

## بررسی تحلیلی فضایی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خیاوچای

عقیل مددی<sup>۱\*</sup>، الناز پیروزی<sup>۲</sup>، الهام شکرزاده‌فرد<sup>۳</sup>

۱ استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۲ دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

۳ دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۰۲؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۴/۰۹)

### چکیده

یکی از پرحادثه‌ترین مخاطرات طبیعی دنیا، مخاطرات سیلاب است. شناخت و پهنه‌بندی سیلاب‌های حوضه‌های آبخیز در مدیریت سیلاب‌ها، کنترل و مهار آن و در نتیجه در کاهش میزان خسارت‌های آن، موثر است. هدف تحقیق حاضر، پهنه‌بندی حوضه‌ی خیاوچای از لحاظ پتانسیل وقوع سیلاب می‌باشد. در این مطالعه ابتدا، ده عامل شیب، ارتفاع، بارش، شماره منحنی، ارتفاع رواناب، فاصله از رودخانه، خاک، لیتولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی، به عنوان عوامل موثر برای ایجاد سیلاب در منطقه شناسایی شدند. سپس لایه‌های اطلاعاتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شدند. وزن‌دهی لایه‌ها با استفاده از روش WLC به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. نتایج مطالعه نشان داد، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب با ضریب وزنی ۰/۱۷۳، ۰/۱۶۳، ۰/۱۳۹ و ۰/۱۳۳، بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی مطالعاتی دارند. همچنین، با توجه به نتایج به دست آمده به ترتیب ۱۱/۳۷، ۴۸/۷۶ و ۵۷/۵۴ کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد، قرار دارند. مناطق پرخطر (مناطق لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹ درصد)، به طور عمده در محدوده‌ی شهری مشکین‌شهر و سپس در مناطق پرشیب و کوهستانی منطقه قرار دارد. به طور کلی نتایج مطالعه نشان داد که حوضه خیاوچای دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد سیلاب می‌باشد. بنابراین، انجام اقدام‌های حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه‌ی مورد مطالعه ضروری است.

**کلید واژه‌ها:** لکه داغ، کرتیک، سیستم اطلاعات جغرافیایی، WLC.

## سرآغاز

سیل به وضعیتی گفته می‌شود که در آن جریان رودخانه و سطح آب به صورت غیر منتظره افزایش پیدا کرده و سبب خسارت مالی و جانی شود (Alizadeh, 2011). این پدیده نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در تمام جهان شایع‌ترین مخاطره طبیعی است (Leskens et al., 2014). برخی از علل وقوع انواع سیل را می‌توان، ریزش باران شدید یا طولانی، ذوب برف، شکستن سد و لغزش زمین، امواج مرتفع، بستن کانال، شدت بارندگی، نوع بارندگی، زمان و حجم بارندگی، شرایط قبلی رودخانه، زهکشی حوضه، کاربری‌های نامناسب و قطع درختان جنگلی در سرچشمه رودها عنوان کرد (Kolawole, 2011; Tingsanchali, 2012).

بررسی آمار و اطلاعات خسارت ناشی از وقوع سیلاب در ایران و جهان، بیان‌گر گستردگی صدمات ناشی از سیلاب به منابع طبیعی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف است (Wahhabi, 2006). هر سال، سیل خسارت‌های فراوانی به خانه‌ها، مزارع، زمین‌های کشاورزی، راه‌ها، سدها، پل‌ها و جاده‌ها وارد می‌کند (Karam et al., 2015). همچنین، هر ساله سیلاب سبب مرگ بیش از ۲۰۰۰ نفر در دنیا می‌شود و بر روی ۷۵ میلیون نفر از جمعیت مردم جهان تأثیر می‌گذارد (Mohammadi, 2011). روند افزایش سیل در ۵ دهه‌ی گذشته نشان می‌دهد که تعداد وقوع سیل در دهه‌ی ۸۰، نسبت به دهه ۴۰ به طور تقریبی ۱۰ برابر شده است (Abdi, 2006). در سال‌های اخیر به دلیل تغییرات اقلیمی، وقوع و شدت این مخاطره بیشتر شده است. به گونه‌ای که بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۷۷ در حالی که به طور میانگین هر ۱۹ سال یک طغیان رودخانه‌ای رخ می‌داد، در ۲۰ سال اخیر این پدیده هر ۲ سال یک بار اتفاق می‌افتد (Ozey, 2011). می‌توان گفت در مقایسه با سایر مخاطرات طبیعی، سیلاب‌ها با فراوانی زیاد و در فضایی گسترده رخ می‌دهند (Ward et al., 2014; Green et al., 2014). یکی از راه‌های ممانعت و کاهش خسارت‌های ناشی از سیل قرار دادن اطلاعات معتبر در اختیار مردم از طریق تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی خطر سیل است (Cook & Merwad, 2009). این نوع نقشه‌ها وجود، نوع، شدت و ضعف خطر را در منطقه مورد نظر نشان می‌دهند و به همین دلیل از اهمیت ویژه‌ای برخوردار دارند (Dehgani et al., 2006).

پژوهش‌های ارزنده‌ای، به ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلفی، به منظور بررسی و مطالعه سیلاب در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. به عنوان مثال (Lawal et al., 2014) در شهر پرلیز مالزی، در مطالعه‌ای پهنه‌بندی سیلاب و عوامل موثر بر سیلاب را انجام دادند و در نهایت با ترکیب داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، سه عامل لیتولوژی، کاربری زمین و شیب به عنوان عوامل مهم در سیل‌خیزی ذکر شد. (Asghari Saraskanrood et al., 2016). در مطالعه‌ای، با استفاده از روش ویکور به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آقی‌لاقان‌چای پرداختند و نتایج به دست آمده نشان داد که عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از شبکه آبراهه، بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی آقی‌لاقان‌چای دارند. به طور عمده مناطق بسیار پرخطر در قسمت پرتیب شمال و جنوب‌غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. (Rahmati et al., 2016). به منطقه‌بندی خطر سیل در شهرستان یاسوج در ایران پرداختند. در این مطالعه از روش خطی

