

رتبه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب دشت اردبیل با استفاده از روش ترکیبی BWM و TOPSIS

اباذر اسمعلی عوری^{۱*}، پریسا فرضی^۲ و سپیده چوبه^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۳)

چکیده

انجام برنامه‌ریزی و فراهم آوردن ابزارهای مناسب برای کاهش اثرات نامطلوب مخاطرات طبیعی از جمله سیل، اجتناب‌ناپذیر است. دستیابی به هدف فوق وابسته به وجود آگاهی و اطلاعات کافی و دقیق درباره آسیب‌پذیری بوم‌سازگان‌های مختلف (آبخیزها) نسبت به عوامل مخرب گوناگون است. ارزیابی آسیب‌پذیری از طریق شناسایی تنش‌ها و آشفتگی‌های بالقوه (طبیعی و انسان‌پدید) و نیز برآورد درجه حساسیت آبخیزها، امکان پیش‌بینی اثرات و انتخاب راه‌کارهای مناسب را برای مدیریت پایدار این بوم‌سازگان‌ها فراهم می‌آورد. از این‌رو، این پژوهش با هدف شناسایی و رتبه‌بندی زیرحوضه‌های آسیب‌پذیر در مقابل سیلاب در دشت اردبیل با در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و بوم‌شناختی طرح‌ریزی شده است. برای این منظور ابتدا شاخص‌ها و معیارهای هر بُعد با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر دشت اردبیل شناسایی شده، سپس اطلاعات و داده‌های اقلیمی، هیدرولوژیکی، جمعیتی، اقتصادی و زیرساختی و کاربری اراضی از مراجع ذی‌ربط اخذ شد. در ادامه معیارهای مذکور استاندارد شده و وزن متناسب با اهمیت آنها بر اساس روش BWM محاسبه و داده‌های حاصل از این مرحله با استفاده از تکنیک TOPSIS، برای رتبه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب برای زیرحوضه‌های مختلف موجود در دشت اردبیل و برای دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ انجام شد. در نهایت نقشه آسیب‌پذیری دشت اردبیل در مقابل سیلاب تهیه و ارائه شد. طبق نتایج، معیارهای تراکم ساختمان، بارش، تراکم جمعیت و نرخ بیکاری از مهم‌ترین معیارهای آسیب‌پذیری بود و در میان ابعاد مورد بررسی، بُعد زیرساختی دارای اهمیت زیادی در آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب در دشت اردبیل است. بر اساس نقشه جامع آسیب‌پذیری نیز زیرحوضه ۷ در دشت اردبیل، آسیب‌پذیرترین زیرحوضه منطقه مورد مطالعه شناسایی شد.

واژه‌های کلیدی: انعطاف‌پذیری، دشت اردبیل، شاخص ترکیبی، نقشه مدیریت سیل، وزندهی بهترین بدترین

۱. گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

۳. گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: esmailiouri@uma.ac.ir

مقدمه

سیلاب از معمول‌ترین و خسارت‌بارترین مخاطرات طبیعی است که جهان امروز با آن مواجه است. این مخاطره بیش از هر پدیده هیدرواقلمی دیگری خسارت و تخریب به بار می‌آورد (۱۹). سیلاب‌ها، زندگی هزاران نفر را می‌گیرند و میلیاردها تومان خسارت به اموال انسان وارد می‌کنند؛ در مقایسه با سایر بلایای طبیعی، حدود ۲۰ درصد از مرگ و میرها و ۳۳ درصد از خسارت‌های اقتصاد جهانی را مخاطره سیلاب سبب می‌شود (۵). از طرفی آنچه سبب تغییر یک پدیده طبیعی به مخاطره می‌شود، آسیب‌پذیری انسان و جوامع انسانی در برابر این مخاطره است (۲۰). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تغییرات آب و هوایی به احتمال زیاد موجب افزایش تغییر چرخه هیدرولوژیکی می‌شود و احتمال وقوع حوادث شدید آب و هوایی مانند خشکسالی و سیل را افزایش می‌دهد (۴). همچنین گسترش ساخت و سازهای شهری با افزایش سطوح با نفوذپذیری کم و یا غیرقابل نفوذ، تغییر کاربری اراضی طبیعی و تغییر مسیرهای جریان، موجب افزایش سیل در دهه‌های اخیر شده است (۱، ۷، ۸ و ۱۰). این درحالی است که دست‌اندازی در محیط‌های طبیعی، حضور ساختارهای متعدد و نبود مقررات مناسب برای محافظت از این محیط‌ها، شرایط رویداد سیلاب را بیش از پیش فراهم می‌آورد که افزایش آسیب‌پذیری جوامع را در برابر سیلاب‌ها در پی دارد. آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب متغیر و پیچیده است. در این راستا، ضریب آسیب‌پذیری مناطق به لحاظ پارامترهای سنجیده شده با یکدیگر متفاوتند که این مطلب بیانگر این واقعیت است که آسیب‌پذیری تحت تأثیر عوامل متعدد، از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت است و تابعی از شرایط مکان و زمان است. در حال حاضر بیش از ۲۵ تعریف و روش متفاوت در زمینه آسیب‌پذیری موجود است (۶). در این میان یکی از شناخته‌شده‌ترین تعاریف، از سوی سازمان ملل و در قالب استراتژی بین‌المللی برای کاهش بلایا مطرح شده است که بر مبنای آن، آسیب‌پذیری شرایطی است که توسط عوامل یا

فرایندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیط‌زیستی تعیین می‌شود و سطح آمادگی جوامع را در مقابل اثرات و پیامدهای ناشی از بلایا نشان می‌دهد (۲۲).

