های حوضه رضی چای شامل چهار نوع خاک: رگولیت همراه با رخنمون سنگی، خاک های درشت‌دانه کم عمق، خاک های لومی نسبتاً عمیق و خاک های لومی ضخیم لایه آبرفتی است. در نقشه استاندارد شده ی خاک (شکل ۳)، به ترتیب خاک های رگولیت با رخنمون سنگی و خاک های دانه درشت کم عمق با نفوذ پذیری کم، ارزش زیاد را به خود اختصاص دادند.

لیتولوژی: ویژگی های سنگ شناسی به طور غیر مستقیم بر روی مشخصات حوضه تأثیر گذار است [۲۵]. در حوضهٔ رضی چای واحد های مختلف سنگ شناسی منطقه به صورت آذرین، رسوبی، دگرگونی و آتشفشانی گسترده شده است. در نقشه استاندارد شدهٔ لیتولوژی (شکل ۴)، هر چه به طرف یک حرکت می کنیم، میزان نفوذ پذیری کمتر و میزان ایجاد پتانسیل رواناب و سیلاب بیشتر می شود.

کاربری اراضی: کاربری اراضی روی جریان رودخانه و وقوع سیلاب به روش های مختلفی تأثیر می گذارد. هرگونه عملیاتی در حوضه که سبب کاهش ذخیره ی رطوبت خاک و یا کاهش نفوذ پذیری گردد، موجب افزایش بده سیلابی می گردد [۲۶]. نوع کاربری اراضی در سطح حوضه به ۶ نوع شامل: باغ، زمین های کشاورزی، زمین های نیمه خشک، بیشه زار، زمین های مستعد کشاورزی و زمین های نامناسب تقسیم می گردد. در نقشه های استانداردشدهٔ کاربری (شکل ۵)، هر چه به‌طرف یک حرکت می کنیم، پتانسیل وقوع سیلاب بیشتر می شود.

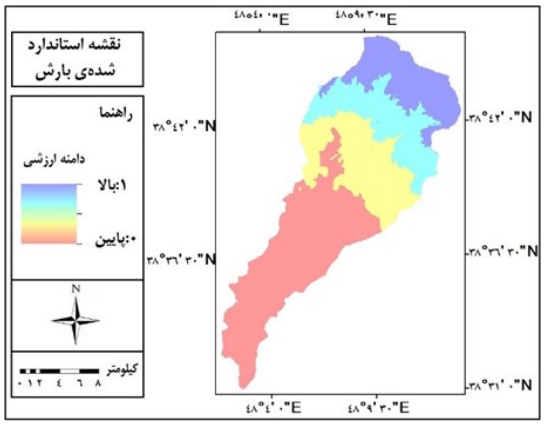


شکل ۴: نقشه استاندارد شدهٔ فازی لیتولوژی



شکل ۵: نقشه استاندارد شدهٔ فازی کاربری اراضی

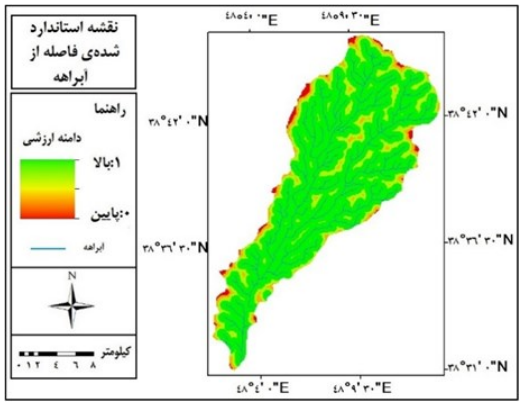
بارندگی: بارندگی را می توان مهم ترین عامل دانست که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد [۲۷]. قطعاً اگر بارندگی اتفاق نیفتد، سیل ایجاد نمی شود. در حوضه مطالعاتی فصل زمستان، فصل بارش های ناگهانی، بارش برف ها، فصل طغیان رودخانه ها و جاری‌شدن سیلاب های شدید در منطقه است. در نقشه فازی شدهٔ بارش (شکل ۶)، مناطق با میانگین بارشی زیاد ارزش بالا دریافت کرده اند.