وزن‌دار برای تهیه نقشه پیش‌بینی خطر سیل و از برنامه هیدرودینامیکی HEC-RAS برای شبیه‌سازی سیلاب‌های ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شده است و در نهایت نتایج حاصل از روش WLC مورد تأیید واقع شده است. (Madadi et al., 2016)، در مطالعه‌ای پهنه‌بندی خطر سیلاب را در حوضه آبخیز آقی‌لاقان‌چای با استفاده از مدل APN، انجام دادند. به این نتیجه دست یافتند که عوامل شیب، لیتولوژی و خاک بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در حوضه‌ی آقی‌لاقان‌چای دارند و به ترتیب ۱۸ و ۲۲ درصد از مساحت حوضه، در طبقه خطر بسیار زیاد و خطر زیاد قرار دارد. (Samanta et al., 2016). به تجزیه و تحلیل خطر سیل در بخش پایینی رودخانه مارکام در گینه نو براساس روش تصمیم‌گیری چند معیاره (ترکیب خطی وزن‌دار) پرداختند. در این مطالعه، اعتبارسنجی نقشه خطر سیل با استفاده از سوابق سیلاب‌های گذشته در منطقه مورد مطالعه انجام شد و خروجی نهایی مطالعه، حاکی از این موضوع است که نتایج حاصل از تصمیم‌گیری چند معیاره در تجزیه و تحلیل خطر سیلاب دقیق و قابل اطمینان بوده است. (Farish et al., 2017). خطر سیلاب به پهنه‌بندی خطر سیلاب در منطقه چارساتای پاکستان، با استفاده از GIS، پرداختند. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده کردند و منطقه را به سه قسمت با احتمال خطر پایین، متوسط و بالا تقسیم کردند. طبق نتایج به دست آمده، بیشتر مناطق مطالعاتی جزو پهنه خطر بالا بودند (Hatami Nejad et al., 2017). پهنه‌بندی خطر سیلاب را در شهرستان ایزه با استفاده از تحلیل چند معیاره انجام دادند طبق نتایج حاصل از مطالعه به ترتیب ۴۳ و ۱۴/۱۶ درصد از شهرستان در پهنه خطر خیلی زیاد و زیاد قرار دارند. (Negahban et al., 2017)، در مطالعه‌ای به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر سیل‌خیزی با استفاده از تاپسیس فازی در حوضه‌ی آبخیز شهر باغملک پرداختند. طبق نتایج از مطالعه ۱۷/۸۶ درصد از مساحت حوضه دارای احتمال خطر بسیار بالا است و مناطق پرخطر به طور عمده در نواحی غربی، جنوبی و جنوب‌غربی قرار دارد. (Pirooz et al., 2018). پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه وزن‌دهی معیارها با روش کرتیک و تجزیه و تحلیل نهایی با روش ویکور انجام شده است. طبق نتایج حاصل از این مطالعه عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند و به طور عمده مناطق پرخطر در داخل محدوده شهری قرار دارند. (Shiva Prasad Sharma et al., 2018). در مطالعه‌ای در حوضه رودخانه کپیل هندوستان با استفاده از فنون تحلیل چند معیاره و تصاویر ماهواره‌ای به پهنه‌بندی خطر سیلاب پرداختند، طبق نتایج حاصل از مطالعه ۲۴/۸۳۷ هکتار از محدوده (در ۹۵ روستا)، دارای احتمال خطر بسیار زیاد است. (Bathrellos et al., 2018)، وقوع سیلاب در حوضه رودخانه پینوس در یونان را از نظر تحلیل زمانی و فضایی مورد مطالعه قرار دادند و نتایج نشان داد که تعداد کل ۱۴۶ رویداد سیلابی در منطقه مورد مطالعه ثبت شده است. از لحاظ زمانی ماه اکتبر، سالانه بیشترین وقایع سیل را دارد و وقوع سیل در دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۰ افزایش یافته است. تجزیه و تحلیل توزیع فضایی سیل نیز نشان داده که بسیاری از وقایع در بخش جنوبی منطقه مطالعه اتفاق افتاده است. (Madadi et al., 2019). به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه خیاوچای مشکین‌شهر، با استفاده از تلفیق روش‌های SCS-CN و WLC

از عدم وجود خطاهای اتمسفری، پیش پردازش‌های تصحیحات خطاهای اتمسفری و رادیومتریکی مورد بررسی قرار گرفت. دو نوع تصحیح رادیومتریکی وجود دارد، تصحیح رادیومتریکی مطلق و تصحیح رادیومتریکی نسبی. در این مطالعه از روش Flaash، که قدرتمندترین روش برای تصحیحات اتمسفری است و از قدرت تفکیک بالایی برخوردار است، به عنوان یکی از روش‌های تصحیح اتمسفری مطلق استفاده شد. در مرحله بعد، از طریق روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال نقشه کاربری حوضه، با ضریب دقت بالا (کاپای ۸۵/۰۵)، تهیه شد. نقشه خاک محدوده با استفاده از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ایجاد شد. نقشه پوشش گیاهی حوضه نیز با استفاده از نقشه پوشش گیاهی کل استان، تهیه شد.

یکی از روش‌های تخمین رواناب، روش شماره منحنی (CN) رواناب سازمان حفاظت آمریکا (SCS) است. در روش (SCS)، تعیین شماره منحنی که تابعی از ویژگی‌های خاک، کاربری اراضی و ویژگی‌های هیدرولوژیکی مانند رطوبت پیشین خاک می باشد، ضروری است. روش SCS-CN، به سبب سادگی آن خیلی سریع به یکی از رایج‌ترین روش‌ها در میان مهندسين و کارشناسان تبدیل شد و اساساً برای حوضه‌های کوچک شهری و کشاورزی، حوضه‌های طبیعی متوسط و همچنین برای حوضه‌هایی که در آن داده‌های اندازه‌گیری دبی و رواناب وجود ندارد به کار می‌رود (Mishra & Tyagi, 2006). با توجه به این که حوضه مورد مطالعه از دیدگاه رواناب و باران تولید شده جز حوضه‌های متوسط محسوب می‌شود و همچنین با توجه به قابلیت‌های روش SCS، در این پژوهش از این روش برای تهیه نقشه رواناب استفاده شد. در این مطالعه، تهیه نقشه رواناب و CN، با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و الحاقیه‌های Arc-Hydro و Arc-CN-Runoff انجام شد، بدین‌صورت که ابتدا نقشه کاربری اراضی منطقه با جدول شاخص مقایسه و با اطلاعات گروه هیدرولوژیکی خاک تلفیق شد، سپس شماره منحنی CN تهیه شد و در مرحله بعد، با لحاظ میانگین بارش و CN، ارتفاع رواناب محدوده با روش SCS محاسبه شد. در نهایت، برای پهنه‌بندی پتانسیل خطر سیلاب در حوضه مورد مطالعه، وزن‌دهی با استفاده از روش کربتیک و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش لکه‌های داغ، انجام شده است.

### – تحلیل لکه‌های داغ

تحلیل لکه‌های داغ، آماره گتیس- ارد اردجی را برای کلیه عوارض موجود محاسبه می‌نماید. امتیاز  $Z$  محاسبه شده نشان می‌دهد که کجای داده‌ها مقادیر کم و زیاد خوشه‌بندی شده‌اند. این ابزار در حقیقت به هر عارضه در چارچوب عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند، نگاه می‌کند. اگر عارضه‌ای مقادیر بالا داشته باشد جالب و مهم است، ولی به تنهایی ممکن است یک لکه داغ معنادار از نظر آماری نباشد. برای این که یک عارضه لکه داغ تلقی شود و از نظر آماری معنادار نیز باشد باید هم خودش و هم عوارضی که در همسایگی‌اش قرار دارند، دارای مقادیر بالا باشند. جمع محلی یک عارضه و همسایگانش به طور نسبی با جمع کل عارضه‌ها مقایسه می‌شود. زمانی که جمع محلی به طور زیاد و غیر منتظره‌ای از جمع محلی مورد انتظار بیشتر باشد و اختلاف به اندازه‌ای باشد که بتوان آن را در نتیجه تصادف دانست، در نتیجه امتیاز  $Z$  به دست خواهد آمد (zadvali et al., 2017). آماره گتیس- ارد جی، به

پرداختند. با توجه به نتایج مطالعه، عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب به عنوان مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد سیلاب حوضه هستند و مناطق بسیار پرخطر، در بخش‌های پرشیب و کوهستانی و همچنین در داخل محدوده شهری مشکین‌شهر قرار دارند. (Dano et al., 2019)، با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه‌ای، به عنوان یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، به پهنه‌بندی خطر سیلاب در پریس مالزی پرداخته‌اند. با توجه به نتایج مطالعه، به ترتیب ۳۸/۴ و ۱۹ درصد از مساحت منطقه، در طبقات پرخطر و بسیار پرخطر قرار دارند. همچنین در این مطالعه کارایی و دقت استفاده از تحلیل چند معیاره، مورد تایید واقع شده است. (Wang et al., 2019)، با استفاده از روش دیماتل و فرآیند تحلیل شبکه‌ای و WLC و با در نظر گرفتن یازده عامل، پهنه‌بندی سیلاب را در Shangyou چین مورد مطالعه قرار دادند. نتایج مطالعه نشان داد، روش WLC برای مطالعه خطر سیلاب در منطقه مورد مطالعه موثر تر از سایر روش‌ها است.