از آنجایی که جمع‌آوری و دفع رواناب‌های ناشی از بارندگی در مسیل رودخانه در واقع نوعی اقدامات ایمنی، بهداشتی و رفاهی تلقی می‌شود (۱۶)، تجارب مطالعاتی و مدیریتی کشورهای مختلف نشان می‌دهد که اولین گام در جهت کاهش آثار زیانبار سیل، شناخت مناطق سیل‌گیر و آسیب‌پذیر و پهنه‌بندی این مناطق از لحاظ میزان خطر سیل‌گیری است تا بتوان بر اساس نتایج به‌دست آمده با مدیریت یکپارچه و برنامه‌ریزی جامع مانع از آثار زیانبار سیلاب تا حد ممکن شد (۲). همچنین به‌علت پیچیدگی آبخیزها پرداختن به تمامی مؤلفه‌های آسیب‌پذیری آبخیز امری دشوار است، بنابراین تصمیم‌گیری در مقیاس آبخیز یکی از مسائل بسیار مهم در مدیریت نوین است. در این موارد تصمیم‌گیرنده با گزینه‌های متفاوت تحت معیارهای مختلفی که از محیط داخلی یا خارجی سیستم متأثر می‌شوند روبه‌رو است، بنابراین تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌عنوان یکی از ابزارهای مؤثر برای گرفتن تصمیم، مناسب به‌نظر می‌رسد. در این رابطه، قهرودی و همکاران (۱۳۹۶) آسیب‌پذیری تأسیسات آب و فاضلاب منطقه یک آبفای تهران را با استفاده از روش FUZZY-AHP برای وزن‌دهی شاخص‌ها و مدل TOPSIS برای اولویت‌بندی آنها ارزیابی کردند. نتایج مطالعات نشان داد شاخص‌های تراکم مراکز خطر (ایستگاه گاز و خطوط انتقال نیرو)، بافت فرسوده، شیب، تراکم نسبی جمعیت، شرایط تأسیسات (از لحاظ قطر و عمق کار گذاشتن) و وجود مسیل‌های شمال تهران که مانع دفن تأسیسات در عمق زیاد به‌منظور محافظت و امنیت بیشتر است در افزایش آسیب‌پذیری دخیل‌اند (۱۳). فدیول و همکاران (۲۰۲۰)، آسیب‌پذیری سیلاب حوضه ماروس رجنسی (Maros Regency) را با استفاده از روش چند معیار مکانی (SMCE) بررسی کردند. بدین منظور با استفاده از شش عامل فیزیکی شامل شدت بارندگی، شیب، ارتفاع، فاصله از رودخانه‌ها، کاربری اراضی و نوع خاک به تجزیه و تحلیل مکانی

دشت اردبیل متشکل از ۸۸ واحد روستایی، ده واحد دهستان و ۲ واحد شهری (اردبیل و آبی‌بیگلو) است. در پژوهش حاضر به منظور بررسی آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل در دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵، منطقه برحسب مساحت و تراکم جمعیت و همچنین عوامل توپوگرافی، خاک و کاربری حوضه به ۱۲ زیرحوضه تقسیم شده و بررسی و تحلیل ابعاد و معیارها بر اساس روش‌های تعیین شده در مقیاس زیرحوضه صورت گرفت. موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل ۱، ارائه شده است.

شناسایی و انتخاب معیارهایی دقیق، قوی و مرتبط با آسیب‌پذیری

در این پژوهش رتبه‌بندی آسیب‌پذیری در مقابل سیلاب در چهار بُعد اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و بوم‌شناختی مؤثر در آن برای دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ در دشت اردبیل بررسی شد. برای این منظور، پس از بررسی سوابق و مطالعه منابع و تجارب علمی معتبر در زمینه متغیرهای مؤثر در ابعاد مختلف آسیب‌پذیری جوامع در مقابل سیلاب و همچنین با شناختی نسبی از منطقه مورد مطالعه، اقدام به انتخاب یک سری معیارها در چهار بُعد مورد بررسی در این پژوهش شد که در جدول ۱ ارائه شده است.

استانداردسازی داده‌ها

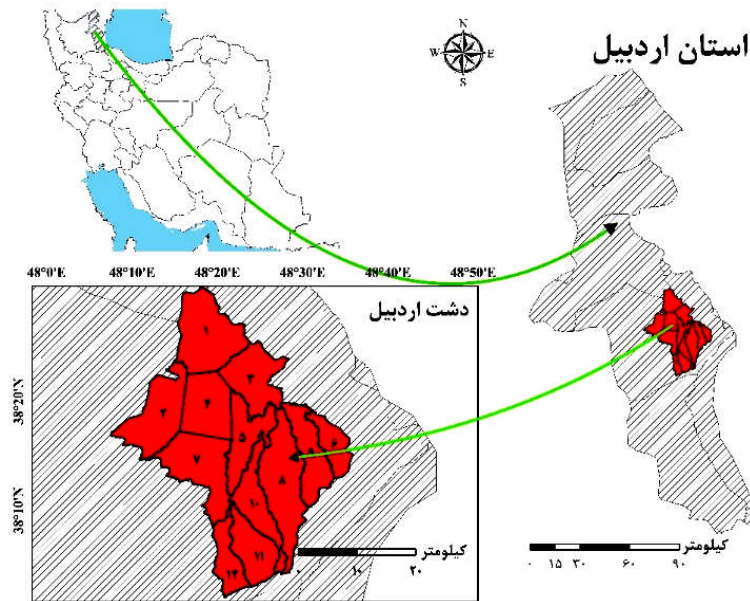
در این مرحله به منظور حذف بزرگی اثر متغیرهای منتخب و مورد استفاده در رتبه‌بندی آسیب‌پذیری دشت اردبیل و نیز تبدیل مقادیر کمی به مقادیر بدون بُعد، داده‌های ورودی به نحوی استاندارد می‌شوند که دارای میانگین صفر و انحراف معیار یک باشند. در این مطالعه نظر به برخورداری متغیرهای مطالعاتی از مفاهیم و اثرات مثبت و منفی مختلف بر آسیب‌پذیری آبخیز در ابعاد مختلف مورد مطالعه، استانداردسازی متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲ به ترتیب برای متغیرهای دارای اثر مثبت و منفی بر آسیب‌پذیری سیلاب صورت پذیرفت (۱۷ و ۲۴).

در محیط GIS پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که مناطقی که در بخش‌های فرعی کامبا (Camba) قرار دارند آسیب‌پذیری بالایی دارند. ۴۳۶ هکتار (۸۴ درصد) از منطقه با آسیب‌پذیری زیاد و ۶/۱۶۸ هکتار (۱۱/۸ درصد) آسیب‌پذیری خیلی زیادی دارند (۱۱).

