Iranian Journal of
Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه های سطوح آبگیر باران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۲۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

غربال‌گری حوزه‌های آبخیز استان اردبیل بر اساس آسیب‌پذیری سیل

الهام عزیزی[۱]، رئوف مصطفی‌زاده[۲]، زینب حزباوی [۳*]، اباذر اسمعلی‌عوری[۴]، شهناز میرزایی[۵]

۱. دانش‌آموخته علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۳. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۴. استاد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، پژوهشکده مدیریت آب، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۵. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸
صفحات:۲۶- ۱۱

نوع مقاله: علمی-پژوهشی

چکیده

در سال‌های اخیر جهان با پدیده‌های زیادی روبه‌رو بوده است. از بین پدیده‌های طبیعی، سیل به‌دلیل تأثیرات نامطلوب آن توجه زیادی را به خود جلب کرده است. بیش از نیمی از تخریب و خسارات ناشی از سیل جهانی در قاره آسیا رخ می‌دهند که باعث تلفات جانی، آسیب به زیرساخت‌ها و ایجاد رعب و وحشت در جوامع نیز می‌شوند. افزایش تاب‌آوری برای سیستم‌های شهری جهت مقابله و به‌حداقل رساندن خطرات پدیده سیل حیاتی است. این موضوع مسلماً در ایران اهمیت بیش‌تری دارد، چراکه افزایش فراوانی سیل یک نگرانی قابل‌توجه برای بسیاری از مناطق این کشور است. علی‌رغم وجود پژوهش‌های زیاد در ایران، هنوز مسئله آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز به‌طور جامع و چندبعدی توسط جامعه علمی پوشش داده نشده است. بنابراین، پژوهش حاضر باهدف سنجش آسیب‌پذیری سیل در ۲۶ حوزه آبخیز استان اردبیل بر اساس ۱۹ معیار و ۳ عامل مختلف برنامه‌ریزی‌شده است. برای محاسبه معیارها از داده‌های هواشناسی و هیدرولوژی، لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های قابل‌دسترس، سالنامه‌های آماری و مطالعات پیشین بهره گرفته شد. هم‌چنین، از روش آنتروپی شانون برای وزن‌دهی معیارها و از روش ویکور برای رتبه‌بندی حوزه‌های آبخیز از نظر سه عامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری و نیز آسیب‌پذیری سیل استفاده شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که از نظر عامل در معرض قرارگیری، حوزه‌های آبخیز مشیران، فیروزآباد و گیلانده، از نظر عامل حساسیت، حوزه‌های آبخیز هیر، باروق و لای بالاترین رتبه را به‌خود اختصاص دادند. علاوه بر این، حوزه‌های آبخیز پل سلطانی، حاج‌احمدکندی و باروق دارای تاب‌آوری بسیار زیاد در برابر سیل به‌ترتیب با رتبه ۱ تا ۳ هستند. نتایج رتبه‌بندی آسیب‌پذیری سیل نیز نشان داد که حوزه‌های آبخیز دوست بیگلو، مشیران و سامیان با رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ بیش‌ترین آسیب‌پذیری را دارند.

واژه‌های کلیدی: تخریب منابع، تغییرات مکانی، حوزه آبخیز ناسالم، عوامل محیطی، فشار انسانی.

مقدمه

سیل یک رویداد طبیعی است که باعث تخریب گسترده در زمینه‌های مختلف اجتماعی و اقتصادی شده و بر زندگی روزمره تأثیر منفی گذاشته است، به‌طوری‌که آسیب‌پذیری از جمله در معرض قرارگیری[۲] فیزیکی-محیطی،

[1] Email: z.hazbavi@uma.ac.ir نویسنده مسئول: زینب حزباوی

2- Exposure

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

اجتماعی و اقتصادی را افزایش داده است (Chan et al., 2022). پدیده سیل در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۷، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ بسیاری از مناطق جهان را تحت تأثیر قرار داده و در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰، تقریباً ۳/۶ میلیارد نفر (حدود ۵۶ درصد) از کل جمعیت جهان را به زیرآب برده است (Chan et al., 2022). دخالت‌های انسان در چرخه طبیعی آب از طریق تخریب پوشش گیاهی در عرصه‌های مختلف حوزه آبخیز، تغییر غیراصولی کاربری اراضی، فرسایش خاک و توسعه سطوح غیرقابل نفوذ باعث افزایش پتانسیل سیل‌خیزی در مناطق مختلف یک حوزه آبخیز شده و به دنبال آن وقوع سیل را افزایش می‌دهد (نفرزادگان و همکاران، ۱۳۹۸).

به‌طورکلی، سیل‌ها عمدتاً به بارندگی‌های شدید مداوم، توسعه سریع، شهرنشینی بی‌برنامه، سیستم زهکشی ضعیف و تخریب محیط‌زیست نسبت داده می‌شوند (Abid et al., 2021). امروزه در سراسر جهان، کشورها در حال شهری شدن هستند و با گسترش شهرها، روند شهرنشینی بیش‌تر شده و به مکان‌های اصلی بسیاری از پدیده‌های طبیعی از جمله سیل که یک موضوع جهانی است و در صورت عدم آمادگی و تاب‌آوری[1] خسارات جانی و مالی فراوانی را متحمل می‌شود، تبدیل‌شده است (محمودزاده و هریسچیان، ۱۴۰۰). بنابراین به نظر می‌رسد که روند شهرنشینی حتی در کشورهای کم‌تر توسعه‌یافته ادامه پیداکرده و آسیب‌پذیری سیل را تشدید می‌نماید. مطابق با پیش‌بینی سازمان ملل متحد، تا سال ۲۰۵۰ نزدیک به ۸۰ درصد جمعیت در محیط شهری زندگی می‌کنند (محمودزاده و هریسچیان، ۱۴۰۰). حدود ۳۵۰ میلیون نفر در جهان تحت تأثیر سیل قرار دارند و پیش‌بینی می‌شود که تا پایان سال ۲۰۵۰ تخریب سیل دو برابر شود (Chan et al., 2022). از آنجایی‌که رشد جمعیت در مناطق مستعد سیل باعث افزایش آسیب‌پذیری سیل می‌شود، بنابراین، افزایش روزافزون جمعیت و ترکیب املاک ساخته‌شده در مناطق مستعد سیل، پتانسیل سیل را زیاد کرده است. هم‌چنین، انتظار می‌رود که در آینده نزدیک، تأثیر سیل با افزایش جمعیت و تعرض به حریم منابع طبیعی به‌طور قابل‌توجهی افزایش پیدا کند (Walker and Burningham, 2011; Chan et al., 2022).

یکی از اهداف هر جامعه دارای اکوسیستم‌های شکننده، افزایش توان ظرفیت جامعه در مقابله با خطرات و کاهش آسیب ناشی از سیل است. اگرچه برخی از اقدامات پیش‌گیری برای کاهش آسیب‌پذیری سیل وجود دارد اما با توجه به این‌که گاهی اوقات این پدیده طبیعی در مقیاس وسیعی رخ می‌دهد، بنابراین نمی‌توان از وقوع یا پیامدهای آن به‌طور کامل جلوگیری کرد. از طرفی به‌دلیل وسعت زیاد حوزه‌های آبخیز و محدودیت منابع مالی و اجرایی، احیاء حوزه‌های آبخیز عملی نبوده و ممکن است اثرات معکوسی را به دنبال داشته باشند (نفرزادگان و همکاران، ۱۳۹۸). بنابراین حوزه‌های آبخیزی که در معرض سیل هستند و حساسیت[2] بیش‌تری نسبت به آن دارند و دارای شرایط بحرانی ازلحاظ تاب‌آوری کم هستند، حفظ آن‌ها ضروری است. لذا یکی از اهداف مهم در راستای کاهش در معرض قرارگیری و حساسیت و افزایش تاب‌آوری نسبت به سیل باهدف کاهش آسیب‌پذیری ناشی از سیل، اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز به لحاظ همین عوامل است. تاب‌آوری زیاد در برابر پدیده طبیعی هم‌چون سیل، نقش اساسی در کاهش میزان خسارات وارده دارد. تاب‌آوری زیاد حوزه آبخیز، امکان برنامه‌ریزی و پیش‌بینی بهتر جهت کاهش تأثیر سیل را فراهم کرده و دستورالعمل‌هایی را برای کاهش تلفات ناشی از رویدادهای طبیعی ارائه داده و راه‌های مؤثر جایگزین در اختیار قرار می‌دهد.

روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[3] یکی از روش‌هایی است که می‌توان در مطالعه سیلاب از آن استفاده نمود. این روش‌ها اجازه بررسی و ارزیابی با استفاده از متغیرهای کمی را می‌دهند و در فرآیندهای تصمیم‌گیری اعمال می‌شوند. روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کاربردهای بالقوه‌ای در حل مسائل مدیریت خطر سیل دارند (Luu et al., 2020). از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مهم می‌توان به فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[4]، فرآیند شبکه تحلیلی[5]، آنتروپی شانون[6]،

1- Resilience
2- Sensitivity
3- Multi Criteria Decision Making
4- Analytical Hierarchy Process (AHP)
5- Analytic Network Process (ANP)
6- Shannon Entropy

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

تکنیک اولویت سفارش توسط شباهت به یک‌راه حل ایده‌آل[۱] و ویکور[۲] اشاره کرد. روش آنتروپی شانون یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، عدم ثبات و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم استفاده می‌شود (نوحانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ Yufeng & Fengxiant, 2009). درواقع روش آنتروپی بیان‌گر این است که از بین عوامل مؤثر بر یک هدف، چگونه می‌توان مهم‌ترین عوامل را تخمین زد (نوحانی و همکاران، ۱۳۹۵). ازآنجایی‌که در عوامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری در برابر سیل معیارهای مختلفی تأثیرگذار هستند و ممکن است اثر معیاری که بیش‌ترین تأثیر را دارد نادیده گرفته شود، بنابراین روش آنتروپی شانون می‌تواند در شناسایی عوامل مؤثر و میزان اثر آن نقش به‌سزایی داشته باشد. ویکور نیز یکی از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت رتبه‌بندی گزینه‌های مختلف و بیش‌تر برای حل مسائل گسسته کاربرد دارد (نفرزادگان و همکاران، ۱۳۹۸). تفاوت اصلی مدل ویکور با مدل‌های تصمیم‌گیری سلسله مراتبی یا شبکه‌ای در این است که برخلاف سایر مدل‌ها، در این مدل مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها صورت نمی‌گیرد و هر گزینه به‌صورت مستقل توسط یک معیار مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (نفرزادگان و همکاران، ۱۳۹۸؛ Tzeng & Opricovic, 2007). استفاده از روش ویکور را می‌توان در مطالعات Lee و همکاران (۲۰۱۴) برای شناسایی آسیب‌پذیری سیل رودخانه هان بالایی[۳] در کره جنوبی و Ekmekcioğlu و همکاران (۲۰۲۲) برای نقشه‌برداری خطر سیل بر اساس تصمیم‌گیری چندلایه در شهر استانبول ترکیه مشاهده کرد. در ایران نیز می‌توان در پژوهش خدادادی و همکاران (۱۳۹۷) در بررسی مخاطرات طبیعی زمین‌لغزش و سیل در سطح استان البرز و نفرزادگان و همکاران (۱۳۹۸) برای اولویت‌بندی زیرحوزه‌های آبخیز دهبار خراسان جهت کنترل سیل جست‌وجو کرد.

Munyai و همکاران (۲۰۱۹) از شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل و سازگاری با آن در روستای هاموتشا-موونگامونوه[۴] شهرداری میکادو[۵] استفاده کردند. داده‌های لازم از طریق مصاحبه، نظرسنجی میدانی و پرسش‌نامه جمع‌آوری شد. آن‌ها آسیب‌پذیری سیل را با توجه به ماهیت خاک، نوع سکونت، اشتغال و تحصیلات ساکنین و بارش در فصل بارندگی تعیین نمودند. هم‌چنین، آن‌ها توصیه کردند که کمپین‌های آگاهی عمومی، سامانه‌های هشدار اولیه و راهبردهای مدیریت بهتر بلایا در جامعه، باید در مدیریت سیل در نظر گرفته شوند. در تایوان، Chuang و همکاران (۲۰۲۰) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) به توزیع مکانی آسیب‌پذیری سیل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که اگرچه دولت‌شهر نیوتایپه[۶] به‌صورت فعال تاب‌آوری را در بخش‌های مختلف گسترش می‌دهد اما شهرستان‌های خاصی با چالش‌های متفاوتی مانند شهرنشینی سریع و کمبود امکانات اضطراری مواجه هستند و تعادل مکانی برخی از تأسیسات حیاتی ممکن است منجر به اثرات جدی در طول بلایا شود. هم‌چنین، در مالزی Abid و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی باهدف بررسی مفهوم آسیب‌پذیری و تاب‌آوری در مدیریت سیلاب ساراواک[۷] انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها بیان‌گر تأثیر قابل‌توجه عوامل انسانی و حاکمیتی در بروز سیلاب بود. هم‌چنین آمادگی اضطراری می‌تواند خسارات و تلفات سیل را کاهش دهد و فن‌آوری‌های نوآورانه باید برای کاهش آسیب‌پذیری و ایجاد تاب‌آوری برای کاهش پایداری خطر بلایا در نظر گرفته شوند.

Satour و همکاران (۲۰۲۱) از یک شاخص ترکیبی و رویکرد مبتنی بر GIS برای اندازه‌گیری و نقشه‌برداری تاب‌آوری در برابر سیل در سه شهرداری ساحلی شمالی مراکش پرداختند. ایشان مناطق ویژه با سطوح تاب‌آوری مختلف را شناسایی کرده و رابطه بین ابعاد شهری و درجه تاب‌آوری سیل را نشان دادند. بنابراین این رویکرد یک ابزار پشتیبانی تصمیم کارآمد برای تسهیل مدیریت ریسک سیل، به‌ویژه از نظر اولویت‌بندی اقدامات حفاظتی، فراهم

1- Technique for Order Preference by Similarity to an Ideal Solution (TOPSIS)
2- VIekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje (VIKOR)
3- south Han
4 - Hamutsha-Muungamunwe
5 - Mikado
6- New Taipei
7- Sarawak

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

می‌کند. هم‌چنین، Sajedi Hosseini و همکاران (۲۰۲۱) در ایران و در حوزه آبخیز کشکان[1] مطالعه‌ای در رابطه با بررسی آسیب‌پذیری سیلاب با استفاده از ارزیابی تصمیم‌گیری، فرآیند شبکه تحلیلی و نظریه‌های فازی انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که حدود ۱۹/۲ درصد از منطقه دارای آسیب‌پذیری سیلاب بالا تا بسیار زیاد است. در ویتنام، Luu و همکاران (۲۰۲۲) یک چارچوب ارزیابی خطر سیل که از داده‌های تاریخی سیل و مدل رقومی ارتفاع با وضوح‌بالا استفاده می‌کند، ارائه دادند. سپس نقشه به‌دست‌آمده را با داده‌های در معرض قرارگیری و آسیب‌پذیری برای ارزیابی کلی ترکیب کردند. آن‌ها بیان کردند که نقشه نهایی خطر سیل، مساحت کل آب‌گرفتگی یعنی ۶۴۳۴۸ هکتار را که در آن ۸/۳ درصد منطقه خطر کم، ۱۶/۳ درصد خطر متوسط، ۱۲/۰ درصد منطقه خطر زیاد، ۳۷/۱ درصد منطقه خطر بسیار زیاد و ۲۶/۲ درصد منطقه ریسک فوق‌العاده بالایی دارند را نشان می‌دهد. Chan و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی سیستماتیک آسیب‌پذیری سیل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. طبق نتایج آن‌ها مشخص شد که رویکرد شاخص‌محور درک بهتری از ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه می‌دهد و GIS یک محیط مؤثر برای نقشه‌برداری و تجزیه‌وتحلیل دقیق برای کاهش فاجعه سیل فراهم می‌کند. اخیراً، Azizi و همکاران (۲۰۲۲) به‌منظور ارائه اطلاعات جامعی از آسیب‌پذیری سیل ۲۶ حوزه آبخیز استان اردبیل ابتدا به محاسبه شش مؤلفه مختلف شامل هواشناسی، هیدرولوژیکی، فیزیکی-محیطی، اجتماعی، اقتصادی و سرمایه‌گذاری بر اساس ۱۹ معیار مختلف پرداختند. سپس بر اساس تلفیق این مؤلفه‌ها، شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) محاسبه شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مساحت استان از نظر مؤلفه‌های نام‌برده به‌ترتیب در طبقات متوسط (۵۴ درصد)، خیلی زیاد (۴۵ درصد)، متوسط (۵۶ درصد)، زیاد (۳۷ درصد)، متوسط (۶۴ درصد) و متوسط (۵۴ درصد) آسیب‌پذیری قرار گرفته است.

نوحانی و همکاران (۱۳۹۵) برای ارزیابی مدل آنتروپی شانون در تهیه نقشه حساسیت و احتمال به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز استان مازندران، ۲۱۱ موقعیت نقاط سیلابی را در نظر گرفته و از ۷۰ درصد آن برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که سطح زیر منحنی یا موقعیت‌های نقاط آموزش برای مدل آنتروپی شانون برابر با ۰/۹۳ درصد با صحت پیش‌بینی ۰/۹۱ بوده و این نشان از قابل‌اعتماد بودن روش مذکور برای تهیه نقشه حساسیت است. نظم‌فر و پاشازاده (۱۳۹۷) نیز تاب‌آوری در برابر مخاطرات طبیعی شهر اردبیل را مورد مطالعه قراردادند. یافته‌های پژوهش آن‌ها نشان داد که بُعد کالبدی در تاب‌آوری شهر اردبیل از اهمیت بالایی برخوردار است. خورشیدی و همکاران (۱۴۰۰) در زمینه اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار حاجی بختیار استان ایلام با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP-VIKOR مطالعه‌ای انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۳۱ درصد منطقه پتانسیل سیل‌خیزی متوسط، ۵۱ درصد منطقه پتانسیل سیل‌خیزی زیاد و ۱۶ درصد منطقه پتانسیل سیل‌خیزی خیلی زیاد دارد.

درمجموع سیل از طریق آسیب‌های هواشناسی، هیدرولوژیکی، فیزیکی-محیطی، اقتصادی، اجتماعی و زیرساختی باعث افزایش در معرض قرارگیری و حساسیت و باعث کاهش تاب‌آوری یک حوزه آبخیز می‌شود. مطالعه و بررسی توانمندسازی جوامع اجتماعی و محلی به‌منظور کاهش در معرض قرارگیری و حساسیت و افزایش تاب‌آوری در مقابل بحران سیلاب در شرایط اقلیمی ایران از جمله استان اردبیل که یک منطقه کوهستانی بوده و در سال‌های اخیر در اثر بارش سنگین‌بارها مورد آسیب سیل قرار گرفته، ضروری به نظر می‌رسد. بر همین اساس، پژوهش حاضر باهدف برآورد میزان عامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری حوزه‌های آبخیز استان اردبیل به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری سیل و کاربرد این نتایج در رتبه‌بندی و اولویت‌بندی حوزه‌های آبخیز استان اردبیل برنامه‌ریزی شد.