حوضه آبخیز خیاوچای به لحاظ شرایط خاص منطقه، مانند توپوگرافی، شیب و شرایط اقلیمی (بارش‌های ناگهانی و رگباری بهاری، ذوب برف‌ها، طغیان رودخانه‌ها در بهار)، از پتانسیل بالایی برای وقوع سیلاب برخوردار است. از آن نظر که وقوع سیلاب، موجب خسارت‌های مالی و تلفات جانی در منطقه می‌شود، به عنوان مثال سیلاب ۱۳۸۰ مشکین‌شهر علاوه بر خسارت‌های اقتصادی، موجب کشته شدن ۳۰ نفر و نیز صدها مجروح و مفقود شده است (Abedini, 2016). بنابراین، سطح‌بندی محدوده از لحاظ حساسیت به وقوع خطر سیلاب بسیار حایز اهمیت است. با توجه به پیشینه تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره، از استقبال بالایی برخوردار بوده است، در این بررسی نیز از روش تحلیل لکه‌های داغ، به عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاری و آمار فضایی، برای پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب در محدوده مورد مطالعه استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به هدف تحقیق بعد از مطالعه و بررسی مبانی نظری موضوع تحقیق (از طریق مطالعه اسناد و مدارک کتابخانه‌ای) و شناسایی عوامل موثر بر وقوع سیلاب، نسبت به تهیه نقشه‌های هر یک از معیارهای مطرح در مطالعه حاضر در Arc GIS 10.5 اقدام شد. در این راستا، لایه‌های اطلاعاتی شبکه آبراهه، منحنی‌های میزان و طبقات ارتفاعی با استفاده از مدل رقومی نقشه توپوگرافی مشکین‌شهر به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی زمین‌شناسی و لیتولوژی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی مشکین‌شهر به مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور به دست آمد. نقشه‌ی بارش منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در داخل محدوده مطالعاتی و همچنین ایستگاه‌های مجاور (آمارهای مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۶) و با به دست آوردن معادله گرایان بارش ( $P=203/42+0/0751*H$ ) و همچنین استفاده از مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد. لایه اطلاعاتی کاربری اراضی محدوده با استفاده از نقشه کاربری استان به دست آمد و همچنین با به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای و با استفاده از نرم‌افزار انوی، نقشه کاربری حوضه به روز شد. بدین‌منظور از تصاویر لندست هشت، مربوط به سال ۲۰۱۶ استفاده گردید. به منظور اطمینان

موجود بین معیار  $j$  با معیارهای دیگر از روی رابطه (۶) محاسبه می‌شود.

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در آن  $C_{jk}$  معرف مجموع تضاد معیار  $j$  با معیارهای  $k$  است که از  $k = 1$  شروع شده و تا  $k = m$  ادامه دارد و  $r_{jk}$  همبستگی بین دو معیار  $k$  و  $j$  را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل  $j$  را می‌توان با استفاده از رابطه (۷) محاسبه نمود.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن  $C_j$  معرف میزان اطلاعات معیار  $j$  و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار  $j$  را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یادشده، معیارهایی که دارای  $C_j$  بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند  $j$  از رابطه (۸) تعیین می‌شود.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{رابطه (۸)}$$

که در آن  $W_j$  معرف وزن معیار  $j$  و  $C_k$  نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای  $k$  است که از  $k = 1$  شروع شده و تا  $k = m$  ادامه دارد.

۳. لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی را ایجاد می‌کنیم (ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزن‌های متناظر). ۴. با اعمال عملیات همپوشی جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی، نمره یا امتیاز کل را در رابطه با هر گزینه به دست می‌آوریم؛ گزینه‌ای که دارای بالاترین امتیاز (رتبه) باشد، به عنوان بهترین گزینه شناخته می‌شود. به طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه یا  $A_i$ ، از رابطه (۹) استفاده می‌شود:

$$A_i: \sum_j W_j X_{ij} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن  $X_{ij}$  معرف نمره گزینه  $i$  ام در ارتباط با صفت  $j$  ام و  $W_j$ ، مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که  $\sum W_j = 1$ . وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداکثر  $A_j$  اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌شود. در رابطه (۹) به مانند معادل رگرسیون تناسب به صورت خطی تعیین می‌شود (Malchefeski, 2006).

### معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه خیاوچای با مساحت حدود ۳۱۸ کیلومتر مربع در ۴۷ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۴۹ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و در شهرستان مشکین‌شهر قرار دارد (شکل ۱). دمای هوا در طول سال بین ۳۰- و ۳۰+ درجه سانتی‌گراد متغیر است و میانگین بارندگی سالانه ۳۷۶/۶ میلی‌متر می‌باشد (Valizadeh-Kamran, 2012). حداکثر ارتفاع محدوده ۴۷۸۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۹۲۰ متر از سطح دریا است.

### نتایج و یافته‌ها

آماره  $G$  عمومی، شاخص خود همبستگی فضایی است. برای دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی سیلاب در حوضه خیاوچای، ضریب  $G$  برای کلیه معیارها از طریق نرم‌افزار GIS10.5 از روش صفر و یک و روش مرز مشترک محاسبه شده است. ضریب  $G$  عمومی بیشتر، نقطه داغ را نشان می‌دهد و ضریب  $G_i$  کمتر، نقاط

صورت زیر (رابطه ۴)، محاسبه می‌شود (Mitchell, 2008):

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij} x_j - \bar{x} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{s \sqrt{\frac{n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - (\sum_{j=1}^n w_{ij})^2}{n-1}}} \quad \text{(۴)}$$

در این فرمول  $X_j$  مقدار خصیصه برای عارضه،  $W_{ij}$  وزن فضایی بین عارضه  $j$ ،  $i$  و  $n$  برابر با تعداد کل عارضه‌ها است. برای محاسبه  $S$  از رابطه (۵)، استفاده می‌شود.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{x})^2} \quad \text{(۵)}$$

با توجه به این که  $G_i$  خود نوعی نمره  $Z$  محسوب می‌شود، از محاسبه  $Z$  دوباره  $Z$  پرهیز شده است.