با توجه به مطالعات داخلی و خارجی انجام شده، با اینکه تحقیقات محدودی در ارتباط با شناسایی دقیق شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی-زیرساختی و بوم‌شناختی در ارتباط با آسیب‌پذیری سیلاب در مقیاس حوضه آبخیز در داخل کشور انجام شده، اما در ارتباط با آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های شهری و انسان‌ساخت مطالعات گسترده‌ای صورت گرفته که از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر آسیب‌پذیری سیلاب می‌توان به تراکم مراکز خطر، بافت فرسوده، شیب، تراکم نسبی جمعیت، شرایط تأسیسات، تغییر کاربری، افزایش سطوح نفوذناپذیر و ... اشاره کرد، بنابراین تحقیق حاضر در نظر دارد به بررسی و شناسایی معیارهای مناسب اجتماعی، اقتصادی، زیرساختی و اکولوژیکی مؤثر در آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل در مقیاس حوضه آبخیز و در دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ بپردازد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، دشت اردبیل که یک دشت میان کوهی (میان کوه‌های سبلان، بزغوش و تالش) است در ناحیه شمال غرب ایران و شرق فلات آذربایجان بین عرض‌های شمالی "۱۵° ۰۲' ۳۸" تا "۰۰° ۳۱' ۳۸" و طول شرقی "۴۵° ۰۸' ۴۸" تا "۳۷° ۳۰' ۴۸" با مساحتی بالغ بر ۱۰۹۷/۲۳ کیلومتر مربع واقع شده است. محدوده از نظر تقسیم کشوری به استان اردبیل تعلق دارد (شکل ۱). ارتفاع متوسط دشت در مناطق کوهستانی ۳۱۵۰ متر و در دشت ۱۴۰۰ متر از سطح دریاها آزاد است و بزرگ‌ترین دشت حاصلخیز حوضه آبخیز رود قره‌سو به‌شمار می‌رود که با داشتن منابع آب زیرزمینی غنی و خاک مرغوب، در نیم‌قرن اخیر همواره مورد توجه بوده و محل مناسبی برای تأمین آب شرب و کشاورزی بوده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی دشت اردبیل در استان اردبیل

جدول ۱. ابعاد و معیارهای مورد بررسی برای تحلیل آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل

معیارهای مورد بررسی	بُعد
تراکم جمعیت، تراکم جمعیت آسیب‌پذیر، برابری تحصیلی، بیمه سیل	اجتماعی
نرخ بیکاری، مالکیت خانه، سطح اراضی کشاورزی، سطح اراضی باغی	اقتصادی
تراکم ساختمان، تراکم معابر (سطوح نفوذناپذیر)، دسترسی به مراکز بهداشت و درمان، دسترسی به سیستم حمل و نقل	زیرساختی
بارش، شیب، ارتفاع، نوع خاک، کاربری اراضی، خصوصیات شبکه زهکشی	بوم‌شناختی

به‌عنوان روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ارائه شد. در اواخر سال ۲۰۱۵ مقاله دیگری از سوی ایشان ارائه شد و معادلات مربوط به این روش را به‌صورت ساده‌تر و خطی ارائه کردند. براساس روش بهترین بدترین (BWM)، بهترین و بدترین شاخص توسط تصمیم‌گیرنده مشخص می‌شود و مقایسه زوجی بین هر یک از این دو شاخص بهترین و بدترین و دیگر شاخص‌ها صورت می‌گیرد، سپس یک مسئله حداکثر-حداقل برای مشخص کردن وزن شاخص‌های مختلف فرموله و حل می‌شود، همچنین در این روش فرمولی برای محاسبه نرخ ناسازگاری به‌منظور بررسی اعتبار مقایسات در نظر گرفته شده است. از جمله ویژگی‌های برجسته این

$$C_s = \frac{C_i - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} \quad (1)$$

$$C_s = \frac{C_{\max} - C_i}{C_{\max} - C_{\min}} \quad (2)$$

در این رابطه‌ها، C_i ، C_s و C_{\max} و C_{\min} به ترتیب بیانگر مقدارهای استاندارد شده، واقعی، حداقل و حداکثر متغیرهای مورد نظر هستند.

وزن‌دهی معیارهای مختلف با استفاده از روش

بهترین - بدترین (Best-Worst Method (BWM

روش تحلیل بهترین - بدترین ابتدا توسط رضایی (۲۱)

مسئله بالا می‌تواند به مسئله ذیل تبدیل شود:

$$\begin{aligned} & \min e \\ & \text{S.t} \\ & \left| \frac{W_B}{W_j} - A_{Bj} \right| \leq e \\ & \left| \frac{W_j}{W_w} - A_{jW} \right| \leq e \\ & \sum_j W_j = 1 \\ & W_j \geq 0 \text{ .for all } j \end{aligned} \quad (9)$$

با حل مسئله فوق، اوزان بهینه (W_1, W_2, \dots, W_n) و e به دست می‌آیند.

۶- نسبت ناسازگاری

مقایسه زمانی به صورت کامل سازگار است که رابطه ذیل برای تمامی j ها برقرار باشد:

$$A_{Bj} \times A_{jW} = A_{BW} \quad (10)$$

که در آن A_{BW}, A_{jW}, A_{Bj} به ترتیب اولویت‌های بهترین معیار نسبت به معیار، j اولویت معیار j به بدترین معیار و اولویت بهترین معیار نسبت به بدترین معیار خواهند بود. از آنجایی که $A_{Bj} \times A_{jW} = A_{BW}$ و $A_{BW} \in (1, 2, 3, \dots, 9)$ است، می‌توان حداکثر مقدار e را محاسبه کرد. با استفاده از شاخص سازگاری ارائه شده در جدول ۲ مقدار نرخ سازگاری محاسبه می‌شود. این نرخ سازگاری در بازه $(0$ و $1)$ قرار می‌گیرد و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد مقایسه‌ها از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردار و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات کمتری برخوردارند (21) :

$$\frac{e}{\text{نرخ ناسازگاری}} = \text{ضریب ناسازگاری} \quad (11)$$

رتبه‌بندی آسیب‌پذیری با استفاده از روش TOPSIS

هدف از این مرحله مقایسه و رتبه‌بندی زیرحوضه‌های مختلف دشت اردبیل بر اساس سطح آسیب‌پذیری آنهاست. TOPSIS به دلیل سادگی و توانایی در نظر گرفتن تعداد نامحدودی از گزینه‌ها

روش نسبت به روش‌های دیگر تصمیم‌گیری چند شاخصه نیاز کم به داده‌ها و جواب‌های قابل اطمینان‌تر است (21) . شکل ۲ اختلاف بین بهترین و بدترین معیار را نشان می‌دهد. در این روش بعد از غربال اولیه، معیارها برای نمره‌دهی به آنها در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد و بعد از اتمام، به روش BWM وزن‌دهی می‌شوند.