شکل ۶: نقشه استاندارد شدهٔ فازی بارش

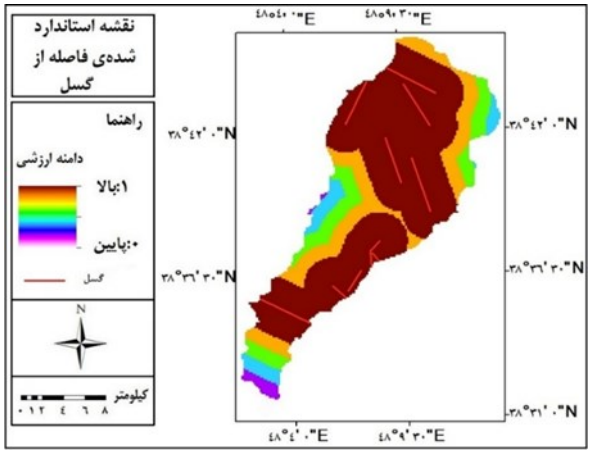
فاصله از گسل: حوضهٔ رضی چای از نظر ساختار تکتونیکی در کمربندی از طاقدیس های کوژ (براکی آنتیکلینال) قرار دارد که از شمال غرب به جنوب شرق کشیده اند. براین‌اساس قسمت عمده حوضه از سنگ های آذرین تشکیل شده است، عملکرد گسله ها و درز ها نقش عمده ای در شکل گیری آبراهه ها، پرتگاه ها و دامنه ها و برون زد واحد سنگی دارد. علاوه بر گسل های اصلی در محدوده حوضه آبریز، در محدوده ای به شعاع ۲۰۰ کیلومتر که منطقه در مرکز آن قرار دارد، گسل های مهّم مورد بررسی قرار گرفته که عبارت اند از: گسل آریا چای - هیر، اردوباد، ارس، پیرزاده حیدر آباد، آستارا، جنوب بزقوش، خلیفه لو - مشیران، دشت مغان (سمبوچای)، دوزدوزان، زیوه-بنفشه درق، شمال تبریز، کفن، گرمی، قفقاز کوک، منجاو، نئور و هوراند جزو گسل های مهم و فعّال منطقه می باشد که با تغییر شیب و همچنین با کاهش نفوذ پذیری، منطقه را در معرض شکل گیری رواناب قرار می دهد؛ بنابراین در ارزش گذاری نقشه فاصله از گسل ها (شکل ۸) که بین ۰ و ۱ قرار گرفته است، هر چه به مناطق اطراف گسل ها نزدیک‌تر می شویم، ارزش فازی بیشتر می شود.

فاصله از آبراهه: از جمله مهم ترین عوامل افزایش سیل استفاده نا معقول از حریم مسیل های به‌ظاهر مساعد و بالقوه خطرناک است که در معرض سیل های ادوار قرار دارند [۲۸]. در حوضه رضی چای باتوجه‌به تراکم زیاد شبکه آبراهه ها و نیز دائمی بودن رود رضی چای، فواصل نزدیک به رودخانه عمدتاً در معرض سیل خیزی قرار دارند؛ بنابراین در ارزش گذاری نقشه فاصله از آبراهه ها که بین ۰ و ۱ قرار گرفته است (شکل ۷)، هر چه به مناطق اطراف آبراهه ها نزدیک تر می شویم، ارزش فازی بیشتر

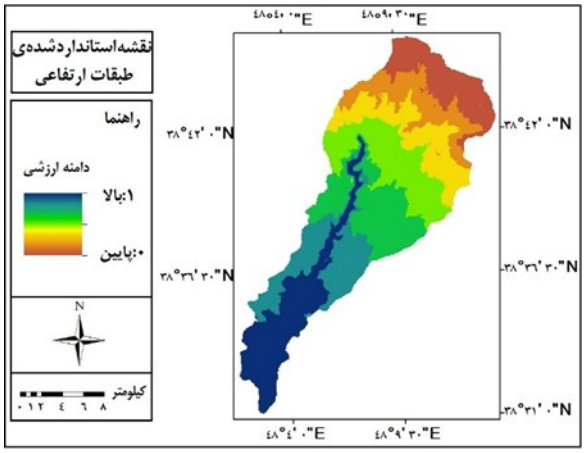


شکل ۷: نقشه استاندارد شدهٔ فازی فاصله از آبراهه

ارتفاع: ارتفاع حوضه یکی از عوامل حساس و مهّم در ایجاد رواناب و سیلاب به‌حساب می آید. بدین صورت که در حوضه های بالا دست، شیب بالا بوده و جریان آب دارای رواناب بیشتری می شود و این رواناب در حوضه های پایین دست، سرعت کمی پیدا می کند و این سرعت باعث می شود که سیلاب های مخرب در آن قسمت زیادتر شود. در نقشه استاندارد شدهٔ ارتفاع، هر چه به طرف عدد ۱ نزدیک می شویم، درجه ی مطلوبیت برای ایجاد سیل بیشتر می شود (شکل ۹).