### وزن‌دهی کرتیک

در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد در این روش، پس از محاسبه انحراف معیار هر یک از عوامل مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد  $m \times m$  ایجاد می‌شود که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل‌شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد موجود بین معیار  $j$  با معیارهای دیگر از روی رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Jahani, 1997).

$$C_{jk} = \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{(۱)}$$

که در آن  $C_{jk}$  معرف مجموع تضاد معیار  $j$  با معیارهای  $k$  است که از  $k = 1$  شروع شده و تا  $k = m$  ادامه دارد و  $r_{jk}$  همبستگی بین دو معیار  $k$  و  $j$  را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل  $j$  را می‌توان با استفاده از رابطه (۲) محاسبه نمود.

$$C_j = \delta_j \sum_{k=1}^m (1 - r_{jk}) \quad \text{(۲)}$$

که در آن  $C_j$  معرف میزان اطلاعات معیار  $j$  و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار  $j$  را نشان می‌دهد. با توجه به روابط یاد شده، معیارهایی که دارای  $C_j$  بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عامل مانند  $j$  از رابطه (۳) تعیین می‌شود.

$$W_j = \frac{C_j}{\sum_{k=1}^m C_k} \quad \text{(۳)}$$

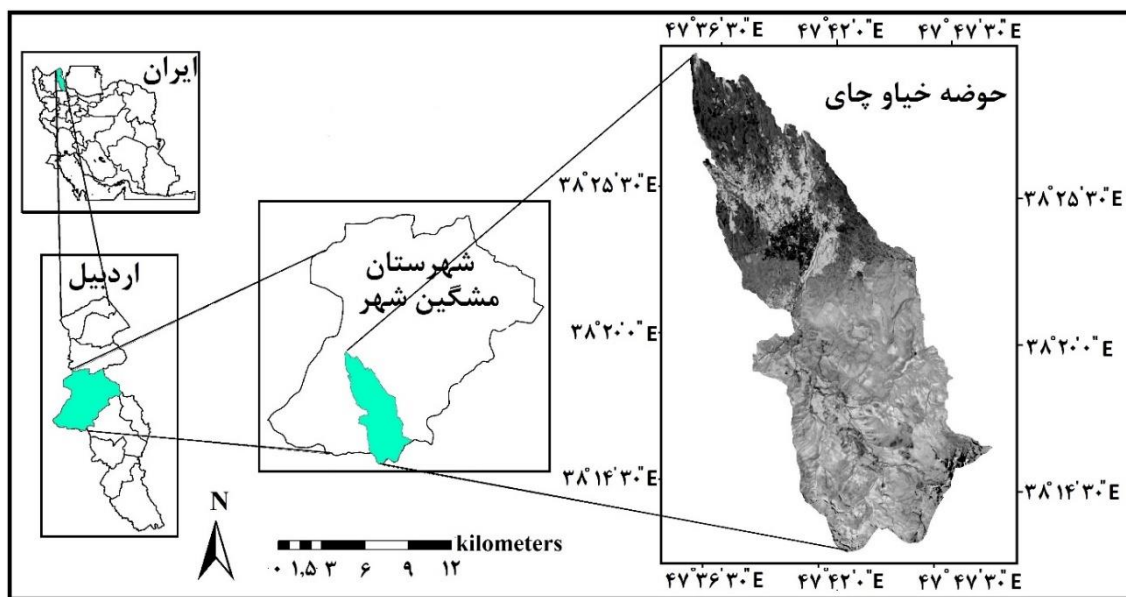
که در آن  $W_j$  معرف وزن معیار  $j$  و  $C_k$  نشانگر میزان اطلاعات مجموع معیارهای  $k$  است که از  $k = 1$  شروع شده و تا  $k = m$  ادامه دارد.

### روش WLC (ترکیب خطی وزنی)

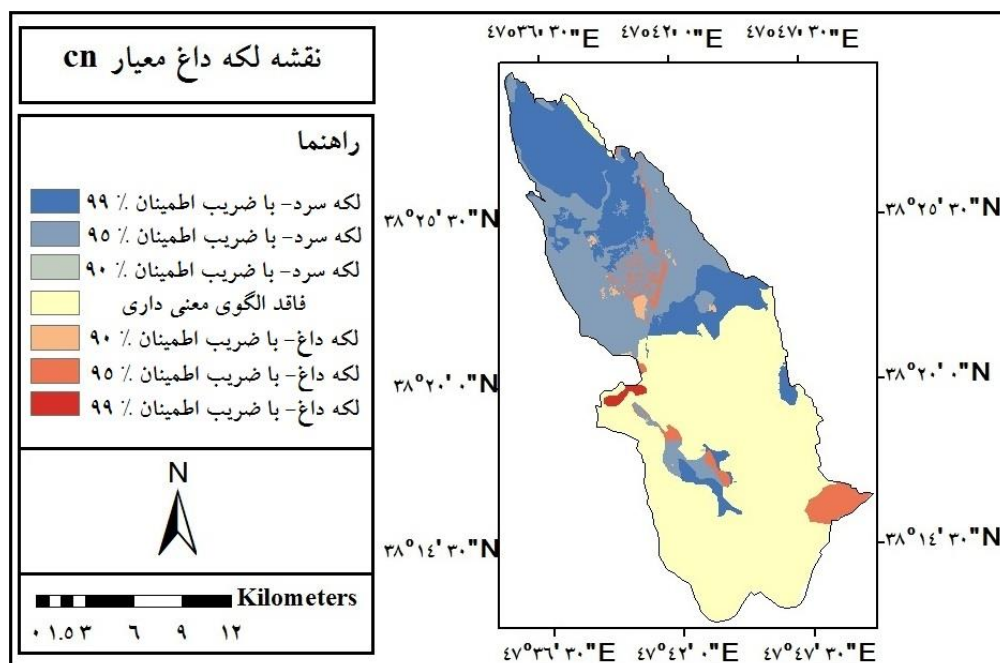
۱. هر لایه نقشه معیار استاندارد می‌شود؛ در این پژوهش، از روش فازی برای استانداردسازی استفاده شده است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (Sui, 1999). ۲. وزن‌های معیار را تعیین می‌شود، در این مطالعه از روش وزن‌دهی کرتیک استفاده شده است. در این روش، داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. در این روش، پس از محاسبه انحراف معیارهای مورد بررسی، ماتریس مقارنی به ابعاد  $m \times m$  ایجاد می‌شود که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل‌شده است. با تعیین پارامترهای بالا، تضاد

تشکیل می‌دهد. برای آن دسته از نمرات  $Z$  که منفی و از نظر آماری معنادار هستند، هر چقدر نمره  $Z$  کوچک‌تر باشد، به معنی خوشه‌بندی شدیدتر مقادیر پایین بوده و این‌ها در حقیقت لکه حرارتی سرد را نشان می‌دهد. شکل‌های شماره (۲ تا ۵)، تحلیل لکه‌های داغ را بر روی تعدادی از معیارها نشان می‌دهد.