مراحل اجرای این روش به این ترتیب است:

۱- مشخص کردن مجموعه‌ای از معیارهای تصمیم‌گیری

$$C_n = \{C_1, C_2, \dots, C_n\} \quad (3)$$

۲- مشخص کردن بهترین و بدترین معیار

$$C_{BW} = \{C_B, C_W\} \quad (4)$$

۳- ارجحیت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها با استفاده از اعداد ۱ تا ۹

$$A_B = \{A_{1B}, A_{2B}, \dots, A_{nB}\} \quad (5)$$

۴- ارجحیت تمامی معیارها نسبت به بدترین معیار با استفاده از اعداد ۱ تا ۹

$$A_W = \{A_{1W}, A_{2W}, \dots, A_{nW}\} \quad (6)$$

۵- یافتن وزن بهینه

وزن بهینه برای معیارها، وزنی است که در آن، برای هر زوج رابطه ذیل برقرار باشد:

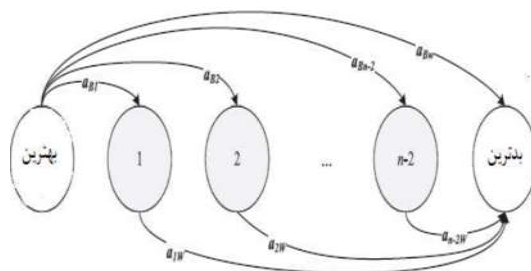
$$\frac{W_j}{W_w} = A_{jW} \cdot \frac{W_B}{W_j} = A_{Bj} \quad (7)$$

برای برقراری این شرایط برای تمامی j ها، باید راه حلی را بیابیم که در آن حداکثر تفاوت‌های مطلق یعنی

$$\left| \frac{W_j}{W_w} - A_{jW} \right| \cdot \left| \frac{W_B}{W_j} - A_{Bj} \right|$$

با در نظر گرفتن منفی نبودن مقادیر و شرایط جمع اوزان، مسئله ذیل حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned} & \min \max \left\{ \left| \frac{W_B}{W_j} - A_{Bj} \right|, \left| \frac{W_j}{W_w} - A_{jW} \right| \right\} \\ & \text{s.t} \\ & \sum_j W_j = 1 \\ & W_j \geq 0 \text{ .for all } j \end{aligned} \quad (8)$$



شکل ۲. اختلاف بین بهترین و بدترین معیار

جدول ۲. محاسبه ضریب ناسازگاری

A_{BW}	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
ضریب ناسازگاری	۰/۰۰	۰/۴۴	۱/۰۰	۱/۶۳	۲/۳۰	۳/۰۰	۳/۷۳	۴/۴۷	۵/۲۳

LINGO 12 برای وزن‌دهی ابعاد و معیارهای مورد بررسی و نرم‌افزار BT Topsis Solver برای رتبه‌بندی آسیب‌پذیری دشت اردبیل در برابر سیلاب برحسب خروجی وزن‌های داده شده در روش BWM استفاده شد و در نهایت نرم‌افزار ArcGIS 10.6 به منظور تهیه نقشه آسیب‌پذیری جامع دشت اردبیل در برابر سیلاب برای دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ به کار گرفته شد.

نتایج

معیارهای استخراج شده اولیه

در این مرحله ابعاد اصلی و معیارهای مهم و مؤثر هر بُعد بر ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب از طریق مطالعات کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه شناسایی شدند و با بررسی مطالعات متعدد صورت گرفته در زمینه آسیب‌پذیری سیلاب در نهایت چهار بُعد اصلی و ۱۶ معیار فرعی انتخاب شدند که در جدول ۳ هر کدام از ابعاد و معیارهای آن همراه با توصیف مربوط به هر معیار ارائه شده است.

امتیازبندی معیارهای نهایی و وزن‌دهی آنها

در این مرحله از پژوهش ابعاد و معیارهای غربال شده، با توجه به سازوکار موجود در روش BWM نسبت به هم امتیازدهی شده و امتیازات کسب شده برای اتمام وزن‌دهی هر کدام از ابعاد مورد

و معیارها، تکنیکی است که به‌طور گسترده برای فرایندهای تصمیم‌گیری چندمعیاری کاربرد دارد. این روش بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی کمترین فاصله را با ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با ایده‌آل منفی دارد. فرض بر این است که مطلوبیت هر معیار به‌طور یکنواخت افزایش یا کاهش می‌یابد، که گزینه ایده‌آل مثبت (+A) و ایده‌آل منفی (-A) است؛ سپس با استفاده از روش اقلیدسی اندازه‌گیری فاصله گزینه نام با ایده‌آل‌ها محاسبه می‌شود. به این ترتیب که نزدیکی نسبی A_i به راه‌حل ایده‌آل ابتدا محاسبه و سپس بر اساس ترتیب نزولی CL_i گزینه‌های موجود رتبه‌بندی می‌شوند (۳ و ۱۸).

تهیه نقشه آسیب‌پذیری

در نهایت نتایج حاصل از مرحله قبل به صورت یک نقشه بر پایه چگونگی توزیع اعداد در یک هیستوگرام فراوانی و در مقیاس زیرآبخیز طبقه‌بندی شدند؛ هر طبقه با توجه به دامنه اعداد در پنج رده با آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفت.

نرم‌افزارهای مورد استفاده

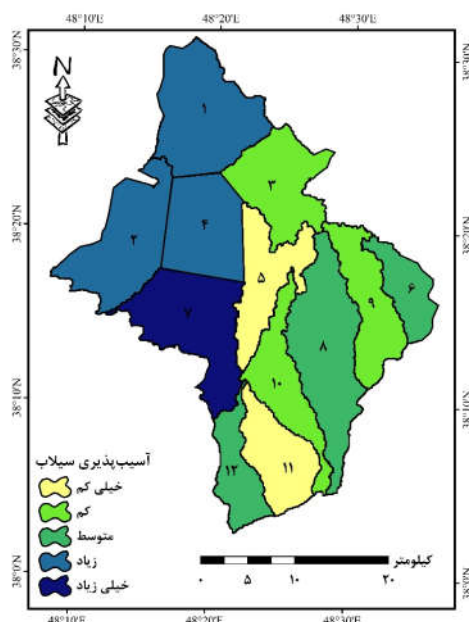
در این پژوهش به منظور پیش‌برد اهداف و فرضیه‌های تحقیق برای انجام تجزیه و تحلیل آماری و استانداردسازی داده‌ها از نرم‌افزار Excel 2016 و SPSS 22 استفاده شد. در گام بعد، نرم‌افزار