شکل ۸: نقشه استاندارد شدهٔ فازی فاصله از گسل



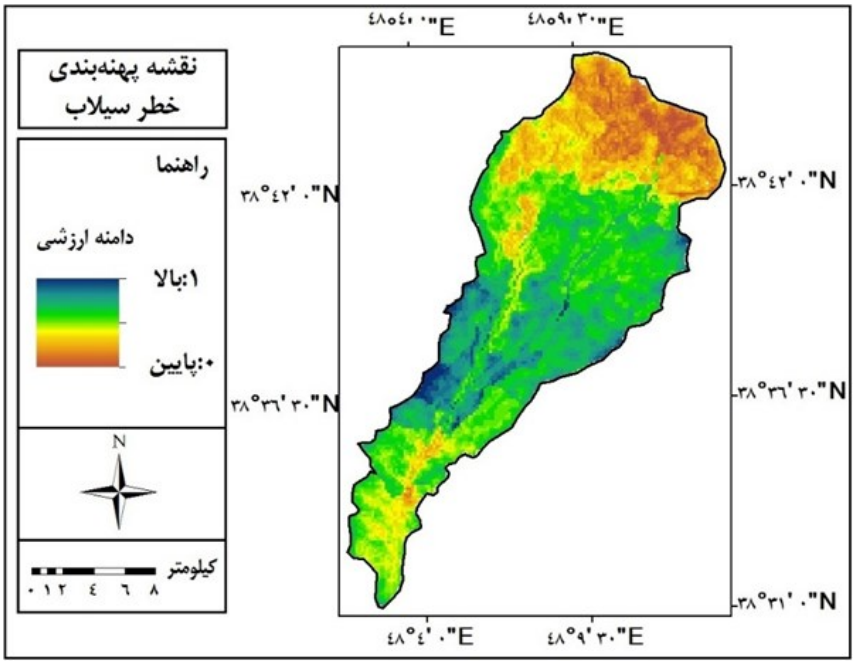
شکل ۹: نقشه استاندارد شدهٔ فازی طبقات ارتفاعی

خروجی حاصل از به‌کار گیری مدل VIKOR

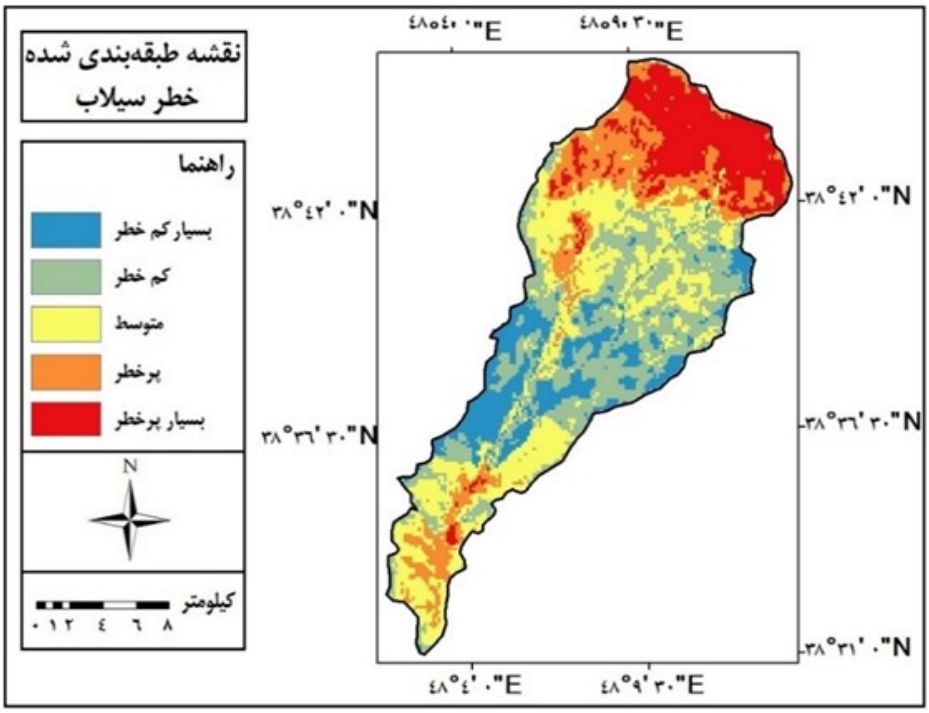
پس از تهیه نقشه های استاندارد شده دررابطه‌با هر یک از معیار های مطرح در نقشه پهنه بندی پتانسیل سیلاب حوضهٔ رضی چای و اعمال‌کردن وزن های مربوطه (جدول ۱)، نقشه های حاصله، وارد مدل VIKOR شد و با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه-ها، خروجی نهایی (شکل ۱۰)، به دست آمد. همان گونه که در نقشهٔ نهایی حاصل از روش تحقیق نشان‌داده‌شده است، دامنه ارزشی حاصل از مدل در پهنه-بندی سیلاب حوضهٔ مطالعاتی بین صفر و ۱ است که دارای ماهیّت فازی است و هر چه مقدار ارزش یک پیکسل به سمت عدد صفر نزدیک باشد، بیانگر میزان خطر زیاد جهت شکل گیری سیلاب است و هر چه میزان مقدار ارزش دریافت پیکسلی به سمت یک میل نماید، گویایی پتانسیل کمتر آن پیکسل جهت ایجاد سیلاب است. در ادامه باتوجه‌به