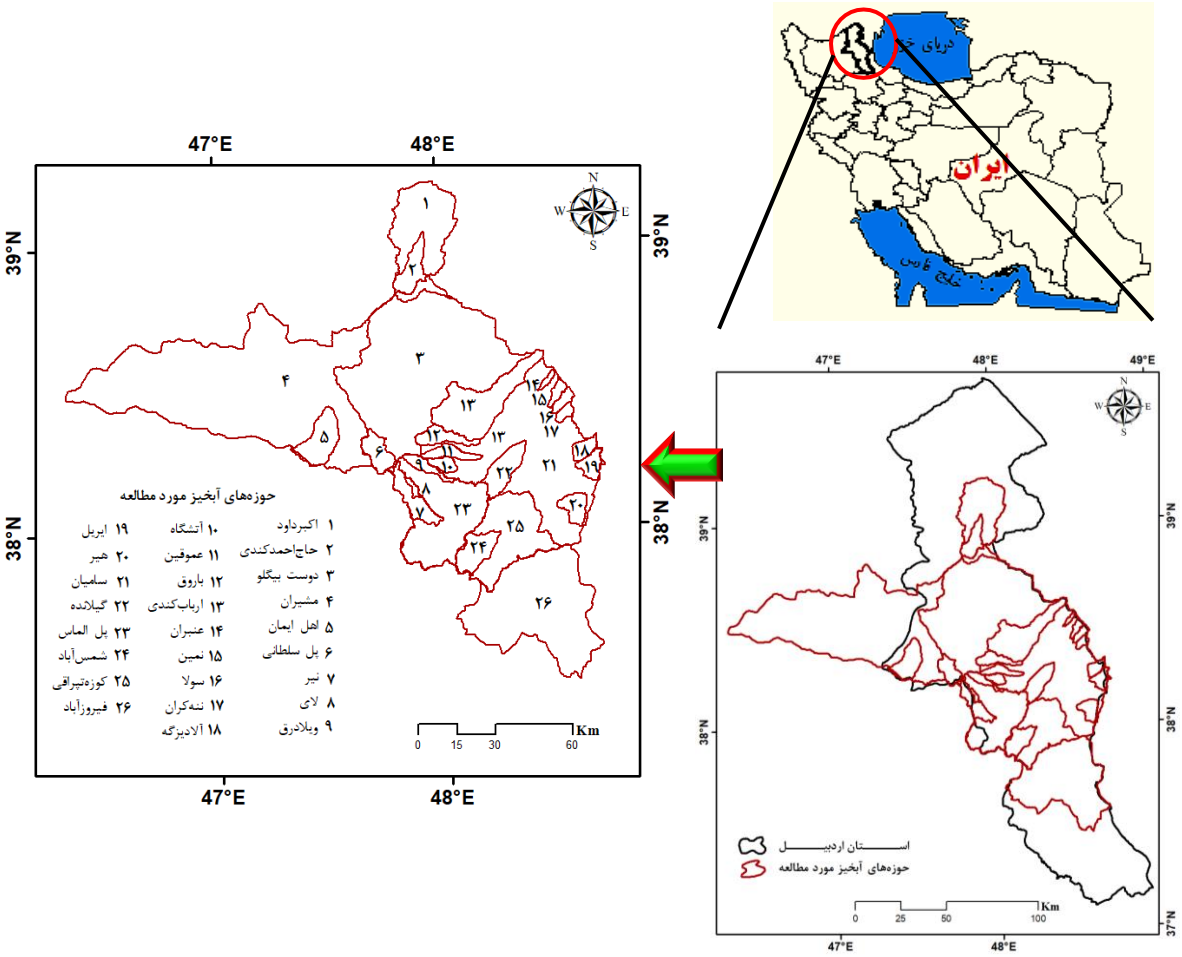
1- Kashkan

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

منطقه مورد مطالعه

استان اردبیل در شمال غربی فلات ایران واقع‌شده است (شکل ۱). با توجه به تقسیم‌بندی‌های هیدرولوژیکی، استان اردبیل چندین حوزه آبخیز را در برمی‌گیرد که در پژوهش حاضر ۲۶ حوزه آبخیز که کل استان را پوشش داده‌اند مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفتند (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در استان اردبیل

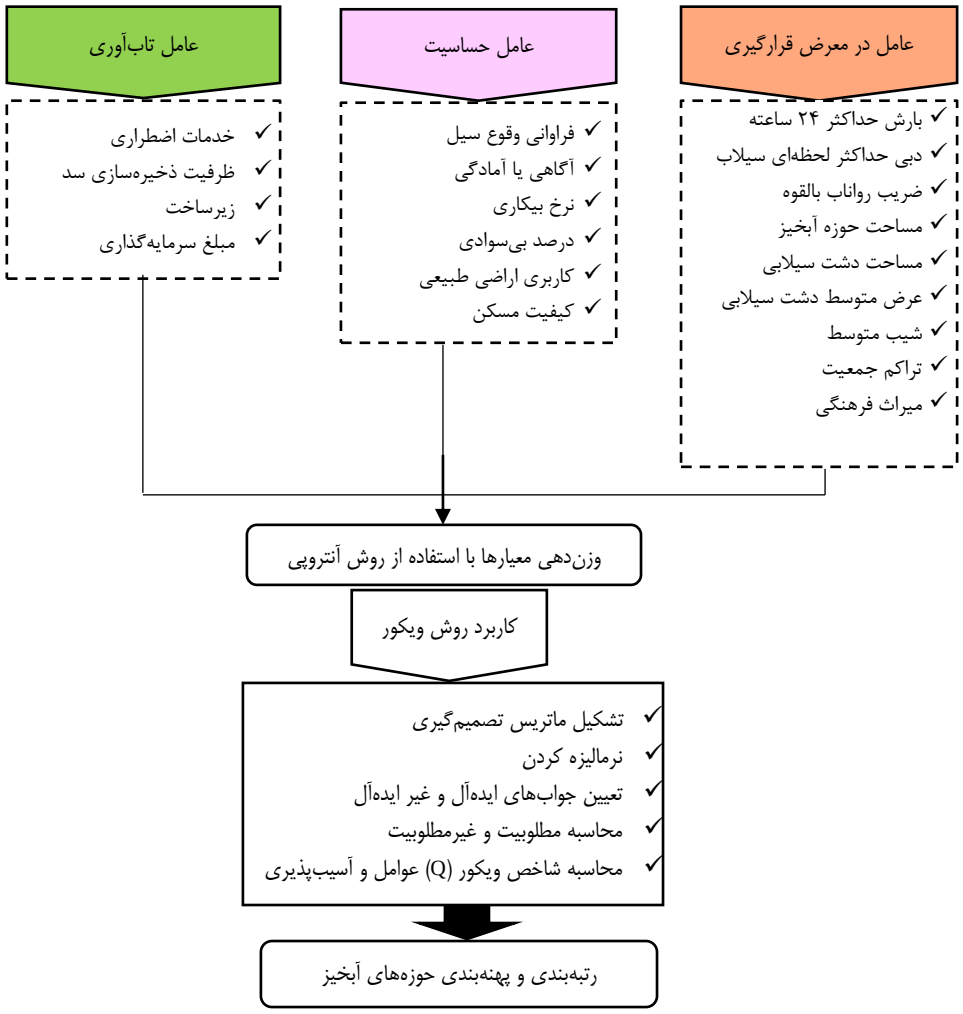
مواد و روش‌ها

چارچوب ارزیابی عوامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری

پژوهش حاضر در پاسخ به تأثیر سیل در شمال غرب ایران، سه عامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری را مورد مطالعه قرار داده و یک راه‌حل ایده‌آل مبتنی بر رتبه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر در برابر سیل پیشنهاد می‌کند (شکل ۲). بر همین اساس، در معرض قرارگیری خطر سیل با احتمال خطر جانی یا مالی که در طول حوادث سیل رخ می‌دهد، تعریف می‌شود (Luu et al., 2022). عامل حساسیت نیز بیان‌گر شرایطی است که در آن‌یک حوزه آبخیز به‌طور منفی یا مثبت تحت تأثیر اختلالات و فشارهای وارده قرار می‌گیرد (Sa'diyah et al., 2020). تاب‌آوری ظرفیت و قابلیت هر حوزه آبخیزی است که اختلال را مدیریت می‌کند و کارآیی آن‌ها را از نظر اقتصادی، فیزیکی، اجتماعی و محیطی حفظ می‌کند (Abid et al., 2021). بدین‌منظور، ابتدا برای هر یک از عوامل، معیارهایی که در شکل (۲) آورده شده است، مدنظر قرار داده و از منابع پژوهشی مختلف انتخاب شدند. سپس با استفاده از روش‌های مختلف نسبت به برآورد

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

آن‌ها اقدام شد. در ادامه، از طریق روش آنتروپی شانون، وزن‌دهی انجام و در مرحله بعدی با استفاده از رویکرد ویکور، هر یک از حوزه‌های آبخیز اولویت‌بندی شدند. درنهایت، نتایج ارزیابی در قالب جدول و نقشه مرتب و تجزیه‌وتحلیل شدند.