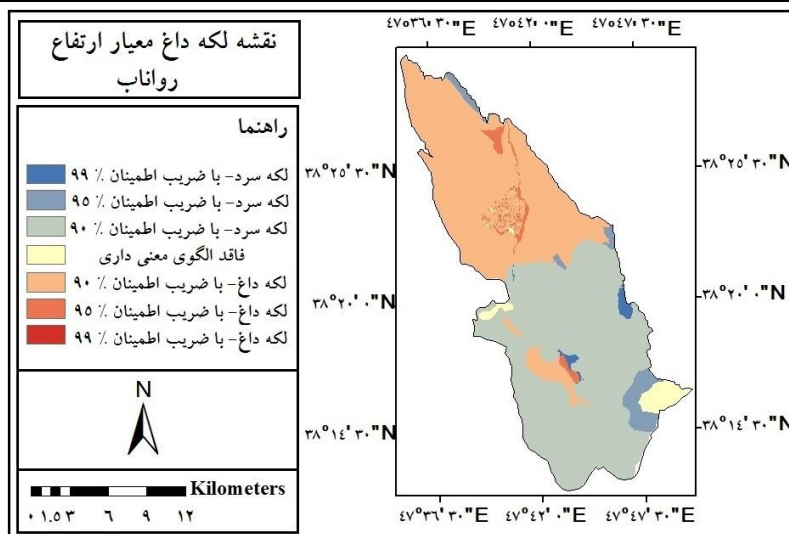
سرد تشخیص داده می‌شود. آماره  $G_i$  که برای هر عارضه موجود در داده‌ها محاسبه می‌شود، نوعی نمره  $Z$  است. با توجه به امتیاز  $Z$  محاسبه شده می‌توان نشان داد که در کدام بلوک‌ها داده‌ها با مقادیر زیاد یا کم خوشه‌بندی شده‌اند. برای آن دسته از نمرات  $Z$  که مثبت و از نظر آماری معنی دار هستند، هر چه امتیاز  $Z$  بزرگتر باشد مقادیر بالا به میزان زیادی خوشه‌بندی شده و لکه داغ را



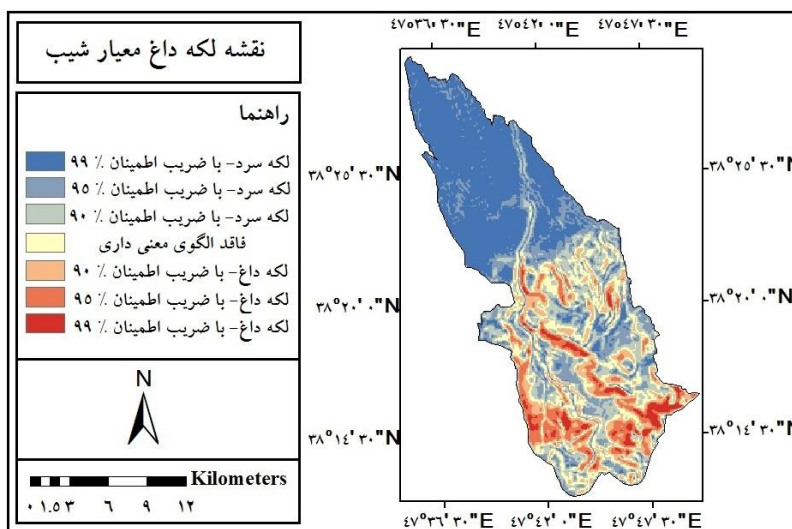
شکل (۱): نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه



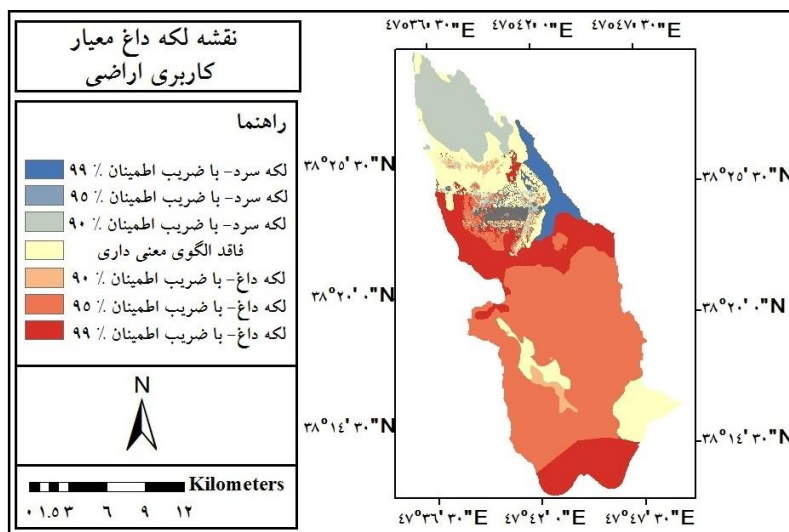
شکل (۲): نقشه لکه داغ معیار CN حوضه خیاوچای



شکل (۳): نقشه لکه داغ معیار ارتفاع رواناب حوضه خیاوچای



شکل (۴): نقشه لکه داغ معیار شیب حوضه خیاوچای



شکل (۵): نقشه لکه داغ معیار کاربری اراضی حوضه خیاوچای

در نقشه‌های بالا لکه‌های قرمز رنگی که مشاهده می‌شود، نشانگر مقادیر بزرگ‌تر  $G_i$  هستند که به عنوان لکه‌های داغ شناخته می‌شوند و این محدوده‌ها از لحاظ پتانسیل سیلاب پرخطر هستند. هر میزان که  $G_i$  کاسته شود و  $Z$  نیز مقدار منفی و کوچک‌تر به خود بگیرد، به طرف لکه‌های سرد نزدیک می‌شود که در نقشه‌ها با رنگ آبی نشان داده شده است و این محدوده‌ها در نقاط کم خطر قرار دارند.

پس از انجام تحلیل لکه‌های داغ برای هر شاخص و استخراج

نقشه‌های هر یک از معیارها و با توجه به میزان هم‌بستگی میان معیارها (جدول ۱) و اعمال کردن وزن‌های مربوطه (جدول ۲)، نقشه‌های حاصله وارد مدل WLC شده و با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها، خروجی نهایی به دست آمد. سپس بر روی لایه نهایی به دست آمده نیز، تحلیل لکه داغ انجام شد و نقشه نهایی پهنه‌بندی سیلاب در ۷ طبقه از (بسیار داغ) بسیار پرخطر تا (بسیار سرد) بسیار کم خطر، به دست آمد (شکل ۶).