دامنه ی مقادیر حاصل از مدل در پهنه بندی سیلاب، نقشه پهنه بندی پتانسیل سیل خیزی را در محیط ادریسی و با استفاده از دستور RECLASS، در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر طبقه بندی گردید (شکل ۱۱). با بررسی نقشهٔ پهنه-بندی پتانسیل خطر وقوع سیلاب حوضهٔ مطالعاتی و مقایسه آن با نقشه-های معیار، به این نتیجه رسیدیم که مناطقی بسیار پرخطر از لحاظ پتانسیل وقوع سیلاب در حوضه رضی-چای، به طور عمده در واحد های کوهستانی پرشیب شمال غرب و جنوب غرب حوضه مطالعاتی قرار دارند. این مناطق پرخطر به طور عمده دارای لیتولوژی بسیار مقاوم به همراه خاک های نفوذناپذیر هستند و اغلب کاربری-های این مناطق، به‌صورت رخنمون سنگی، مرتعی و زراعی است همچنین مناطق پرخطر در طبقات ارتفاعی بالاتر از ۲۰۰۰ متر و در شیب های ۶۰ تا ۳۰ درصد قرار گرفته اند. همچنین از نظر بارندگی این مناطق از مقدار بارش بالا برخوردارند و مناطق بسیار پرخطر در فواصل نزدیک به آبراهه (فاصله ۲۰۰ تا ۰ متری از آبراهه)، قرار دارند.