جدول ۳. ابعاد و معیارهای منتخب برای ارزیابی آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل

ابعاد	معیارها	توصیف	تأثیر بر آسیب‌پذیری	منابع
بعد اکولوژیکی	شیب	متوسط شیب حوضه	منفی	Vignesh et al. 2020 (۲۳)
	مساحت	مساحت کاربری اراضی در هر زیرحوضه	مثبت	Fadhil et al. 2020 (۱۱)
	تراکم زهکشی	طول کل شبکه هیدروگرافی هر زیرحوضه به مساحت هر زیرحوضه	مثبت	Bates et al. 2008 (۴)
	ارتفاع	متوسط ارتفاع هر زیرحوضه	منفی	Vignesh et al. 2020 (۲۳)
	بارندگی	متوسط بارندگی ماهانه هر زیرحوضه	منفی	Zelenakova et al. 2018 (۲۴)
بعد اجتماعی	تراکم جمعیت	تعداد جمعیت زیرحوضه به مساحت زیرحوضه	منفی	Norouzi et al. 2013 (۲۰)
	تراکم جمعیت آسیب‌پذیر	تعداد جمعیت زیر ۱۰ سال و بالای ۶۰ سال در هر زیرحوضه به مساحت آن	منفی	Norouzi et al. 2013 (۲۰)
	برابری تحصیلی	[جمعیت بی سواد + جمعیت تحصیل کرده] / جمعیت بی سواد - جمعیت تحصیل کرده) - ۱۰۰]	مثبت	Moghadas et al. 2018 (۱۸)
	بیمه سیل	وجود یا عدم وجود بیمه سیل برای هر خانوار در هر زیرحوضه	مثبت	Ghahroudi et al. 2018 (۱۴)
بعد اقتصادی	نرخ بیکاری	تعداد افراد بیکار در هر زیرحوضه	منفی	Cutter et al. 2010 (۹)
	سطح اراضی کشاورزی	مساحت اراضی کشاورزی در هر زیرحوضه	مثبت	Bates et al. 2008 (۴)
	سطح اراضی باغی	مساحت اراضی باغی در هر زیرحوضه	مثبت	Bates et al. 2008 (۴)
بعد زیرساختی	تراکم ساختمان	تعداد هر روستا در زیرحوضه به مساحت هر زیرحوضه	منفی	Ghahroudi et al. 2018 (۱۴)
	تراکم معابر	مساحت جاده‌ها در زیرحوضه به مساحت هر زیرحوضه	منفی	Moghadas et al. 2018 (۱۸)
	دسترسی به مراکز درمانی	دسترسی یا عدم دسترسی به مراکز بهداشت و درمان	مثبت	Cutter et al. 2010 (۹)
	دسترسی به سیستم حمل و نقل	دسترسی یا عدم دسترسی به سیستم حمل و نقل عمومی	مثبت	Moghadas et al. 2018 (۱۸)

بخش مواد و روش‌ها، ابتدا اقدام به مشخص کردن بهترین و بدترین معیار شد و سپس ارجحیت بهترین و بدترین معیار نسبت به سایر معیارها بین اعداد ۱ تا ۹ امتیازدهی شد. سپس به هر کدام از معیارها با توجه به امتیازات داده شده در مرحله قبل در نرم‌افزار Lingo 12 وزن بهینه تعیین شد. در نهایت نسبت ناسازگاری برای آن محاسبه شد. این نرخ سازگاری در بازه (۰ و ۱) قرار می‌گیرد و

مطالعه و معیارهای مربوط به آنها وارد نرم‌افزار Lingo 12 شدند. با توجه به هدف پژوهش داده‌های معیارهای مورد ارزیابی در چهار بُعد اجتماعی، اقتصادی، بوم‌شناختی و زیرساختی برای ۱۲ زیرحوضه موجود در دشت اردبیل استخراج و نهایی و سپس استانداردسازی شدند. همچنین معیارهای در نظر گرفته شده برای این بُعد (شکل ۳) طبق مراحل عنوان شده برای روش BWM در



شکل ۳. نقشه آسیب‌پذیری جامع سیلاب دشت اردبیل (رنگی در نسخه الکترونیکی)

سیلاب در ۱۲ زیرحوضه دشت اردبیل در جدول ۵ برای هرکدام از ابعاد و همچنین آسیب‌پذیری کلی حوضه که حاصل تلفیق چهار بُعد مطالعاتی است، ارائه شده است.

تهیه نقشه آسیب‌پذیری ابعاد مطالعاتی و آسیب‌پذیری جامع سیلاب

در ادامه اقدامات انجام‌شده برای پیشبرد پروژه، به‌منظور درک بهتر و ایجاد سطوح مقایسه‌ای از شاخص آسیب‌پذیری کل و همچنین توزیع مکانی آن در ۱۲ زیرحوضه دشت اردبیل، تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیلاب از تجزیه و تحلیل داده‌ها و اطلاعات جمع‌آوری شده، صورت گرفت. انجام این کار از طریق تلفیق داده‌های آسیب‌پذیری چهار بُعد مطالعاتی مذکور برای ارزیابی شاخص آسیب‌پذیری کل و نقشه جامع آسیب‌پذیری سیلاب دشت اردبیل برای دوره زمانی مطالعاتی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.6 انجام شد. در واقع نقشه‌های نهایی بر پایه چگونگی توزیع اعداد در یک هیستوگرام فرکانسی، طبقه‌بندی شده‌اند؛ هر نقشه با توجه به دامنه اعداد در پنج طبقه با آسیب‌پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است (۱۵). شکل ۳

هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات بیشتری برخوردار و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد مقایسات از سازگاری و ثبات کمتری برخوردارند (۲۱). نتایج حاصل از وزن‌دهی معیارها و ابعاد مورد مطالعه آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل در جدول ۴ ارائه شده است.