جدول (۱): هم‌بستگی میان معیارهای مطرح در پهنه‌بندی سیلاب حوضه خیاوچای

| معیار         | شیب    | ارتفاع | بارش   | پوشش گیاهی | CN     | رواناب | فاصله رودخانه | خاک    | زمین شناسی | کاربری |
|---------------|--------|--------|--------|------------|--------|--------|---------------|--------|------------|--------|
| شیب           | ۱      | -۰/۵۳۶ | -۰/۵۳۶ | ۰/۷۲۸      | ۰/۲۵۹  | ۰/۰۵۱  | -۰/۲۷۶        | ۰/۳۵۲  | ۰/۴۳۰      | ۰/۰۲۵  |
| ارتفاع        | -۰/۵۳۴ | ۱      | ۰/۹۹۳  | ۰/۵۷۲      | -۰/۳۲۹ | ۰/۰۸۸  | ۰/۴۱۱         | -۰/۵۵۲ | ۰/۵۵۹      | -۰/۱۳۴ |
| بارش          | -۰/۵۳۶ | ۰/۹۹۳  | ۱      | ۰/۹۷۸      | ۰/۳۴۲  | -۰/۱۳۶ | ۰/۴۵۵         | ۰/۵۵۱  | -۰/۵۳۴     | -۰/۱۶۳ |
| پوشش گیاهی    | ۰/۷۲۸  | ۰/۵۷۲  | ۰/۹۰۴  | ۱          | ۰/۹۱۰  | ۰/۲۵۴  | ۰/۷۹۴         | ۰/۸۸۰  | ۰/۷۷۲      | ۰/۷۴۶  |
| CN            | ۰/۲۵۹  | -۰/۳۲۹ | -۰/۳۴۲ | ۰/۹۱۰      | ۱      | ۰/۳۱۰  | -۰/۲۰۶        | ۰/۷۷۵  | ۰/۲۲۶      | ۰/۳۰۹  |
| رواناب        | ۰/۰۵۱  | ۰/۰۸۸  | -۰/۱۳۶ | ۰/۲۵۴      | ۰/۳۱۰  | ۱      | -۰/۱۹۶        | ۰/۱۹۳  | -۰/۰۵۳     | ۰/۵۳۹  |
| فاصله رودخانه | -۰/۲۷۶ | ۰/۴۱۱  | ۰/۴۵۵  | ۰/۷۹۴      | -۰/۲۰۶ | -۰/۱۹۶ | ۱             | ۰/۱۸۵  | -۰/۰۵۱     | ۰/۱۱۰  |
| خاک           | ۰/۳۵۲  | -۰/۵۵۲ | -۰/۵۵۱ | ۰/۸۸۰      | ۰/۷۷۵  | ۰/۱۹۳  | -۰/۲۷۵        | ۱      | ۰/۳۲۴      | ۰/۱۹۸  |
| زمین شناسی    | ۰/۴۳۰  | -۰/۵۵۹ | -۰/۵۳۴ | ۰/۷۷۲      | ۰/۲۲۶  | -۰/۰۵۳ | -۰/۰۵۱        | ۰/۳۲۴  | ۱          | ۰/۰۸۵  |
| کاربری        | ۰/۰۲۵  | -۰/۱۳۴ | -۰/۱۶۳ | ۰/۷۴۶      | ۰/۳۰۹  | ۰/۵۳۹  | ۰/۱۱۰         | ۰/۱۹۸  | ۰/۰۸۵      | ۱      |

جدول (۲): مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی سیلاب

| معیار         | شیب   | ارتفاع | بارش  | پوشش گیاهی | CN    | رواناب | فاصله رودخانه | خاک   | لیتولوژی | کاربری |
|---------------|-------|--------|-------|------------|-------|--------|---------------|-------|----------|--------|
| مجموع تضاد    | ۸/۴۹۷ | ۹/۰۴۵  | ۸/۹۱۱ | ۲/۳۶۰      | ۷/۰۸۶ | ۷/۹۴۸  | ۸/۲۳۴         | ۷/۶۵۴ | ۸/۳۵۹    | ۷/۲۸۳  |
| انحراف معیار  | ۰/۲۹۱ | ۰/۳۴۱  | ۰/۲۶۴ | ۰/۳۸۹      | ۰/۱۴۸ | ۰/۱۱۸  | ۰/۱۱۷         | ۰/۲۱۵ | ۰/۳۴۶    | ۰/۱۹۰  |
| میزان اطلاعات | ۲/۴۷۹ | ۳/۰۸۶  | ۲/۳۶۱ | ۰/۹۱۹      | ۱/۰۵۵ | ۰/۹۳۷  | ۰/۹۷۰         | ۱/۶۴۷ | ۲/۹۰۰    | ۱/۳۹۰  |
| وزن نهایی     | ۰/۱۳۹ | ۰/۱۷۳  | ۰/۱۳۳ | ۰/۰۵۱      | ۰/۰۵۹ | ۰/۰۵۲  | ۰/۰۵۴         | ۰/۰۹۲ | ۰/۱۶۳    | ۰/۰۷۸  |

نتایج تحلیل از طریق ضریب  $G$  عمومی، شکل‌گیری نقاط داغ (به ترتیب  $۱۱/۳۷$ ،  $۴۸/۷۶$  و  $۵۷/۵۴$  کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه داغ، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد) و نقاط سرد (به ترتیب  $۱۷/۵۶$ ،  $۳۸/۰۷$  و  $۷۲/۶۱$  کیلومترمربع از مساحت محدوده، در طبقات لکه سرد، با ضریب اطمینان ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد) و  $۷۲/۰۹$  درصد از مساحت حوضه، بدون الگوی معنی‌داری، در منطقه را نشان می‌دهد. بررسی نقشه پهنه‌بندی پتانسیل سیلاب محدوده مورد مطالعه، نشان‌دهنده این امر است که مناطق پرخطر

(مناطق لکه داغ با ضریب اطمینان ۹۹ درصد)، در دو قسمت از منطقه پراکنده شده‌اند. در الویت اول مناطق با پتانسیل خطر بالا، در داخل محدوده شهری مشکین‌شهر قرار دارند. در شهر مشکین‌شهر، در سمت شرق، دره عمیق خیاوچای قرار دارد که رودخانه خیاوچای در آن جریان دارد. دو دره شعاعی دیگر در مسیر طبیعی، جریان آب‌های سطحی را تشکیل می‌دهد که در امتداد آن‌ها محلات مسکونی توسعه یافته‌اند که در معرض سیل و جریان شدید آب‌های سطحی می‌باشند. با توجه به این که بیشتر سطح

است، میزان نفوذپذیری بسیار پایین است و ارتفاع رواناب در این مناطق بالا می‌باشد. ضمن این که مقدار CN حوضه بین صفر تا ۹۸ متغیر است، این مناطق دارای لکه داغ ۹۹ درصد، دارای شماره منحنی بالا (۹۸)، با کم‌ترین نفوذپذیری و بالاترین رواناب است. از نظر گروه‌های هیدرولوژیک خاک که نشان‌دهنده وضعیت بافت و نفوذپذیری خاک حوضه است، بیشتر مساحت مناطق پرخطر از نوع خاک‌هایی است که دارای بافت ریز یا سنگین است و عملاً غیرقابل نفوذ بوده است و قسمت‌های زیادی از آب به صورت رواناب در سطح زمین جاری می‌شود. مساحت مربوط به هر یک از طبقات خطر در جدول (۳) ذکر شده است.