شکل (۲): نمودار جریانی انجام پژوهش

جمع‌آوری داده‌ها، انتخاب معیارها و محاسبه عوامل

در پژوهش حاضر برای مطالعه عامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری حوزه‌های آبخیز استان اردبیل در برابر خطر سیل، ۱۹ معیار مطابق جدول (۱)، انتخاب و مورد ارزیابی قرار گرفت. در جدول (۱) نحوه محاسبه هرکدام از معیارها شرح داده شده است. قابل‌ذکر است که داده‌های واقعی معیارها برای ورود به روش وزن‌دهی آنتروپی و روش رتبه‌بندی ویکور مورد پردازش قرار گرفتند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

جدول (۱). معیارهای مورد مطالعه، نوع عامل، روش گردآوری و برآورد معیارها

تعداد	معیار (واحد)	عامل	روش گردآوری و برآورد
۱	بارش حداکثر ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۵۰ ساله (میلی‌متر)	در معرض قرارگیری	استفاده از داده‌های هواشناسی، تجزیه‌وتحلیل در Excel و نرم‌افزارهای Cumfreq، Gs^{+} و ArcGIS
۲	مساحت حوزه آبخیز (کیلومترمربع)	در معرض قرارگیری	استفاده از داده‌های توپوگرافی، تجزیه‌وتحلیل در نرم‌افزار ArcGIS
۳	ضریب رواناب (درصد)	در معرض قرارگیری	استفاده از نقشه شیب، کاربری اراضی و تیپ خاک، تجزیه‌وتحلیل در نرم‌افزار ArcGIS
۴	حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله (مترمکعب بر ثانیه)	در معرض قرارگیری	استفاده از داده‌های هیدرولوژی و نرم‌افزار Cumfreq
۵	خصوصیات دشت - مساحت (کیلومترمربع)	در معرض قرارگیری	استفاده از نقشه پهنه‌بندی دشت‌های سیلابی ایران، تجزیه‌وتحلیل در نرم‌افزار ArcGIS
۶	سیلابی - عرض متوسط (متر)		
۷	توپوگرافی (درصد شیب متوسط)	در معرض قرارگیری	داده‌های توپوگرافی، تجزیه‌وتحلیل در نرم‌افزار ArcGIS
۸	تراکم جمعیت (نفربر کیلومترمربع)	در معرض قرارگیری	استفاده از شیب فایل روستاها و تجزیه‌وتحلیل در Excel
۹	میراث فرهنگی (تعداد)	در معرض قرارگیری	استفاده از آمار مربوط به پل‌های تاریخی
۱۰	فراوانی وقوع سیل با دوره بازگشت ۲۰ ساله (تعداد در سال)	حساسیت	استفاده از داده‌های هیدرولوژیکی و نرم‌افزار Cumfreq
۱۱	معکوس کاربری اراضی طبیعی (درصد)	حساسیت	نقشه کاربری اراضی و تجزیه‌وتحلیل در Excel و نرم‌افزار ArcGIS
۱۲	درصد بی‌سوادی (درصد)	حساسیت	استفاده از شیب فایل روستاها و تجزیه‌وتحلیل در Excel
۱۳	معکوس آگاهی یا آمادگی (درصد)	حساسیت	سالنامه آماری سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ و تجزیه‌وتحلیل در Excel
۱۴	نرخ بیکاری (نسبت)	حساسیت	استفاده از شیب فایل روستاها و تجزیه‌وتحلیل در Excel
۱۵	معکوس کیفیت مسکن (بدون واحد)	حساسیت	مطالعه سجادی و همکاران (۱۳۹۵)
۱۶	معکوس ظرفیت ذخیره‌سازی سد (میلیون مترمکعب)	تاب‌آوری	از طریق لایه اطلاعاتی GIS سدها، مطالعات آمایش اردبیل (۱۳۹۷)، تجزیه‌وتحلیل در Excel و نرم‌افزار ArcGIS
۱۷	معکوس خدمات اضطراری (درصد)	تاب‌آوری	سالنامه آماری سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰ و تجزیه‌وتحلیل در Excel
۱۸	معکوس زیرساخت مانند لوله‌کشی آب، لوله‌کشی گاز، سامانه تصفیه آب و شبکه سراسری برق (درصد)	تاب‌آوری	
۱۹	معکوس مبلغ سرمایه‌گذاری (ضربدر $۱۰^{۱۲}$ میلیون ریال)	تاب‌آوری	اطلاعات عملیات اجرایی در حوزه‌های آبخیز ۱۱ گانه استان اردبیل انجام‌شده از محل اعتبارات صندوق توسعه ملی، تجزیه‌وتحلیل در Excel و نرم‌افزار ArcGIS

وزن‌دهی معیارها با روش آنتروپی شانون (Shannon Entropy)

روش آنتروپی شانون توسط شانون در سال ۱۹۴۸ به‌عنوان مفهوم عمده در علوم فیزیکی، اجتماعی و تئوری اطلاعات که نشان‌دهنده سطح عدم قطعیت موجود از محتوای مورد انتظار اطلاعاتی از یک پیام است، معرفی شد (Roozbahani et al., 2020). به‌عبارت‌دیگر، در تئوری اطلاعات، آنتروپی معیاری است که برای اندازه‌گیری میزان عدم قطعیت در توزیع احتمال گسسته (P_i) بیان‌شده است (Roozbahani et al., 2020). در پژوهش حاضر وزن‌دهی معیارها بر اساس روش وزن‌دهی آنتروپی شانون به شرح زیر انجام شد (قاصد و همکاران، ۱۳۹۹).

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

مرحله ۱. در مرحله اول، ماتریس تصمیم‌گیری که سطرهای آن گزینه‌ها (حوزه‌های آبخیز) و ستون‌های آن معیارهاست، به‌صورت زیر تشکیل شد.

مرحله ۲. در مرحله دوم ماتریس تصمیم‌گیری ایجادشده با استفاده از رابطه (۱) نرمال‌سازی شده و به‌صورت P_{ij} برای هر یک از گزینه‌ها به‌دست‌آمده آمد. بدین‌صورت که مقادیر هر ستون بر جمع مقادیر آن ستون تقسیم، و مقادیر نرمال شده محاسبه شد.

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad (۱)$$

در این رابطه i نشان‌دهنده ردیف‌ها، j ستون‌های ماتریس تصمیم‌گیری و aij مقادیر هر ستون است.

۳. در مرحله سوم آنتروپی یا مقدار قطعیت هر شاخص با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^{m} [P_{ij} ln P_{ij}] \quad (۲)$$

در رابطه مذکور Ej؛ آنتروپی، j ستون ماتریس تصمیم نرمال شده و k یک مقدار ثابت را نشان می‌دهد. در پژوهش حاضر k بین ۰/۴۶ تا ۰/۹۱ متغیر بوده و برای محاسبه عوامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری و مقدار نهایی آسیب‌پذیری سیل به‌ترتیب برابر با ۰/۴۶، ۰/۵۶، ۰/۷۲ و ۰/۹۱ در نظر گرفته شد.

۴. در مرحله چهارم مقدار عدم قطعیت محاسبه شد (رابطه ۳).

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳)$$

dj نشان‌دهنده مقدار عدم قطعیت است.

۵. درنهایت در مرحله پنجم نسبت به محاسبه وزن معیارها (Wj) از طریق رابطه (۴) اقدام شد.

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^{n} d_j} \quad (۴)$$

رتبه‌بندی با استفاده از روش ویکور (VIKOR)

روش ویکور یکی از روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه برتر است. این مدل از سال ۱۹۸۴ بر اساس روش توافق جمعی و معیارهای متضاد تهیه‌شده و برای حل مسائل گسسته کاربرد دارد (حضرتی یادکوری و حجتی، ۱۳۹۵). از طرفی گفته می‌شود که این روش برای اولین بار در سال ۱۹۹۸ توسط اپریکوویچ جهت حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره و دستیابی به بهترین راه‌حل توافقی ارائه شد (فرزانه سادات زارنجی و یزادانی، ۱۴۰۱). روش مذکور برای بهینه‌سازی چندمعیاره سیستم‌های پیچیده توسعه داده شده است (حضرتی یادکوری و حجتی، ۱۳۹۵). روش ویکور، بر رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه راه‌کار در مسئله‌ای با داشتن معیارهای مخالف تمرکز دارد. بنابراین به تصمیم‌گیران کمک می‌کند تا به یک تصمیم نهایی دست یابند. این روش زمانی‌که تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسئله در زمان شروع و طراحی نیست، مورد استفاده قرار می‌گیرد (فرزانه سادات زارنجی و یزادانی، ۱۴۰۱). مزیت اصلی مدل ویکور این است که در ارزیابی گزینه‌ها می‌توان از داده خام استفاده کرد. به عبارتی در ارزیابی گزینه‌ها نیاز به استفاده از نظر کارشناس نیست. یکی دیگر از مزیت‌های اصلی این مدل استفاده از روابط ریاضی و عدم استفاده از نرم‌افزارهای پیچیده است. در این روش به‌راحتی می‌توان نتایج را با استفاده از روابط ریاضی ساده به‌دست آورد. نتایج نشان داده شده درروش ویکور شامل فهرست رتبه‌های توافقی همراه با یک یا چند راه‌حل توافقی است. در پژوهش حاضر این روش در هفت مرحله به شرح زیر انجام شد (فرزانه سادات زارنجی و یزادانی، ۱۴۰۱).