رتبه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل با روش

TOPSIS

در این مرحله از پژوهش بعد از وزن‌دهی ابعاد و معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل با استفاده از روش بهترین-بدترین، وزن‌های محاسبه شده معیارهای مؤثر به‌عنوان میزان تأثیر هر معیار در ایجاد آسیب‌پذیری استفاده شدند که با استفاده از مدل TOPSIS به‌دست آمد. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره شد روش TOPSIS بر این مفهوم بنا شده است که گزینه انتخابی، کمترین فاصله را با ایده‌آل مثبت و بیشترین فاصله را با ایده‌آل منفی داشته باشد. به این ترتیب نزدیکی نسبی معیارها به راه‌حل ایده‌آل ابتدا محاسبه شد و سپس براساس ترتیب نزولی CL_i گزینه‌های موجود رتبه‌بندی شدند (۳). نتایج حاصل از رتبه‌بندی آسیب‌پذیری

جدول ۴. وزن معیارهای ابعاد مطالعاتی آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل به روش BWM

بعد	ردیف	معیار	وزن معیارها	وزن بعد	نرخ ناسازگاری
زیست‌شناسی	۱	شیب	۰/۱۹۴	۰/۲۰	۰/۰۱۶
	۲	کاربری اراضی	۰/۱۰۰		
	۳	تراکم زهکشی	۰/۱۴۶		
	۴	ارتفاع	۰/۰۵۴		
	۵	بارش	۰/۵۰۸		
اجتماعی	۱	تراکم جمعیت	۰/۵۹۱	۰/۱۳	۰/۰۳۲
	۲	تراکم جمعیت آسیب‌پذیر	۰/۲۵۳		
	۳	برابری تحصیلی	۰/۰۴۷		
	۴	بیمه سیل	۰/۱۱۰		
اقتصادی	۱	نرخ بیکاری	۰/۷۷۷	۰/۰۵	۰/۰۲۴
	۲	سطح اراضی کشاورزی	۰/۱۵۲		
	۳	سطح اراضی باغی	۰/۰۷۱		
زیرساختی	۱	تراکم ساختمان	۰/۱۱۴	۰/۶۱	۰/۰۳
	۲	معابر	۰/۰۵۲		
	۳	دسترسی به مراکز بهداشت	۰/۶۳۴		
	۴	سیستم حمل و نقل عمومی	۰/۲۰۰		

جدول ۵. رتبه‌بندی نهایی ابعاد و معیارهای آسیب‌پذیری سیلاب زیرحوضه‌های دشت اردبیل به روش TOPSIS

زیرحوضه	بوم‌شناختی	اجتماعی	اقتصادی	زیرساختی	آسیب‌پذیری کلی
۱	۰/۴۸۷	۰/۹۹۰	۰/۹۳۰	۰/۸۴۶	۰/۳۲۰۴
۲	۰/۸۱۷	۰/۹۸۱	۰/۹۱۹	۰/۸۹۵	۰/۲۶۰۵
۳	۰/۵۶۷	۰/۹۹۲	۰/۹۲۶	۰/۸۳۰	۰/۳۸۹۲
۴	۰/۶۷۵	۰/۹۷۴	۰/۹۱۷	۰/۹۰۹	۰/۳۰۱۴
۵	۰/۶۵۵	۰/۹۹۴	۰/۹۱۲	۰/۸۸۳	۰/۱۷۰۶
۶	۰/۴۵۲	۰/۹۶۲	۰/۹۱۲	۰/۸۳۸	۰/۴۱۷۲
۷	۰/۵۹۳	۰/۰۱۰	۰/۰۶۷	۰/۱۴۹	۰/۹۱۹۱
۸	۰/۵۶۹	۰/۹۸۹	۰/۹۰۳	۰/۹۴۳	۰/۰۵۵۶
۹	۰/۵۸۰	۰/۹۹۰	۰/۹۱۹	۰/۸۱۵	۰/۳۴۸۱
۱۰	۰/۵۳۱	۰/۹۹۰	۰/۸۷۶	۰/۸۳۱	۰/۲۰۹۰
۱۱	۰/۳۴۹	۰/۹۹۳	۰/۸۹۸	۰/۹۲۳	۰/۱۵۶۱
۱۲	۰/۳۶۴	۰/۹۹۰	۰/۹۳۶	۰/۸۲۲	۰/۳۲۴۷

نقشه جامع شاخص آسیب‌پذیری سیلاب را برای زیرحوضه‌های مختلف دشت اردبیل نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از اعمال پیشگیری از وقوع اثرات زیانبار سیلاب، بهبود آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها در برابر این پدیده و دیگر مخاطرات است. از جمله راه‌کارهای کاربردی، شناسایی نقاط آسیب‌پذیر و تعیین پهنه‌های خطر است که با توجه به آن سکونتگاه‌هایی که دارای خطرپذیری بیشتری هستند، شناسایی شده و برنامه‌ها در جهت بهبود یا کاهش آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن اولویت‌ها صورت پذیرد. هدف اصلی این پژوهش بررسی و شناسایی عوامل مؤثر در آسیب‌پذیری سیلاب و رتبه‌بندی زیرحوضه‌های آسیب‌پذیر در برابر آن در دشت اردبیل است. برای رسیدن به این مقصود ابتدا ابعاد و معیارهای مؤثر بر آسیب‌پذیری سیلاب با مطالعه ادبیات پیشین، شناسایی و پس از آن با توجه به معیارهای مؤثر، بر اساس مدل ترکیبی BWM-TOPSIS رتبه‌بندی مناطق آسیب‌پذیر در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد انجام شد. رتبه‌بندی نهایی آسیب‌پذیری سیلاب در زیرحوضه‌های دشت اردبیل، با توجه به ابعاد و معیارهای شناسایی شده و براساس دخالت وزن‌ها با ارزش‌های نهایی هر یک از ابعاد و همچنین معیارها انجام گرفت. تحلیل نهایی وزن‌های منتج از مدل BWM، نشان می‌دهد که در رابطه با آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل، در بُعد بوم‌شناختی با توجه به شناسایی معیارهای شیب، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، ارتفاع و بارش؛ مهم‌ترین معیار عامل بارش با وزن $0/508$ شناسایی شد در مطالعه فذیل و همکاران (۱۱) که اقدام به بررسی آسیب‌پذیری سیلاب در حوضه مینرالنگ (Minraleng) در جنوب سولاوسی (Sulawesi) کردند و همچنین در پژوهش‌های ویگنش و همکاران (۲۳) در منطقه تامیل نادو (Tamil Nadu) و گانوا و همکاران (۱۲) در منطقه اسلواکی، مهم‌ترین معیار را بارش شناسایی کردند. کم‌اهمیت‌ترین معیار نسبت به معیارهای دیگر بُعد بوم‌شناختی عامل ارتفاع با وزن $0/054$ شناسایی شد که با توجه به دشتی

بودن منطقه و عدم اختلاف ارتفاع معنی‌دار این انتخاب انجام شد، درستکار گل خیلی و همکاران (۹) نیز در پژوهش خود در رابطه با بررسی خطر رخداد سیلاب در حوضه آبخیز نکارود به نتیجه مشابه رسیدند، در نتایج پژوهش قهرودی تالی و همکاران (۱۵) نیز عامل ارتفاع دارای اهمیت کمتری بود.