معیار	شیب	کاربری	ارتفاع	فاصله از	خاک	بارش	لیتولوژی	فاصله از آبراهه
مجموعه تضاد	۴.۲۱۳	۳.۸۲۲	۳.۲۷۵	۰.۳۶۶	۲.۴۰۵	۲.۱۹۵	۲.۵۲۳	۳.۱۵۹
انحراف معیار	۰.۳۸۹	۰.۳۰۲	۰.۴۵۶	۰.۳۰۱	۰.۴۳۴	۰.۳۴۶	۰.۴۵۴	۰.۲۴۸
میزان اطلاعات	۱.۶۳۸	۱.۰۷۲	۱.۴۹۳	۰.۷۲۱	۱.۰۴۴	۰.۷۵۹	۱.۱۴۵	۰.۷۷۳
وزن نهایی	۰.۱۸۷	۰.۱۳۴	۰.۱۷۰	۰.۰۸۱	۰.۱۹۹	۰.۰۸۶	۰.۱۳۱	۰.۰۸۸

جدول ۱: مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطّلاعات و وزن نهایی معیار های مطرح در پهنه بندی سیلاب

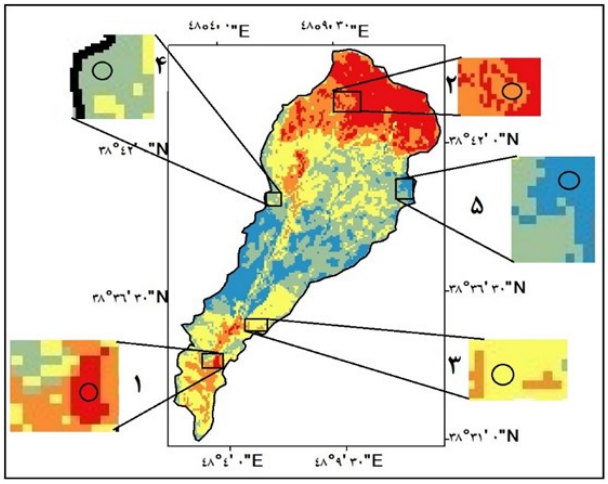


شکل ۱۰: نقشه پهنه بندی خطر سیلاب حوضه رضی چای



شکل ۱۱: نقشه طبقه بندی شدهٔ خطر سیلاب حوضه رضی چای

جهت مستند سازی بیشتر اعتبار نقشه پهنه بندی پتانسیل خطر سیلاب با استفاده از روش ویکور در این قسمت سعی شده است، بعد از انتخاب تصادفی تعدادی از پیکسل های معرّفی‌شده به‌عنوان نقاط پرخطر شکل ۱۲، به بررسی موردبه‌مورد ویژگی های این پیکسل ها به لحاظ معیار های تعیین شده پرداخته شود. به‌طورقطع انطباق این نمرات استاندارد شده با ارزش های واقعی ثبت شده از معیار ها که باتوجه‌به نقشه های رقومی به‌دست‌آمده است، به درک ملموس‌تر نتیجهٔ حاصل از به‌کار گیری تابع عضویت در مجموعه های فازی و به کارگیری مدل ویکور کمک قابل‌توجهی می کند. باتوجه‌به جدول مربوط به بررسی پیکسل ها (جدول ۲)، پیکسل انتخابی اوّل، در ۶ معیار، از ۸ معیار مطرح در پهنه بندی خطر سیلاب و همچنین پیکسل دو نیز در ۵ معیار، ارزش فازی بالای ۰.۶۰ را دریافت کرده اند. نمونهٔ سوم در ۵ معیار، دامنهٔ ارزش فازی بین ۰.۴۰تا ۰.۶۰ را به خود اختصاص داده است. در پیکسل چهارم، در سه معیار و در پیکسل ۵، در ۵ معیار ارزش فازی کم تر از ۰.۴۰ را دریافت کرده است و البته در سایر معیار ها نیز این پیکسل ها (۴ و ۵)، ارزش کم تری را به خود اختصاص داده اند.



شکل ۱۲: نقشهٔ پیکسل های نمونه های طبقات خطر مورد بررسی در پهنه بندی خطر سیلاب

معیار	پیکسل نمونهٔ ۱ (بسیار پرخطر)		پیکسل نمونهٔ ۲ (پرخطر)		پیکسل نمونهٔ ۳ (خطر متوسط)		پیکسل نمونهٔ ۴ (کم‌خطر)		پیکسل نمونهٔ ۵ (بسیار کم‌خطر)	
	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی
شیب	۶۸ (درصد)	۰.۸۵	۳۲	۰.۵۷	۱۰	۰.۲۵	۴	۰.۸	۲	۰.۱۰
طبقات ارتفاعی	۱۱۱۲ (متر)	۰.۹۳	۱۸۷۰	۰.۵۱	۱۳۹۰	۰.۶۳	۱۸۲۰	۰.۴۸	۲۱۰۰	۰.۲۵
لیتولوژی	بسیار مقاوم	۰.۸۴	بسیار مقاوم	۰.۷۹	مقاوم	۰.۶۹	مقاوم	۰.۵۰	مقاوم	۰.۳۰
فاصله از گسل	۱۰۰۰ (متر)	۱	۱۲۱۰	۰.۸۵	۱۰۰۰	۰.۸۰	۳۰۰۰	۰.۵۷	۴۳۰۰	۰.۴۲
بارش	۲۸۷ (میلیمتر)	۰.۲۰	۵۰۰	۰.۶۰	۳۰۰	۰.۲۷	۲۷۰	۰.۲۰	۴۵۰	۰.۵۰
کاربری	مراتع نیمه متراکم	۰.۷۰	بیشه زار	۰.۶۰	زراعت دیم	۰.۶۰	نیمه متراکم	۰.۶۰	مراتع نیمه متراکم	۰.۶۰
فاصله از رودخانه	۲۴۰ (متر)	۰.۸۷	۲۱۰	۱	۴۰۰	۰.۶۰	۵۱۰	۰.۶۰	۸۰۰	۰.۴۰
خاک	لومی ضخیم لایه آبرفتی	۰.۶۶	لومی نسبتاً عمیق	۰.۷۲	درشت‌دانه عمیق	۰.۳۳	درشت‌دانه عمیق	۰.۳۰	رگولیت به رخنمون سنگی	۰.۲۷