مرحله ۱: در این مرحله ماتریس تصمیم روش ویکور (معیارها در ستون و گزینه‌ها در سطر) تشکیل شد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

$$f_{ij} = \begin{bmatrix} f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{m1} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

مرحله ۲. در مرحله دوم به فرآیند نرمال‌سازی معیارها با استفاده از رابطه (۶) که هر درایه بر جذر مجموع مربعات درایه‌های هر ستون معیار تقسیم شد، پرداخته شد.

$$f_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_1^m x_{ij}^2}} \quad (۶)$$

مرحله ۳. در مرحله سوم وزن معیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون به‌گونه‌ای که مجموع وزن‌ها بین $۰<W_j<۱$ باشد، محاسبه شد.

مرحله ۴. در این مرحله بهترین و بدترین مقدار از میان مقادیر به‌دست‌آمده برای هر معیار انتخاب شد. بدین‌صورت که برای هر معیار، بهترین و بدترین مقادیر به‌ترتیب f_j^+ و f_j^- تعیین شد.

مرحله ۵. محاسبه مقادیر مطلوبیت (S) و غیرمطلوبیت (R) برای هر گزینه؛ که مقادیر S و R با توجه به رابطه زیر محاسبه شدند.

$$S_j = \sum_{i=1}^{n} w_i \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (۷)$$

$$R_j = \max_i \left[w_i \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \right] \quad (۸)$$

مرحله ۶. در این مرحله محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شد. در رابطه زیر V مقدار بین صفر و یک است. در پژوهش حاضر برای تعیین میزان پارامتر V، با توجه به میزان توافق گروه تصمیم‌گیرنده از عدد ۰/۵ استفاده شد.

$$Q = V \left[\frac{S_i - S^*}{S^* - S^-} \right] + (1 + V) \left[\frac{R_i - R^*}{R^* - R^-} \right] \quad (۹)$$

مرحله ۷. در مرحله آخر، گزینه‌ها بر اساس S، R و Q در سه گروه، از کوچک به بزرگ مرتب شدند. درروش ویکور رتبه‌بندی به‌گونه‌ای است که کم‌ترین ارزش، بالاترین اولویت را دارد (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). در این مرحله باید توجه داشت که بهترین گزینه آن است که در S، R و Q مقدار رتبه برتر باشد در غیر این صورت گزینه برتر، گزینه‌ای است که کوچک‌ترین Q را داشته باشد درصورتی‌که دو شرط زیر برقرار باشند:

شرط اول: اگر گزینه $A1$ و $A2$ در میان مجموع کل گزینه‌ها در Q رتبه‌های اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه (۱۰) برقرار باشد.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{M-1} \quad (۱۰)$$

شرط دوم: گزینه A_1 باید حداقل دریکی از گروه‌های S و R به‌عنوان رتبه برتر شناخته شود. اگر شرط نخست برقرار نباشد هر دو گزینه بهترین گزینه خواهند بود. اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A_1 و A_2 هر دو به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند.

نتایج و بحث

نتایج ویژگی‌های توصیفی از جمله حداقل، حداکثر، میانگین و ضریب تغییرات ۱۹ معیار مورد استفاده برای ارزیابی آسیب‌پذیری ناشی از سیل در ۲۶ حوزه آبخیز استان اردبیل در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

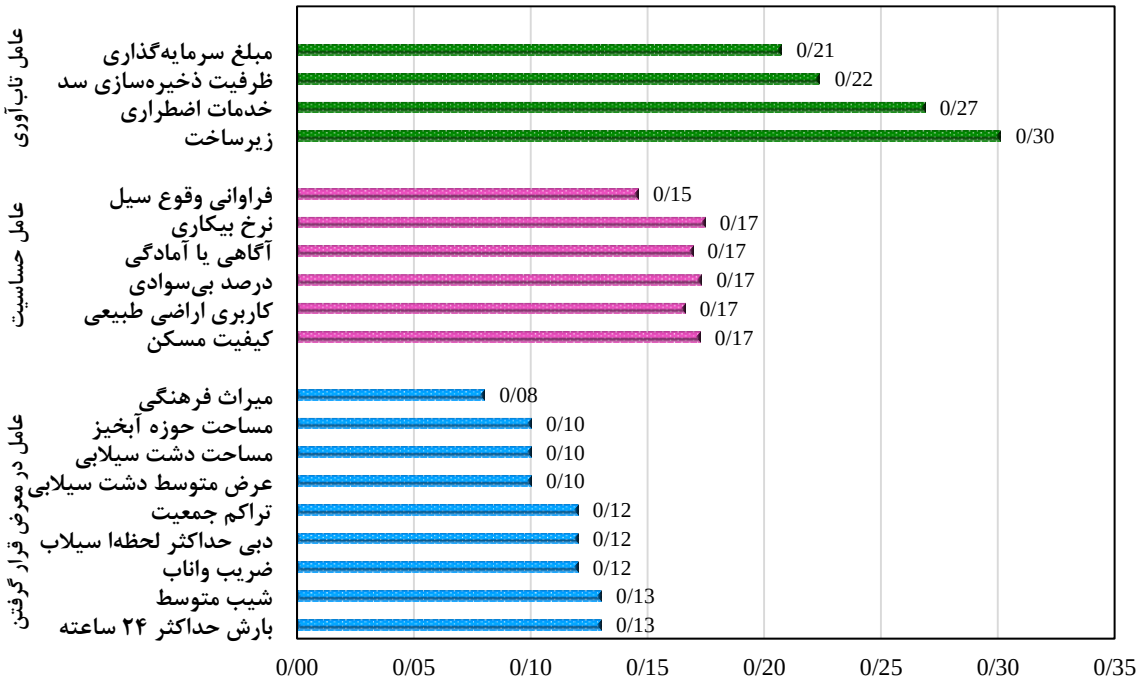
ویژگی‌های توصیفی (جدول ۲) مشخص شد که بیش‌ترین ضریب تغییرات در عوامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری به‌ترتیب مربوط به معیارهای میراث فرهنگی، کیفیت مسکن و معکوس خدمات اضطراری به‌دست آمد که این نوع تغییرات می‌تواند در تغییرپذیری هرکدام از عوامل نام‌برده و آسیب‌پذیری سیل اثرات قابل‌توجهی بر جای بگذارد.

جدول (۲): ویژگی‌های توصیفی معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری سیل در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه

عوامل	معیار / واحد/نوع اثر	حداقل	حداکثر	میانگین	ضریب تغییرات
در معرض قرارگیری	بارش حداکثر ۲۴ ساعته (میلی‌متر) (+)	۵۸/۹۳	۶۷/۸۶	۶۳/۱۴	۳/۴۱
	حداکثر دبی لحظه‌ای سیلاب (مترمکعب بر ثانیه) (+)	۱/۰۸	۲۱۹/۴۲	۴۹/۲۵	۱۱۹/۹۱
	ضریب رواناب (درصد) (+)	۶/۱۳	۴۶/۶۲	۲۲/۰۵	۴۴/۲۵
	مساحت حوزه آبخیز (کیلومترمربع) (+)	۱۷/۷۴	۱۱۲۷۳/۹۱	۱۳۳۳/۳۲	۱۹۹/۶۰
	مساحت دشت سیلابی (کیلومترمربع) (+)	۱/۰۰	۸۱/۶۹	۷/۴۶	۲۲۳/۷۱
	عرض متوسط دشت سیلابی (متر) (+)	۱/۰۰	۲۹۵/۲۹	۶۶/۰۷	۱۵۳/۴۰
	شیب متوسط (درصد) (+)	۱۳/۸۹	۳۶/۸۰	۲۲/۴۸	۲۵/۸۰
	تراکم جمعیت (نفربر کیلومترمربع) (+)	۱/۰۰	۱۴۴/۴۶	۳۴/۶۲	۷۸/۳۷
	میراث فرهنگی (تعداد) (+)	۰/۰۰	۷/۰۰	۰/۵۴	۲۶۳/۳۷
	فراوانی وقوع سیل (تعداد در سال) (+)	۰/۰۰	۸/۴۰	۱/۶۹	۱۲۰/۴۵
حساسیت	معکوس کاربری اراضی طبیعی (درصد) (-)	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۳	۶۱/۰۳
	درصد بی‌سوادی (درصد) (+)	۲۹/۸۰	۹۶/۹۶	۴۷/۸۲	۲۴/۱۷
	معکوس آگاهی یا آمادگی (درصد) (-)	۱/۲۷	۹/۰۹	۲/۹۵	۷۰/۰۰
	نرخ بیکاری (نسبت) (+)	۰/۶۸	۱/۰۰	۰/۷۸	۹/۰۴
تاب‌آوری	کیفیت مسکن (-)	۱/۰۰	۱۰۰۰/۰۰	۷۹/۰۲	۳۳۴/۴۶
	معکوس ظرفیت ذخیره‌سازی سد (میلیون مترمکعب) (-)	۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰	۵۳۸/۵۸	۹۲/۵۴
	معکوس خدمات اضطراری (درصد) (-)	۰/۶۰	۱۰۰۰/۰۰	۱۹۴/۸۰	۲۰۱/۷۲
	معکوس زیرساخت (درصد) (-)	۱/۲۵	۶/۲۵	۲/۳۵	۵۸/۳۴
	معکوس مبلغ سرمایه‌گذاری (ضرب‌در 10^{12} میلیون ریال) (-)	۰/۰۰	۱۰۰۰/۰۰	۵۷۶/۹۶	۸۵/۶۲