در رابطه با بُعد اجتماعی، تراکم جمعیت با وزن $0/591$ مهم‌ترین و برابری تحصیلی با وزن $0/047$ کم‌اهمیت‌ترین معیار در رابطه با آسیب‌پذیری سیلاب در دشت اردبیل شناسایی شدند. نتایج مطالعه قهرودی تالی و همکاران (۱۴ و ۱۵) نیز معیار تراکم جمعیت را در رابطه با آسیب‌پذیری ناشی از سیلاب در کلانشهر تهران نشان داد. نتیجه وزن‌دهی به معیارهای بُعد اقتصادی به‌روش BWM، مهم‌ترین معیار را با وزن $0/777$ مربوط به نرخ بیکاری و کم‌اهمیت معیار را نسبت به دیگر معیارها، سطح اراضی باغی با وزن $0/071$ نشان داد. در بُعد زیرساختی معیار دسترسی به مراکز بهداشتی با وزن $0/634$ ، مهم‌ترین معیار و معیار تراکم معابر با وزن $0/052$ ، کم‌اهمیت‌ترین معیار نسبت به معیارهای دیگر این بُعد نسبت به آسیب‌پذیری سیلاب در زیرحوضه‌های دشت اردبیل شناسایی شد، که مقدس و همکاران (۱۸) نیز در پژوهش خود در بُعد زیرساختی به نتیجه مشابه دست یافتند. در مطالعه عبدی و همکاران (۱) نیز معیار تراکم معابر در مقایسه با معیارهای تراکم ساختمانی و شاخص شهرسازی در بُعد زیرساختی، دارای وزن کمتری شناسایی شد.

اما نتایج وزن‌دهی حاصل از روش بهترین و بدترین در مورد چهار بُعد مطالعاتی بوم‌شناختی، اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی در رابطه با آسیب‌پذیری سیلاب در زیرحوضه‌های دشت اردبیل به ترتیب برای بُعد زیرساختی با وزن $0/61$ ، بُعد بوم‌شناختی با وزن $0/02$ ، بُعد اجتماعی با وزن $0/13$ و در نهایت بُعد اقتصادی با وزن $0/05$ را به دست آمد. با توجه به بررسی‌های داده‌ای و اطلاعاتی انجام شده در این پژوهش، عدم‌فراهم بودن زیرساخت‌های شهری و روستایی و در کل منطقه دشت اردبیل از لحاظ عدم دسترسی راحت جوامع محلی به مراکز بهداشت و درمان، عدم دسترسی به وسایط حمل و نقل عمومی

در نهایت از تلفیق این چهار بُعد، آسیب‌پذیری جامع سیلاب دشت اردبیل در مقیاس زیرحوضه به‌دست آمد (جدول ۴). در نهایت با استفاده از خروجی این مرحله به‌منظور درک بهتر و ایجاد سطوح مقایسه‌ای از شاخص آسیب‌پذیری کل و همچنین توزیع مکانی آن در ۱۲ زیرحوضه دشت اردبیل، نقشه جامع آسیب‌پذیری سیلاب دشت اردبیل تهیه شد که در شکل ۳ ارائه شد. همان‌طور که در این تصویر مشاهده می‌شود طبق نقشه آسیب‌پذیری جامع سیلاب در دشت اردبیل زیرحوضه ۵ و ۱۱ در طبقه خیلی کم تحت آسیب سیلاب بوده و زیرحوضه ۷ بالاترین آسیب‌پذیری را در برابر این بلای طبیعی در دشت اردبیل دارا است. در کل، طبق نتایج این بخش می‌توان اظهار داشت که زیرحوضه‌های مورد مطالعه دشت اردبیل با توجه به اینکه اکثراً هم تحت تمرکز مناطق روستایی است در بسیاری از زمینه‌ها بسیار آسیب‌پذیر هستند که نیاز به توجه بیشتر مسئولین برای بهبود و کاهش آسیب‌پذیری این مناطق دارد. از این‌رو با برقراری ارتباط مناسب بین نهادهای مسئول مدیریت سیل و ساکنین شهری و روستایی منطقه، تقویت مشارکت اجتماعی، اعتماد، انسجام و شبکه‌ها (روابط و مناسبات)، می‌توان آسیب‌های ناشی از وقوع مخاطره سیل را به‌طور چشمگیری کاهش داد.

به‌خصوص با فاصله‌ای که روستاهای موجود در منطقه از مراکز شهری و استان اردبیل دارند و نیز عدم‌برخورداری از معیار استاندارد، می‌توان نتیجه حاصل از تحلیل این پژوهش را تا حدود زیادی منطقی دانست. چرا که بُعد زیرساختی را دارای اهمیت آسیب‌پذیری بالایی در مواقع وقوع سیلاب تشخیص داده است. در مطالعه درستکار گل خیلی و همکاران (۹) نیز بررسی آسیب‌پذیری سیلاب در حوضه نکارود در بین ابعاد نهادی، اجتماعی، زیرساختی و اقتصادی، مهم‌ترین بُعد در آسیب‌پذیری سیلاب این منطقه بُعد زیرساختی و کم‌اهمیت‌ترین بُعد نهادی شناسایی شد.