جدول ۲: ارزش های عادّی و فازی نمونه های مورد بررسی از پیکسل ها

نتیجه‌گیری

مخاطرات سیلاب، یکی از مهم ترین و پرحادثه ترین مخاطرات طبیعی ایران می باشد که در سال های اخیر تکرار و شدّت وقوع آن بیشتر شده است. یکی از راه های کاهش و جلوگیری از خسارات ناشی از این مخاطره، شناخت و پهنه بندی مناطق پرخطر سیلاب می باشد. در این پژوهش به منظور بررسی پتانسیل وقوع سیلاب در سطح حوضه آبریز رضی-چای، با استفاده از نقشه های استاندارد شده ی فازی و ضرایب نهایی وزن دهی کریتیک، مدل سازی نهایی با بهره گیری از روش ویکور، انجام شد و نقشه ی نهایی تهیه گردید. طبق نتایج حاصل از مطالعه، از بین عوامل مؤثر در ایجاد سیلاب حوضه، عامل شیب با ضریب وزنی ۰.۱۸، عامل ارتفاع با ضریب وزنی ۰.۱۷ و کاربری اراضی با ضریب وزنی ۰.۱۳، به ترتیب، مهم ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه است. در مطالعه ای که عابدینی و همکاران [۹]، با استفاده از مدل ANPانجام داده اند. به این نتیجه دست یافتند که در بین متغیر های مورد بررسی، عوامل شیب، فاصله از رودخانه و ارتفاع رواناب، کنترل شدیدی بر وقوع سیلاب ها در حوضه آبریز رضی چای اعمال می -کنند. نکاتی که بایستی در نظر داشت، این امر می باشد که معیار های مورد بررسی در مطالعه حاضر، با عواملی که عابدینی و همکاران [۹] بررسی کرده اند، متفاوت می باشد و به علاوه، عابدینی و همکاران، از روش وزن دهی ANP استفاده کرده اند که مبتنی بر نظرت کارشناسی می باشد و در این روش، ناگزیر، نظرات انسانی دخیل می باشد. ولی در پژوهش حاضر از روش کریتیک استفاده شده است و در این روش، وزن دهی باتوجه به نقشه های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه های اطّلاعاتی مورد استفاده، تعیین می گردد؛ لذا، استفاده از روش کرتیک، در وزن دهی معیار ها در پژوهش حاضر می تواند گامی در جهت حلّ معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسهٔ زوجی در چارچوب روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و فرایند تحلیل شبکه ای و در شرایط عدم تحقّق همبستگی بین صفات، عینیّت می یابد؛ زیرا در این روش، وجود همبستگی بالای یک معیار با معیار های دیگر، می تواند در کاهش وزن آن معیار اثر گذار باشد.

همچنین، نتایج به دست آمده از پهنه-بندی سیل-خیزی در منطقه نشان می-دهد که ۱۵.۴۹ درصد از منطقه، در طبقه بسیار پرخطر و ۱۶.۴۷ درصد، در طبقه پرخطر قرار دارد (جدول ۳) . لذا، نتایج حاصل از این مطالعه، حاکی از توان بالای حوضه از لحاظ ایجاد خطر سیلاب می باشد. با توجه به نقشه پهنه بندی خطر سیلاب حوضه ی رضی-چای و متغیر های کنترل‌کننده سیلاب، انجام روش-های ساختاری حفاظت در مقابل سیلاب، مانند؛ ایجاد سیل-بندها، تراس-بندی و سکو¬بندی در ارتفاعات و دامنه های پرشیب و دیگر روش-های مدیریت حوضه و آبخیزداری، شامل؛ مدیریت کاربری ارضی، تقویت پوشش-گیاهی و احیای مراتع می-توانند در کاهش خطر سیلاب در سطح حوضه، مؤثر باشند. همچنین، با توجه به نقشه پهنه بندی حاصل از مطالعه و بررسی موردی پیکسل ها، می توان نتیجه گرفت که استفاده از روش ویکور، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه ی خطر سیلاب برخوردار است. لذا، نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات؛ اصغری سراسکانرود و همکاران [۷]، عابدینی و همکاران [۸]، عابدینی و همکاران [۹]، نفرزادگان و همکاران [۱۰]، خورشیدی و همکاران [۱۱]، لی و همکاران [۱۲]، ملکیان و آذرنیوند [۱۳]، برهما [۱۴]، برهما و میترا [۱۵]، ژو و همکاران [۱۶]، مبنی بر کارآمدی روش ویکور در ارزیابی سیلاب هم-خوانی دارد. در نهایت می-توان گفت بر اساس روش ویکور، بهترین گزینه، گزینه-ای است که به طور هم-زمان، نزدیک-ترین واحد به نقطهٔ ایده آل و دور-ترین واحد از نقطهٔ متّصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیاز-های مهمّ این روش آن است که به طور هم-زمان می توان از شاخص-ها و معیار-های عینی و ذهنی استفاده کرد. یکی از برجسته-ترین ویژگی-های روش-های مبتنی بر فاصله از نقطهٔ ایده آل در این است که به‌تناسب گستردگی معیار-های در نظر گرفته‌شده، رتبه-بندی و اطّلاعات قابل توجّهی را در مورد فاصلهٔ نسبی هر گزینه نسبت به نقطهٔ ایده آل در اختیار کاربر قرار می-دهد؛ بنابراین معضل حاصل از پیش فرض استقلال گزینه-ها که در روش-هایی چون فرایند تحلیل سلسله-مراتبی وجود دارد، مرتفع می-شود؛ زیرا هر گزینه (پیکسل) در کلّیّت خود و در نتیجهٔ ارزش-های برخاسته از مجموعه صفات، یک صورت وضعیّت کسب می-کند که با صورت وضعیّت ایده آل مقایسه می شود.