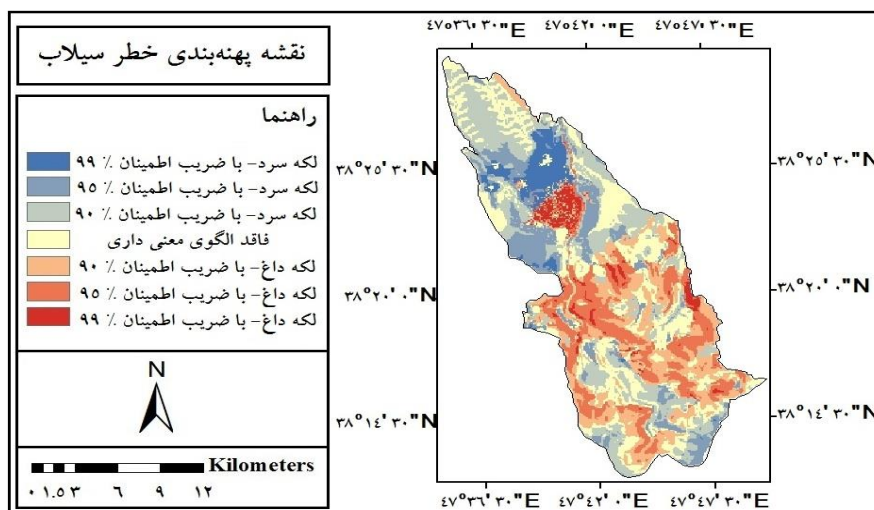
جدول (۳): درصد مساحت تحت پوشش الگوی حاصل از شاخص GI یا Hot Spot

| طبقه خطر              | لکه سرد- ۹۹ % | لکه سرد- ۹۵ % | لکه سرد- ۹۰ % | فاقد الگوی معناداری | لکه داغ- ۹۰ % | لکه داغ- ۹۵ % | لکه داغ- ۹۹ % |
|-----------------------|---------------|---------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| مساحت به کیلومتر مربع | ۱۷/۵۶         | ۳۸/۰۷         | ۷۲/۶۱         | ۷۲/۰۹               | ۵۷/۵۴         | ۴۸/۷۶         | ۱۱/۳۷         |
| مساحت به درصد         | ۵/۵۲          | ۱۱/۹۷         | ۲۲/۸۳         | ۲۲/۶۷               | ۱۸/۰۹         | ۱۵/۳۴         | ۳/۵۸          |

### بحث و نتیجه‌گیری

(۰/۱۷۳)، لیتولوژی با ضریب وزنی (۰/۱۶۳)، شیب با ضریب وزنی (۰/۱۳۹) و بارش با وزن (۰/۱۳۳)، به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد سیلاب در منطقه هستند و استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر، نتایج قابل قبولی را ارائه کرده است و این روش می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه‌ی زوجی در چارچوب روش

پدیده سیل یکی از رویدادهای هیدرواقليمی و از جدی‌ترین بلایای طبیعی است که جوامع بشری را تهدید می‌کند. در این تحقیق، پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از تحلیل آمار فضایی (لکه‌های داغ)، انجام شده است. بنابر نتایج حاصل از وزن‌دهی، از بین عوامل موثر در ایجاد سیلاب محدوده مطالعاتی، عوامل ارتفاع با ضریب وزنی



شکل (۶): نقشه پهنه‌بندی خطر سیلاب حوضه‌ی خیاو چای

با توجه به پیشینه پژوهشی، قابل ذکر می‌باشد؛ (Piroozi et al., 2018)، که پهنه‌بندی خطر سیلاب در شهرستان مشکین‌شهر را مورد بررسی قرار داده‌اند، نیز عوامل ارتفاع، لیتولوژی، بارش و شیب

فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد. زیرا، در این روش، وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، در کاهش وزن آن معیار اثرگذار است.



طور عمده در داخل محدوده شهری (به‌ویژه در مناطق مرکزی شهر به دلیل تراکم ساخت و سازها و نفوذپذیری کمتر) و در اولویت بعدی در مناطق پرشیب و کوهستانی منطقه (پتانسیل تولید رواناب، در ارتفاعات حوضه که دارای شیب زیاد و تشکیلات زمین‌شناسی از نوع سخت و سنگ‌های آذرین است، زیاد می‌باشد) قرار دارند. نتیجه مطالعه حاضر با نتایج مطالعه (Piroozi et al., 2018; Madadi et al., 2019) که به بررسی خطر سیلاب در محدوده مطالعاتی خیاوچای مشکین‌شهر پرداخته‌اند، مطابقت بسیار بالایی دارد و در این مطالعات نیز مناطق شهری و مناطق کوهستانی محدوده، به عنوان نواحی پرخطر از لحاظ خطر سیلاب معرفی شده‌اند. نتایج مطالعه حاکی از توان بالای منطقه مورد مطالعه از لحاظ ایجاد خطر سیلاب است، بنابراین، اراضی با احتمال خطر بسیار زیاد و زیاد، اراضی هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری (مانند: جلوگیری از فرسایش و تخریب خاک، کاهش بار رسوبی آب، کاهش سرعت و شدت جریان رواناب، افزایش زمان تمرکز سیلاب، ایجاد فرصت برای نفوذ آب در لایه‌های زیرین حوضه و تغذیه آبخوان‌ها، کشت گیاهان مناسب با شرایط جغرافیایی دامنه‌ها و احیا مراتع و ایجاد عرصه‌های فضای سبز و احداث حوضچه‌های رسوب‌گیری، بانک‌بندی، ترانس‌بندی دامنه‌ها و خشکه‌چینی در مناطق پرشیب) در آن انجام شود.

را به ترتیب به عنوان معیارهایی که بیشترین تاثیر را بر ایجاد سیل در منطقه مطالعاتی دارند، معرفی کرده‌اند. همچنین، (Madadi et al., 2019)، که به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه خیاوچای مشکین‌شهر پرداختند. عوامل ارتفاع، لیتولوژی، شیب و بارش به ترتیب به عنوان مهم‌ترین عوامل دخیل در ایجاد سیلاب حوضه معرفی کرده‌اند و در این مطالعات نیز کارایی روش کرتیک در تعیین وزن معیارها مورد تایید واقع شده است و نتایج مطالعه حاضر با نتایج این مطالعات هم‌خوانی بالایی دارد. به علاوه قابل ذکر می‌باشد که نتیجه مطالعه حاضر با مطالعات (Rahmati et al., 2016)، که به منطقه‌بندی خطر سیل در شهرستان یاسوج در ایران پرداختند، (Samanta et al., 2016)، که تجزیه و تحلیل خطر سیل در بخش پایینی رودخانه مارکام در گینه نو را مورد بررسی قرار دادند و (Wang et al., 2019)، که پهنه‌بندی خطر سیلاب را در Shangyou چین، مورد مطالعه قرار دادند و (Madadi et al., 2019)، که به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه خیاوچای مشکین‌شهر را مطالعه کرده‌اند، مبنی بر کارآمد بودن روش WLC برای مطالعه و پهنه‌بندی خطر سیلاب نیز، مشابه می‌باشد. نتایج حاصل از مطالعه نشان داد که به ترتیب ۳/۵۸، ۱۵/۳۴ و ۱۸/۰۹ درصد از محدوده مطالعاتی در طبقات با تحلیل لکه داغ ۹۵، ۹۰ و ۹۹ درصد، قرار دارد. با توجه به نقشه نهایی، مناطق پر خطر (دارای مقدار لکه داغ بالای ۹۹ درصد)، در اولویت اول، به