نتایج حاصل از وزن‌دهی به روش آنتروپی شانون در شکل (۳) ارائه شده است. در خصوص عامل در معرض قرارگیری، معیار بارش حداکثر ۲۴ ساعته و شیب متوسط با وزن ۰/۱۳ بالاترین و معیار میراث فرهنگی با وزن ۰/۰۸ کم‌ترین اهمیت را دارد. معیار کیفیت مسکن، کاربری اراضی طبیعی، درصد بی‌سوادی، آگاهی یا آمادگی و نرخ بیکاری با وزن یکسان ۰/۱۷ بالاترین و فراوانی وقوع سیل با ۰/۱۵ کم‌ترین اهمیت را در عامل حساسیت به خود اختصاص داده است. در عامل تاب‌آوری وزن معیارها بین ۰/۲۱ تا ۰/۳۰ برآورد شد و بیش‌ترین اهمیت با وزن ۰/۳۰ مربوط به معیار زیرساخت و کم‌ترین اهمیت مربوط به معیار مبلغ سرمایه‌گذاری با وزن ۰/۲۱ به‌دست آمد. هم‌چنین، عامل حساسیت با وزن ۰/۴۰ و تاب‌آوری با وزن ۰/۲۸ در آسیب‌پذیری سیل تأثیر دارند. در این راستا، Sajedi Hosseini و همکاران (۲۰۲۱) برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب معیارهای تراکم جمعیت، تراکم دام، درصد کشاورزان و دامداران، فاصله تا مناطق صنعتی و معدنی، فاصله تا مناطق گردشگری و میراث فرهنگی، کاربری اراضی، فاصله تا مناطق مسکونی، فاصله تا جاده و فاصله تا رودخانه را در نظر گرفتند. نتایج تحلیل وزن آن‌ها نشان داد که کاربری اراضی (۰/۲۰)، فاصله تا رودخانه (۰/۱۸) و تراکم جمعیت (۰/۱۸) بالاترین اهمیت را دارند. تحلیل وزن‌دهی در مطالعه خورشیدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز نشان داد که معیار مساحت بالاترین اهمیت را داشته و با وزن ۰/۴۴ بیش‌ترین تأثیر را در پتانسیل سیل‌خیزی دارد. هم‌چنین، Daneshparvar و همکاران (۲۰۲۲) ارتفاع و شیب را به‌عنوان مؤثرترین عوامل در ارزیابی خطر سیل در پایین‌دست سد سبلان گزارش کردند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]



شکل (۳): اولویت و وزن نسبی معیارهای موردبررسی در محاسبه عوامل در معرض قرارگیری، حساسیت و تاب‌آوری

پس از مشخص شدن وزن معیارها، روش ویکور برای برآورد هر یک از عوامل و آسیب‌پذیری سیل در حوزه‌های آبخیز اجرا و نتایج حاصل از آن برای بازنمایی بهتر در قالب جدول (۳) و شکل (۴) نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول (۳) و شکل (۴) ملاحظه می‌شود بر اساس روش ویکور حوزه‌های آبخیز مشیران، فیروزآباد و گیلانده (شماره‌های ۴، ۲۶ و ۲۲) به‌ترتیب با مقادیر ۰/۰۲، ۰/۰۸ و ۰/۱۹ دارای رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ از نظر عامل در معرض قرارگیری هستند. علت در معرض بودن حوزه آبخیز مشیران، مساحت بزرگ، دبی حداکثر لحظه‌ای سیلاب بالا، در حوزه آبخیز فیروزآباد و گیلانده عرض متوسط دشت سیلابی بیش‌تر است. هم‌چنین، در حوزه آبخیز گیلانده میراث فرهنگی بیش‌تری در معرض سیل قرار دارد. در بین حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه، حوزه‌های آبخیز هیر، باروق و لای (شماره‌های ۲۰، ۱۲ و ۸) به‌ترتیب با مقدار ۰/۰۰، ۰/۱۰ و ۰/۵۳ رتبه‌های اول، دوم و سوم را در عامل حساسیت دارند. حساسیت حوزه‌های آبخیز هیر و باروق به‌دلیل سطوح نامناسب کیفیت مسکن و حساسیت حوزه آبخیز لای به‌دلیل آگاهی و آمادگی کم و نرخ بیکاری بالا ارزیابی شد. با توجه به جدول (۳)، مشاهده شد که حوزه‌های آبخیز پل سلطانی، حاج‌احمدکندی و باروق (شماره‌های ۶، ۲ و ۱۲) به‌ترتیب رتبه‌های ۱ تا ۳ (بالاترین عامل تاب‌آوری) را دارند.

با مراجعه به جدول (۳) و شکل (۴) مشاهده می‌شود که دامنه شاخص ویکور برای آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز از ۰/۰۰ تا ۱/۰۰ متغیر است. نتایج بیان‌گر آن است که حوزه‌های آبخیز دوست بیگلو، مشیران و سامیان (شماره‌های ۳، ۴ و ۲۱) با مقادیر ۰/۰۰، ۰/۰۲ و ۰/۰۴ با رتبه‌های ۱، ۲ و ۳ بیش‌ترین آسیب‌پذیری ناشی از سیل را دارند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، از بین سه عامل مورد مطالعه، می‌توان به عامل در معرض قرارگیری و حساسیت به‌عنوان مهم‌ترین عامل با تأثیر منفی در افزایش آسیب‌پذیری و کاهش تاب‌آوری سیل در حوزه‌های آبخیز دوست‌بیگلو، مشیران و سامیان اشاره نمود. در مطالعات اخیر، تنوع مکانی شاخص آسیب‌پذیری سیل (FVI) بر اساس در نظر گرفتن پنج مؤلفه مختلف در حوزه‌های آبخیز استان اردبیل توسط Azizi et al. (2022) تأییدشده است. حوزه‌های آبخیز استان از نظر معیارها و مؤلفه‌های تأثیرگذار دارای شرایط متفاوت ارزیابی شدند. به‌عنوان نمونه، آسیب‌پذیری بالای حوزه آبخیز اکبرداود به حساسیت بالای شرایط فیزیکی-محیطی و اجتماعی نسبت داده شده است. درحالی‌که سطوح نامناسب مؤلفه‌های هیدرولوژیکی، فیزیکی- محیط زیستی و هم‌چنین سرمایه‌گذاری کم باعث آسیب‌پذیری بالا در حوزه آبخیز مشیران شده است. علاوه بر این، آسیب‌پذیری بالا در حوزه آبخیز سامیان عمدتاً ناشی از تأثیر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی،

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

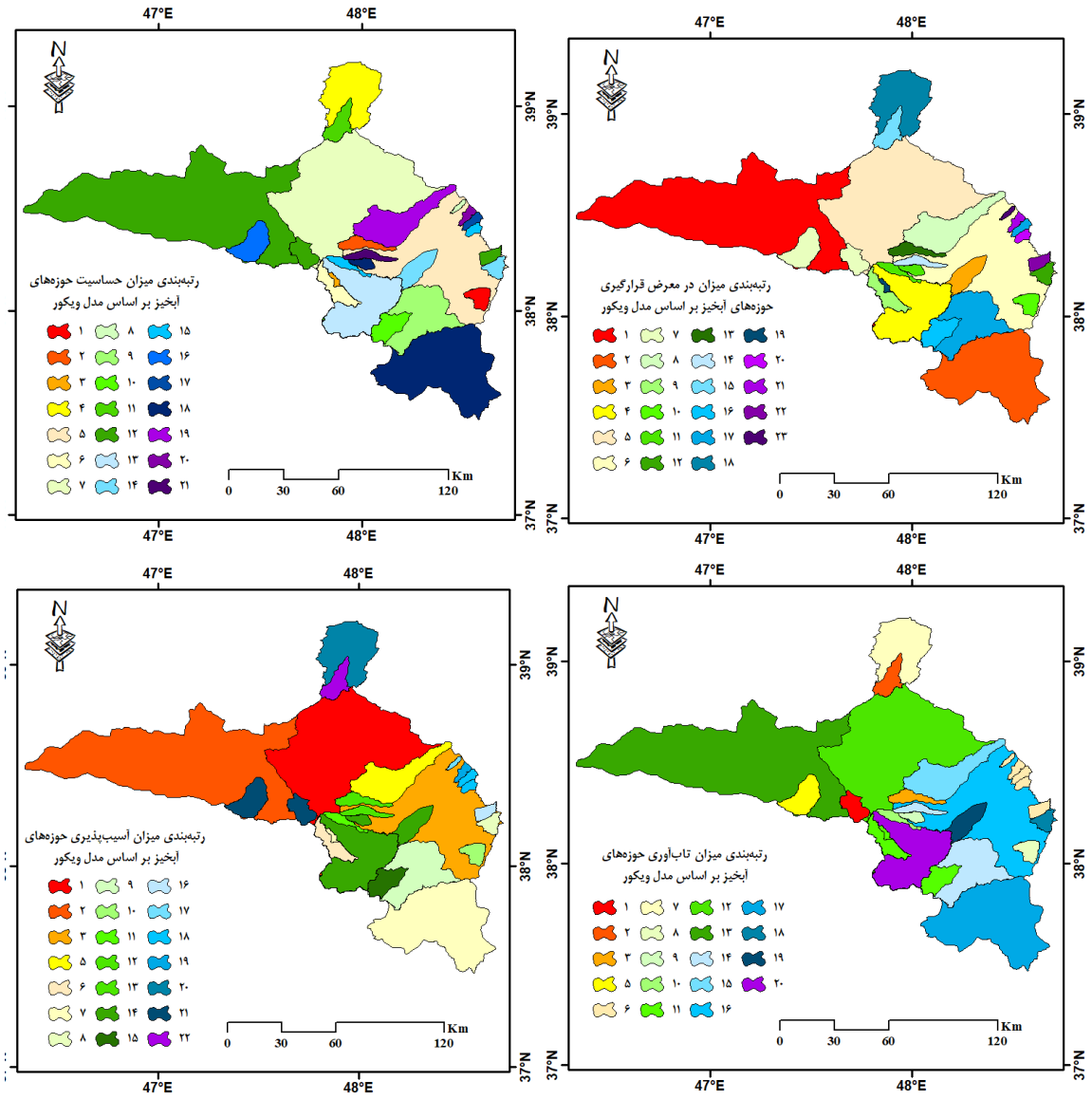
اجتماعی و سرمایه‌گذاری گزارش‌شده است. بنابراین، توسعه برنامه‌های کاهش سطح اثرگذاری مؤلفه‌های نامبرده در هر حوزه آبخیز مذکور می‌تواند FVI کل را کاهش دهد. در این راستا، Munyai و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از روش شاخص آسیب‌پذیری سیل بیان کردند که دلیل اصلی آسیب‌پذیری زیاد ناشی از سیل روستای هاموتشا-مورنگامونوه شهرداری مخادو، عدم تاب‌آوری این روستا در برابر سیل بوده است.