طبقات خطر	بسیار کم‌خطر	کم‌خطر	خطر متوسط	پرخطر	بسیار پرخطر
مساحت به کیلومتر	۲۴.۱۷۱	۴۹.۸۵۰	۴۸.۶۰۰	۲۹.۶۸۹	۲۷.۹۲۲
مساحت به درصد	۱۳.۴۱	۲۷.۶۶	۲۶.۹۷	۱۶.۴۷	۱۵.۴۹

جدول ۳: مساحت مربوط به هر یک از مناطق خطر

منابع و مأخذ

۱. عابدینی، موسی؛ پورفراش زاده، فهیمه؛ و قراچورلو، فهیمه،(۱۴۰۰). تحلیل و مدل سازی روابط بین دبی ماهانه و خصوصیات ژئومورفومتری حوضه ها نمونهٔ پژوهش: حوضهٔ آبریز کشف رود، نشریه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، چاپ شده در مورخ ۱۴۰۰.۱۰ شماره ۸۴ دوره ۳۲. جلد ۴. صص ۴۴-۲۹.

۲. امیدوار، کمال، (۱۳۹۰). مخاطرات طبیعی، چاپ اوّل، انتشارات دانشگاه یزد.

۳. عابدینی، موسی و فتحی جوکندان، رقیه، (۱۳۹۵). پهنه بندی خطر وقوع سیل در حوضه آبخیز گرگانرود با استفاده از Arc GIS، *هیدروژئومورفولوژی*، شماره ۷. صص ۱۷-۱.

4. Laikangbam, L., Loukrakpam,CH, Somchand Singh, T. (2019). Flood Hazard Zonation of Imphal River, Manipur, India, Using AWS Data, In*ternational Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8 (4), pp 1676-1680.

۵. احمدی، محمود، جعفری، فرزانه، (۱۳۹۵). تحلیل همدیدی سیل ویرانگر تیرماه سال ۱۳۹۱ شمال ایران، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، سال نهم، شماره ۴۳، زمستان، صص ۱۰۴-۸۳

۶. یمانی، مجتبی؛ عنایتی، مریم، (۱۳۸۴). ارتباط ویژگی های ژئو مورفولوژیک حوضه ها و قابلیت سیل خیزی (تجزیه و تحلیل داده های سیل از طریق مقایسه ژئو مورفولوژیک حوضه های فشند و بهجت-آباد)، *پژوهش های جغرافیایی*، شماره ۵۴، صص ۵۷-۴۷.

۷. اصغری سراسکانرود، صیاد، پیروزی، الناز، زینالی، بتول، (۱۳۹۴). پهنه بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از مدل ویکور، *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۳. صص ۲۴۵-۲۳۱.

۸. عابدینی، موسی، پیروزی، الناز، آقایاری، لیلا، استادی، الناز، (۱۳۹۶). پهنه بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین شهر با استفاده از مدل ویکور. جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۴، شماره ۵۶، صص ۳۴-۲۱.

۹. عابدینی، موسی، محرم زاده ساریخانبیگلو، سلیمان، اصغری، صیاد، (۱۳۹۷). پهنه بندی خطر وقوع سیلاب در حوضه رضی چای با استفاده از مدل ANP، سیزدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط زیست با محوریت آبخیزداری و صیانت از منابع طبیعی و محیط.

۱۰. نفر زادگان، علی رضا، محمدی فر، علی اکبر، وقار فرد، حسن، فروزان فرد، معصومه، (۱۳۹۸). ادغام مدل های تصمیم گیری چندمعیاره و تکنیک تجزیه‌وتحلیل منطقه ای سیلاب جهت اولویت بندی زیرحوزه ها برای کنترل سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دهبار خراسان)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۲، شماره ۸، صص ۴۵-۲۷.