## فهرست منابع

- Abdi, P. 2006. Investigation of flood potential of Zanjan Rood watershed by SCS method and GIS, National Committee for Irrigation and Drainage, Technical Workshop on Flood Coexistence, August 19, 2006: 197-212. (In Persian)
- Abedini, M. 2016. Urban Hydrogeomorphology, First Edition, Negin Sabalan Publications, 224 p. (In Persian)
- Alizadeh, A. 2011. Principles of Applied Hydrology, 33rd Edition, Ferdowsi University of Mashhad. 927 p. (In Persian)
- Asghari Saraskanrood, S.; Piroozi, E. & Zeinali, B. 2018. Flood hazard zonation in the Aghlaghan chay watershed using by VIKOR model, Quantitative Geomorphological Research, Vol 4, N 3: 231-245. (In Persian)
- Bathrellos, G.; Skilodimou, H.; Soukis, K. & Koskeridou, E. 2018. Temporal and Spatial Analysis of Flood Occurrences in the Drainage Basin of Pinios River (Thessaly, Central Greece ). Land, 106 (7): 1-18.
- Cook, A. & Merwad, V. 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping, Journal of Hydrology. 377:131-142.
- Dano, U.L.; Balogun, A. L.; Matori, A.N.; Wan Yusouf, Kh.; Abubakar, I.; Said Mohamed, M. A.; Adedoyin Aina, Y & Pradhan, B. 2019. Flood Susceptibility Mapping Using GIS-Based Analytic Network Process: A Case Study of Perlis, Malaysia, Water. 11 (1): 1-28.
- Dehghani, M.; Abbas Nejad, A. & Negaresh, D. 2016. Assessment of Flood Hazard and its Zoning in Baft Plain (South East Part of Iran). Geography and Territorial Spatial Arrangement, Vol 6, N 20, 141-152. (In Persian)
- Farish, S.; Munawar.; S, Siddiqua.; A, Alam.; N & Alam, M. 2017. Flood Risk Zonation Using GIS Techniques: District Charsadda, 2010 Floods Pakistan, Environ Risk Assess Remediat, 1(2): 29-35.
- Green, C.; Diepernk, G.; EK, K.; Hegger, D.; Pettersson, M.; Priest, S. & Tapsell, S. 2014. Flood risk management in Europe: the flood problem and interventions, Star flood.

- Hatami Nejad, H.; Atashafrooz, N. & Arvin, M. 2017. Flood hazard zonation using multi-criteria analysis and GIS (case study: Izeh Township). Disaster Prevention and Management Knowledge, Vol 7, N 2 :44-57. (In Persian)
- Jahani, A. 1997. Capabilities of satellite information and GIS in land assessment studies; Case study of Taleghan watershed, Tarbiat Modares University thesis, Department of Geography and Department of Remote Sensing and Geographic Information System. (In Persian)
- Karam, A.; Safari, A. & Hajehforosh Nia, S. 2015. Analysis of flood and fluvial processes in the occurrence of environmental hazards (Case Study: Arange Basin, Karaj River). Jsaeh, Vol 2, N 2:53-68. (In Persian)
- Kolawole, O.M.; Olayami, A.B. & Ajayi, K.T. 2011. Managing Flood in Nigerian Cities: Risk Analysis and Adaptation Options-Ilorin City as a Case Study. Scholars Research Library, 3(1): 17-24.
- Lawal, D. U.; Matori, A. N.; Yusuf, K.W.; Hashim, A.M & Balogun, A.L. 2014. Analysis of the flood extent extraction model and natural flood influencing factors: A GIS-based and remot sensing analysis. 8<sup>th</sup> Internatinal symposium of the Digital Earth (ISDE8). Earth and Envirnoment Science 18.
- Leskens, J.G.; Brugnach, M.; Hoekstra, A.Y. & Schuurmans, W. 2014. Why are decision flood disaster management so poorly supported by information from flood models? Environmental Modeling & Software. 53:53-61.
- Madadi, A.; Piroozi, E. & Aghayary, L. 2019. Flood Hazard Zonation by Combining SCS-CN and WLC Methods (Case study: Khiyave Chay Meshkinshahr Basin). Hydrogeomorphology, Vol 5, N 17, 85-102. (In Persian)
- Madadi, A.; Piroozi, E. & Parastar, S. 2016. Flood hazard zonation in the Aghlaghan chay watershed using by ANP model, University of Mohaghegh Ardabili, Research Project, 150 p. (In Persian)
- Malchefeski, Y. 2006. Geographic Information System and Multi-Criterion Decision Analysis, Translation, Akbar Parhizgar. Atta Ghaffari, First Edition, Samt Publications.606 p. (In Persian)
- Mohammadi, H. 2011. Atmospheric Hazards, University of Tehran Press, Second Edition, 230 p. (In Persian)
- Negahban, S.; Mosavi, S.; Rakhshaninasab, H. & Hossainzadeh, S. 2017. Assessment and zoning Flood risk by using Fuzzy logic TOPSIS in GIS (Case study: Baghmalek urban catchment). Journal of Natural Environmental Hazards, Vol 5, N 10: 79-98. (In Persian)
- Ozey, R. 2011. Geography of Hazards (Natural and Human Hazards), Translator: Mohammad Zaheri, Tabriz University Press, First Edition, 470 p. (In Persian)
- Piroozi, E.; Abedini, M.; Aghayary, L. & Ostadi, E. 2018. Flood hazard zonation in the Meshkinshar Township using by VIKOR model, territory, Vol 14, Issue 56: 21-34. (In Persian)
- Rahmati, O.; Zeinivand, H & Besharat, M, 2016. Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, Geomatics, Natural Hazards and Risk. 7 (3): 1000-1017.
- Samanta, S.; Koloa, C.; Kumar Pal, D. & Palsamanta, B. 2016. Flood Risk Analysis in Lower Part of Markham River Based on Multi-Criteria Decision Approach (MCDA), Hydrology. 3 (29): 1-13.
- Shivaprasad Sharma, S.V.; Parth Sarathi, R.; Chakravarthi, V. & Srinivasa Rao, G. 2018. Flood risk assessment using multi-criteria analysis: a case study fromKopili River Basin, Assam, India, Geomatics, Natural Hazards and Risk. 9(1): 79-93.
- Sui, D. Z. 1999. a Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban Land Evaluation.Computer, Environment and Urban Systems.16 (2): 101-115.
- Tingsanchali, T. 2012. Urban flood disaster management. Procedia Engineering. 32: 25-37.
- Valizadeh Kamran, Kh.; Jahanbakhsh, S.; Zahedi, M. & Rezaei Banafsheh, M. 2012. Estimation of actual evapotranspiration and analysis of its relationship with land use, using GIS techniques case study: Meshkinshahr area, Quarterly Journal of Geographical Space, Vol 12, N 37: 39-54. (In Persian)
- Wahhabi, J. 2006. Flood Risk Zoning Using Hydrological and Hydraulic Models in Taleghan River Area, Journal of Research and Construction in Natural Resources, (2) 19: 34-87. (In Persian)
- Wang, Y.; Hong, H.; Chen, W.; Li, SH.; Pamucar, D.; Gigovic, L.; Drobnjak, S.; Bui, D & Duan, H. 2019. A Hybrid GIS Multi-Criteria Decision-Making Method for Flood Susceptibility Mapping at Shangyou, China, Remote Sensing. 11(1): 1-32.
- Zadvali, F.; Rostaei, S. & Karimzadeh, H. 2017. Evaluation of spatial analyses in poverty expansion in Tabriz urban areas. Geographical Planning of Space, Vol 6, N 22: 125-136. (In Persian)