جدول (۳): نتایج حاصل از روش VIKOR در ارزیابی میزان در معرض قرارگیری، حساسیت، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری سیل حوزه‌های آبخیز استان اردبیل

حوزه آبخیز		عامل در معرض قرارگیری		عامل حساسیت		عامل تاب‌آوری		آسیب‌پذیری سیل	
شماره*	نام	شاخص Q	رتبه	شاخص QS	رتبه	شاخص QR	رتبه	شاخص QV	رتبه
۱	اکبر داود	۰/۶۹	۱۸	۰/۵۶	۴	۰/۴۹	۷	۰/۹۳	۲۰
۲	حاج احمدکندی	۰/۵۸	۱۵	۰/۸۰	۱۱	۰/۰۸	۲	۱/۰۰	۲۲
۳	دوست‌بیگلو	۰/۴۲	۵	۰/۶۵	۷	۰/۸۰	۱۲	۰/۰۰	۱
۴	مشیران	۰/۰۲	۱	۰/۸۳	۱۲	۰/۸۱	۱۳	۰/۰۲	۲
۵	اهل‌ایمان	۰/۴۵	۷	۰/۹۱	۱۶	۰/۴۱	۵	۰/۹۶	۲۱
۶	پل سلطانی	۰/۴۵	۷	۰/۸۳	۱۲	۰/۰۰	۱	۰/۹۶	۲۱
۷	نیر	۰/۴۸	۹	۰/۶۳	۶	۰/۶۸	۱۱	۰/۲۱	۶
۸	لای	۰/۷۴	۱۹	۰/۵۲	۳	۰/۶۸	۱۱	۰/۲۴	۷
۹	ویلادرق	۰/۵۰	۱۱	۰/۸۸	۱۵	۰/۶۵	۱۰	۰/۴۵	۱۱
۱۰	آتشگاه	۰/۵۰	۱۱	۰/۹۳	۱۸	۰/۶۲	۹	۰/۶۸	۱۴
۱۱	عموقین	۰/۵۷	۱۴	۰/۹۹	۲۱	۰/۲۱	۱۴	۰/۵۱	۱۳
۱۲	باروق	۰/۵۳	۱۳	۰/۱۱	۲	۰/۱۳	۳	۰/۴۶	۱۲
۱۳	ارباب‌کندی	۰/۴۶	۸	۰/۹۴	۱۹	۰/۸۳	۱۵	۰/۱۶	۵
۱۴	عنبران	۰/۹۶	۲۳	۰/۷۴	۸	۰/۴۵	۶	۰/۷۶	۱۷
۱۵	نمین	۰/۷۷	۲۱	۰/۹۸	۲۰	۰/۴۵	۶	۰/۷۹	۱۹
۱۶	سولا	۰/۶۶	۱۷	۰/۹۲	۱۷	۰/۴۵	۶	۰/۷۷	۱۸
۱۷	ننه‌کران	۰/۷۵	۲۰	۰/۸۸	۱۵	۰/۴۵	۶	۰/۷۷	۱۸
۱۸	آلادیزگه	۰/۷۹	۲۲	۰/۸۳	۱۲	۰/۴۵	۶	۰/۷۲	۱۶
۱۹	ایریل	۰/۵۱	۱۲	۰/۸۷	۱۴	۰/۸۸	۱۸	۰/۲۹	۸
۲۰	هیر	۰/۴۹	۱۰	۰/۰۰	۱	۰/۵۴	۸	۰/۴۳	۱۰
۲۱	سامیان	۰/۴۴	۶	۰/۵۹	۵	۰/۸۴	۱۶	۰/۰۴	۳
۲۲	گیلانده	۰/۱۹	۳	۰/۸۷	۱۴	۰/۹۴	۱۹	۰/۱۳	۱۴
۲۳	پل الماس	۰/۲۶	۴	۰/۸۶	۱۳	۰/۹۸	۲۰	۰/۱۳	۱۴
۲۴	شمس‌آباد	۰/۶۱	۱۶	۰/۷۷	۱۰	۰/۶۸	۱۱	۰/۷۱	۱۵
۲۵	کوزه‌تپراقی	۰/۶۶	۱۷	۰/۷۵	۹	۰/۸۲	۱۴	۰/۳۳	۹
۲۶	فیروزآباد	۰/۰۸	۲	۰/۹۳	۱۸	۰/۸۵	۱۷	۰/۲۴	۷

* نام مربوط به شماره حوزه‌های آبخیز در شکل (۱) ارائه شده است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]



شکل (۴): رتبه‌بندی عوامل در معرض قرارگیری، حساسیت، تاب‌آوری و آسیب‌پذیری سیل حوزه‌های آبخیز استان اردبیل بر اساس روش VIKOR

نتیجه‌گیری

هر ساله سطح وسیعی از کشور ایران تحت تأثیر طغیان جریان رودخانه و سیلاب قرار گرفته و در اثر آن آسیب‌پذیری زیادی تحمیل‌شده که خسارت جانی و مالی زیادی برجای می‌گذارد. این موضوع انسان را وا می‌دارد تا با به‌کارگیری روش‌های مختلف در مناطق دارای آسیب‌پذیری بالا و بحرانی، با افزایش تاب‌آوری و کاهش حساسیت و در معرض قرارگیری، میزان خسارت و به دنبال آن آسیب‌پذیری ناشی از سیل را تا حد زیادی مهار نماید. به همین دلیل در پژوهش حاضر از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند Shannon Entropy و VIKOR به ترتیب به‌منظور وزن‌دهی معیارهای ارزیابی سیل و رتبه‌بندی حوزه‌های آبخیز از لحاظ عوامل و آسیب‌پذیری سیل استفاده شد. نتایج وزن‌دهی معیارها نشان داد که از نظر عامل در معرض قرارگیری، معیارهای بارش حداکثر ۲۴ ساعته و شیب متوسط از بین نه معیار بیش‌ترین اهمیت رادارند. از نظر عامل حساسیت، همه معیارها به‌جز معیار فراوانی وقوع سیل و از نظر عامل تاب‌آوری، معیار زیرساخت بیش‌ترین اهمیت را به خود اختصاص داده‌اند. عامل حساسیت نسبت به در معرض قرارگیری و تاب‌آوری تأثیر بیش‌تری بر آسیب‌پذیری سیل نشان داد. هم‌چنین، نتایج حاصل از رتبه‌بندی روش VIKOR نشان داد که حوزه‌های

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

آبخیز مشیران، فیروزآباد و گیلانده به‌ترتیب بیش‌تر در معرض سیل قرار دارند. هم‌چنین ازلحاظ عامل حساسیت حوزه‌های آبخیز هیر، باروق و لای به ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم قرار گرفتند. نتایج رتبه‌بندی عامل تاب‌آوری نیز نشان داد که حوزه‌های آبخیز پل سلطانی، حاج‌احمدکندی و باروق با رتبه اول تا سوم از بین ۲۶ حوزه آبخیز مورد مطالعه تاب‌آوری بسیار زیادی در برابر سیل دارند. هم‌چنین، نتایج رتبه‌بندی آسیب‌پذیری حاکی از آن است که حوزه‌های آبخیز دوست بیگلو، مشیران و سامیان با رتبه‌های اول تا سوم بیش‌ترین آسیب‌پذیری سیل را دارند. دلیل آسیب‌پذیری حوزه‌های آبخیز دوست بیگلو و سامیان به حساسیت بالای این حوزه‌های آبخیز برمی‌گردد. علت اصلی آسیب‌پذیری حوزه آبخیز مشیران نیز تاب‌آوری پایین آن ارزیابی شد. بر همین اساس، نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بخش‌های مرکزی و غربی استان اردبیل دارای آسیب‌پذیری بالایی نسبت به سایر بخش‌های استان هستند. استفاده از نتایج پژوهش حاضر در راستای مدیریت و کاهش آسیب‌پذیری سیل حوزه‌های آبخیز استان به‌منظور صرفه‌جویی در زمان و هزینه، با توجه به اولویت‌بندی ارائه‌شده توصیه می‌شود.