۱۱. خورشیدی شهناز، رستمی نورالدین، صالح پور جم، امین، (۱۴۰۰). اولویت بندی پتانسیل سیل خیزی در حوضه های آبخیز فاقد آمار با کاربرد روش AHP-VIKOR مطالعه موردی: حوضه آبخیز حاجی بختیار، استان ایلام). پژوهش-های فرسایش محیطی، دوره ۲، شماره ۱۱، صص ۹۲-۶۶

12. G, Lee, Kyung Soo Jun, Eun-Sung Chung, (2015). Group decision-making approach for flood vulnerability identification using the fuzzy VIKOR method, *Natural Hazards and Earth System Sciences* 15(4), 863-874.

13. Malekian, A., Azarnivand, A. (2016). Application of Integrated Shannon's Entropy and VIKOR Techniques in Prioritization of Flood Risk in the Shemshak Watershed, Iran. *Water Resour Manage*, 30, 409–425.

14. Brahma, A.k. (2018). A Look on Some Applications of Fuzzy VIKOR and Fuzzy AHP Methods on Flood Risk, *International Journal of Applied Engineering* Research, 13 (18), 13689-13696.

15. Brahma, A.k, Mitra, D.K., (2019). Fuzzy AHP and Fuzzy VIKOR Approach modelling for flood control project selection. *International Journal of Applied Engineering Researc*h, 14 (17), 3579-35889.

۱۶. :Zhu, S, Li, D, Huang, G, Chhipi-Shrestha, G, Nahiduzzaman, K.M, Hewage, K, Sadiq, R, (2020). Enhancing urban flood resilience: a holistic framework incorporating historicworst flood to Yangtze River Delta, China, International Journal of Disaster Risk Reduction, 61,102355,1-52.

۱۷. Chen, L.Y., T.C. Wang. (2009). optimizing partner's choice in IS/IT outsourcing projects: The strategicdecision of fuzzy VIKOR, International Journal of. Production Economics, 20, (1), pp233-242.

۱۸. عطایی، محمد، (۱۳۸۹). تصمیم گیری چند معیاره، چاپ اول، سمنان، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۹. Opricovic, S., G. Tzeng(2006).Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research, European Journal of Operational Research, 178 (2), pp. 514-529.

۲۰. سلمان ماهینی، عبد-الرسول؛ ریاضی، برهان؛ نعیمی، بابک؛ بابایی کفکایی، ساسان؛ جوادی لاریجانی، عظیمه، (۱۳۸۷). ارزیابی توان طبیعت-گردی شهرستان بهشهر بر مبنای روش ارزیابی چندمعیاره با استفاده از سیستم اطّلاعات جغرافیایی، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره ۱۱، شماره ۱، صص. ۱۸۹-۱۷۸.آشور، حدیثه، (۱۳۹۰) .بررسی و تحلیل تناسب و جاذبه های شهرک صنعتی آمل در مکان گزینی واحد-های صنعتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲۱. Sui, D. Z. (1999). A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation.Computer, Environment, and Urban Systems, 16, pp 101-115.

۲۲. بدری، علی؛ فرجی سبک‌بار، حسنعلی؛ جاودان، مجتبی؛ شرفی، حجت‌الله، (۱۳۹۱). رتبه-بندی سطح پایداری روستایی بر اساس مدل ویکور (مطالعهٔ موردی: روستا-های شهرستان فسا، فارس)، جغرافیا و توسعه، ۱۰ (۲۰)، صص ۲۰-۱.

۲۳. اصغری مقدم، محمد-رضا، (۱۳۷۸). جغرافیای طبیعی شهر ۲ (هیدرولوژی و سیل خیزی شهر)، چاپ اول، انتشارات مسعی.

۲۴. یمانی، مجتبی؛ عنایتی، مریم، (۱۳۸۴). ارتباط ویژگی های ژئو مورفولوژیک حوضه ها و قابلیت سیل خیزی (تجزیه و تحلیل داده های سیل از طریق مقایسه ژئو مورفولوژیک حوضه های فشند و بهجت-آباد)، پژوهش های جغرافیایی، شماره ۵۴، صص ۴۷-۵۷.

۲۵. مهدی زاده، جواد، (۱۳۹۱). تحلیل مخاطرات اقلیمی در شهر تبریز با استفاده از منطق فازی و مدل ANP، پایان نامه ی کارشناسی ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

۲۶. علیزاده، امین، (۱۳۸۷): اصول هیدرولوژی کاربردی، چاپ بیست و چهارم، مشهد، انتشارات دانشگاه امام رضا (ع)

۲۷. غیور، حسنعلی، (۱۳۷۵). سیل و مناطق سیل خیز در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۳۵۴، صص ۱۲۰-۱۰۰.