منابع

۱. خدادادی، ف.، م. انتظاری و ف. ساسان‌پور (۱۳۹۷) تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفولوژیک (لغزش و سیل) استان البرز با استفاده از مدل‌های VIKOR-AHP و FR. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱ (۱): ۱۸۳-۱۹۹.

۲. خورشیدی، ش.، ن. رستمی و ا. صالح‌پوررحیم (۱۴۰۰) اولویت‌بندی پتانسیل سیل‌خیزی در حوزه‌های آبخیز فاقد آمار با کاربرد روش AHP-VIKOR (مطالعه موردی: حوزه آبخیز حاجی بختیار اسان ایلام). پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲ (۴۲): ۶۶-۹۲.

۳. حسینی، ی. (۱۴۰۰) بررسی حساسیت به رخداد سیل در آبخیز عموقین با کاربرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۴(۲): ۱۰۸- ۱۲۳.

۴. حاتمی نژاد، ح.، م. حاجیلو، ن. تابعی و ز. ولی‌زاده (۱۳۹۳) سطح‌بندی مناطق شهری مشهد بر اساس میزان برخورداری از خدمات شهری با استفاده از تکنیک ویکور. فضای جغرافیایی، ۱۷(۵۷): ۱-۱۷.

۵. حضرتی یادکوری، ز. و س.م.ح. حجتی (۱۳۹۵) اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز با استفاده از روش VIKOR. کنفرانس بین‌المللی نخبگان مدیریت، تهران، ایران.

۶. سجادی، ژ.، ر. کانونی، ا. خاوریان گرمسیر و ا. فیروزی (۱۳۹۵) سنجش توسعه‌یافتگی شهرستان‌های استان اردبیل در برخورداری از شاخص‌های کیفیت مسکن. برنامه‌ریزی منطقه‌ای، ۶ (۲۳): ۴۴- ۳۱.

۷. فرزانه سادات زارنجی، ژ. و م.ح. یزادانی (۱۴۰۱) بررسی وضعیت دسترسی به خدمات رفاه عمومی در نظام کاربری اراضی شهری (مطالعه موردی محلات اسکان غیررسمی شهر اردبیل). علوم محیط‌زیست، ۷(۲)؛ ۴۷۷۱-۴۷۷۸.

۸. محمودزاده، ح. و م. هریسچیان (۱۴۰۰) ارزیابی و سنجش تفاوت فضایی در میزان برخورداری از شاخص‌های تاب‌آوری (نمونه موردی: منطقه یک کلان‌شهر تبریز)، تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، ۲۱ (۶۰): ۱۰۶-۸۷.

۹. نظم‌فر، ح. و پاشازاده، ا. (۱۳۹۷) ارزیابی تاب‌آوری شهری در برابر مخاطرات طبیعی (مطالعه موردی: شهر اردبیل)، مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۸ (۲۷): ۱۱۶- ۱۰۱.

۱۰. نوحانی، ا.، ف. دارابی ا. معروفی‌نیا و خ.ب. خسروی (۱۳۹۵) ارزیابی مدل آنتروپی شانون در تهیه نقشه حساسیت و احتمال به وقوع سیل در حوزه آبخیز هراز. مخاطرات محیطی، ۵(۱۰): ۹۹-۱۱۶.

۱۱. نفرزادگان، ع.، ع. ا. محمدی‌فر، ح. وقارفرد و م. فروزان فرد (۱۳۹۸) ادغام مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و تکنیک تجزیه‌وتحلیل منطقه‌ای سیلاب جهت اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها برای کنترل سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دهبار خراسان. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸(۳۰): ۲۷-۴۵.

12. Abid S.K., Sulaiman N., Wei C.S. and Nazir U. (2021) *Flood vulnerability and resilience: Exploring the factors that influence flooding in Sarawak.* International Conference on Research Collaboration of Environmental Science, *802: 012059*.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

13. Azizi E., Mostafazadeh R., Hazbavi Z., Esmali Ouri A., Mirzaie S., Huang G. and Qian X. (2022) *Spatial distribution of flood vulnerability index in Ardabil province, Iran*. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, *1-21*.
14. Chan S.W., Abid S.K., Sulaiman N., Nazir U. and Azam K. (2022) *A systematic review of the flood vulnerability using geographic information system.* Heliyon, *8(3): e09075*.
15. Chuang M.T., Chen T.L. and Lin Z.H. (2020) *A review of resilient practice based upon flood vulnerability in New Taipei City, Taiwan.* International Journal of Disaster Risk Reduction, 46: doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101494.
16. Daneshparvar B., Nezami S.R., Feizi A. and Aghlmand R. (2022) *Comparison of results of flood hazard zoning using AHP and ANP methods in GIS environment: A case study in Ardabil province, Iran.* Journal of Applied Research in Water and Wastewater, *9 (1): 1-7.*
17. Ekmekcioğlu Ö., Koc K. and Özger M. (2022) *Towards flood risk mapping based on multi-tiered decision making in a densely urbanized metropolitan city of Istanbul*. Sustainable Cities and Society, *80: 103759.*
18. Luu C., Tran H.X., Pham B.T., Al-Ansari N., Tran T.Q., Duong N.Q., Dao N.H., Nguyen L.P., Nguyen H.D., Thu Ta H., Van Le H. and Meding J.V. (2020). *Framework of spatial flood risk assessment for a case study in Quang Binh Province, Vietnam*. Sustainability, 17(7): doi.org/10.3390/su12073058.
19. Lee G., Jun K.S. and Cung E.S. (2014) *Group decision-making approach for flood vulnerability identification using the fuzzy VIKOR method.* Natural. Hazards Earth System Science, *21(3): 6141–6171*.
20. Munyai R.B., Musyoki A. and Nethengwe N.S. (2019) *An assessment of flood vulnerability and adaptation: a case study of Hamutsha-Muungamunwe village, Makhado Municipality*. Journal of Disaster Risk Studies, *11(2):1-8.*
21. Opricovic S. and Tzeng GH. (2007) *Extended VIKOR method in comparison with outranking methods.* European journal of operational research. *178(2): 514-29.*
22. Roozbahani A., Ghased H. and Hashemy Shahedany M. (2020) *Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAS techniques: A case study in Iranian Central Plateau*. Science of the Total Environment, 726(15): doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138499.
23. Sa'diyah H. and Buchori I. (2020), *Sensitivity index of flood and tidal flood in Pekalongan City and Regency*. The 5th International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS 2020), August 12th - 13th, 2020, E3S Web of Conferences. Vol. 202, 6 p.
24. Satour N., Raji O., Moçayd N.E., Kacimi I. and Kassou N. (2021) *Spatialized flood resilience measurement in rapidly urbanized coastal areas with a complex semi-arid environment in northern Morocco*. Natural Hazards Earth System Science, *21: 1101–1118.*
25. Sajedi Hosseini F., Khalighi Sigaroodi Sh., Salajegheh A., Moghaddamnia A. and Choubin B. (2021) *Towards a flood vulnerability assessment of watershed using integration of decision making trial and evaluation laboratory, analytical network process, and fuzzy theories*. Research Square, https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-276992/v1.
26. Walker G. and Burningham K. (2011) *Flood risk, vulnerability and environmental justice: evidence and evaluation of inequality in a UK context.* Critical Social Policy, *31(2):216–240.*
27. Yufeng S. and Fengxiang J. (2009) *Landslide stability analysis based on generalized information entropy*. International Conference on Environmental Science and Information Application Technology: *83–85.*

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]

Screening watersheds of Ardabil province concerning flood vulnerability

Elham Azizi[1], Raoof Mostafazadeh[2], Zeinab Hazbavi[*3], Abazar Esmali Ouri[4], Shahnaz Mirzaie[5]

1. Former M.Sc. Student, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2. Associate Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
3. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran[1]
4. Professor, Department of Natural Resources, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Water Management Research Center, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
5. Watershed Management Department, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: 2022/08
Accepted: 2022/11

Abstract

In recent years, the world has faced many challenges. Among the natural phenomena, the flood effect has attracted a lot of attention due to its adverse effects. More than half of the destruction and damage caused by global flooding occurs in the Asian continent, which causes loss of life, damage to infrastructure, and creates conditions of panic in communities. Increasing resilience is critical for urban systems to cope with and minimize the risks of flooding. This issue is certainly more important in Iran because the increase in the frequency of floods is a significant concern for many regions of this country. In Iran, despite the existence of much research, this issue has not yet been fully covered by the scientific community. Therefore, the current research is planned with the aim of measuring flood vulnerability in the 26 watersheds of Ardabil Province based on 19 criteria and three different factors. To calculate the criteria, the meteorological and hydrological data, shape files, accessible GIS maps, statistical yearbooks, and previous studies were used as well. In addition, Shannon's entropy was used for criteria weighting and the VIKOR method was used for watershed ranking based on the exposure, sensitivity, resilience, and flood vulnerability. The results showed that Mashiran, Firozabad, and Gilandeh watersheds in terms of exposure factor, and Hir, Barogh, and Lai watersheds in terms of sensitivity factor had the highest ranks. Moreover, in terms of resilience factor, Polesoltani, Hajahmedkandi, and Barogh watersheds are highly resilient against floods respectively with ranks of 1 to 3. The results of flood vulnerability ranking also showed that Doost Bigloo, Mashiran, and Samian watersheds are the most vulnerable with ranks 1, 2, and 3.

Keyword: Resource degradation, Spatial changes, Unhealthy watershed, Environmental factors, Human pressure

-* Corresponding Author: z.hazbavi@uma.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-11-15]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1401.10.2.2.3]