در بخش رتبه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب برای ۱۲ زیرحوضه دشت اردبیل، همان‌طور که در پیش‌تر بیان شد، بعد از محاسبات بسیار زیاد به‌روش TOPSIS، با مشخص کردن اثر مثبت و منفی معیارهای منتخب بر آسیب‌پذیری (شکل ۳)، فاصله از ایده‌آل مثبت و منفی، مهم‌ترین نقش را در رتبه‌بندی گزینه‌ها ایفا کرد. هرچه فاصله گزینه‌ها از ایده‌آل مثبت کمتر بود فاصله آن از ایده‌آل منفی بیشتر بود و به‌همین دلیل در رتبه بالاتری قرار می‌گرفت (۱۳، ۱۵ و ۱۸). در نهایت شاخص نزدیکی معیارها محاسبه شد که بر اساس آن رتبه‌بندی آسیب‌پذیری سیلاب برای ۱۲ زیرحوضه دشت اردبیل در چهار بُعد بوم‌شناختی، اجتماعی، اقتصادی و زیرساختی انجام شد و

منابع مورد استفاده

1. Abdi, K., S. Kamyabi and M. R. Zand Moghaddam. 2019. Integrated Assessment of Vulnerability, Resiliency and Spatial Risk against Flooding in Sari City. *Physical Geography Research Quarterly* 51(3): 431-445.
2. Ahmadvade, H., S. Saeid Abadi and A. Nouri. 2018. A study and zoning of the areas prone to flooding with an emphasis on urban floods (Case Study: City of Maku). *Hydrogeomorphology* 1(2): 1-24.
3. Asadzadeh, A. 2014. Assessing site selection of new towns using TOPSIS method under entropy logic a case study: new towns of Tehran metropolitan region (TMR). *Environmental Management and Sustainable Development* 3(1): 24-29. 10.5296/emsd.v3i1.4874.
4. Bates, B. C., Z. W. Kundzewicz, S. Wu and J. P. Palutikof. 2008. Climate change and water. Technical paper, IPCC Secretariat, Geneva.
5. Bhattacharya, N. 2010. Flood risk assessment in barcelonate. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede (ITC), the Netherlands.
6. Birkmann, J. 2006. Measuring Vulnerability to Hazards of Natural Origin – Towards Disaster Resilient Societies. Tokyo and New York: United Nations University Press.
7. Campana, N. A. and C. E. Tucci. 2001. Predicting floods from urban development scenarios: case study of the Dilúvio Basin, Porto Alegre, Brazil. *Urban Water* 3(1-2): 113-124.
8. Chen, Y., H. Zhou, H. Zhang, G. Du and J. Zhou. 2015. Urban flood risk warning under rapid urbanization,

- Environmental Research* 1(139): 3-10.
9. Dorostkar Gol Khili, H., Y. Yousefi, M. Ramezanzadeh Lasboyee and H. Roradeh. 2016. Assessing the resilience of the rural settlements against the risk of flooding in the villages of the Nekarud basin. *Journal of Spatial Analysis Enviromental Hazards* 2(4): 15-30.
 10. Esfandiari, F., E. Beheshti Javid and M. H. Fathi. 2017. Hydrological impact assessment of land use change on annual surface runoff at the Gharasoo catchment by using L-THIA model. *Hydrogeomrphology* 1(1): 59-73.
 11. Fadhil, M., Y. Ristya, N. Oktaviani and E. Kusratmoko. 2020. Flood vulnerability mapping using the spatial multi-criteria evaluation (SMCE) method in the Minraleng Watershed, Maros Regency, South Sulawesi. In *E3S Web of Conferences* 135: 1-7.
 12. Gaňová, L., M. Zeleňáková, P. Purcz, D. C. Diaconu, T. Orfánus and Ž. Kuzevičová. 2017. Identification of urban flood vulnerability in eastern Slovakia by mapping the potential natural sources of flooding-implications for territorial planning. *Urbanism Architecture Constructions* 8(4): 365-376.
 13. Garmroodi Shirjini, M. 2018. The framework of Multi-criteria decision for assessing green supply chain management practices using BWM and TOPSIS methods. Master Thesis, Shomal University, Iran.
 14. Ghahroudi Tali, M., M. R. Sarvati, M. Sarrafi, M. Pourmoosavi and K. Derafshi. 2012. Flood vulnerability assessment in Tehran city. *Quarterly Scientific Journal of Rescue and Relief* 4(3): 79-93.
 15. Ghahroudi Talli, M., Sh. Soltani, Kh. Derafshi and R. Norouzi. 2017. The water and wastewater facilities' vulnerability in Tehran against Runoff (ABFA region 1). *Enviromental Hazards Management* 4(1): 83-96.
 16. Ghanavati, E., A. Karam and M. Aghaalikhani. 2018. Flood risk zonation in the farahzad basin (Tehran) using Fuzzy model. *Geography and Enviromental Planning* 15(1): 121-138.
 17. Liyun, W., Y. Weibin, J. Zhirong, X. Shihong and H. Dongjin. 2018. Ecosystem health assessment of Dongshan Island based on its ability to provide ecological services that regulate heavy rainfall. *Ecological Indicators* 84: 393-403.
 18. Moghadasa, M., A. Asadzadeha, A. Vafeidisb, A. Feketec and T. Köttera. 2019. A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 35: 1-14.
 19. NOAA/NWS. 2009. Flood losses: complication of flood loss statistics [Online]. NOAA gov climate research Centre. Available: [http://www.weather.gov/oh/hic/flood stats/Flood Loss time series. shtml](http://www.weather.gov/oh/hic/flood%20stats/Flood%20Loss%20time%20series.shtml) [Accessed 25.08.2009].
 20. Norouzi Khatiri, Kh., B. Omidvar, B. Malek Mohammadi and S. Gangei. 2013. Multi-hazards risk analysis of damage in urban residential areas (Case Study: Earthquake and flood hazards in Tehran- Iran). *Journal of Geography and Enviromental Hazards* 2(3): 53-68.
 21. Rezaei, J. 2015. Best-worstmulti-criteriadecision-making method. *Jornal of Engineering. Technology Policy and Management* (53):49-57.
 22. UNISDR. 2004. Living with risk: A global Review of disaster reduction initiatives. United Nation press, Geneva, Switzerland.
 23. Vignesh, K. S., I. Anandkumar, R. Ranjan and B. Debashree. 2020. Flood vulnerability assessment using an integrated approach of multi-criteria decision-making model and geospatial techniques. *Modeling Earth Systems and Environment* 15: 1-15.
 24. Yu, G., Q. Yu, L. Hu, Sh. Zhang, T. Fu, X. Zhou, X. He, Y. Liu, S. Wang and J. Jia. 2013. Ecosystem health assessment based on analysis of a land use database. *Applied Geography* (44): 154-164.

Ardabil Plain Flood Vulnerability Rating Using the Combined BWM and TOPSIS Methods

A. Esmali Ouri^{1*}, P. Farzi² and S. Choubeh³

(Received: June 14-2021 ; Accepted: February 12-2022)

Abstract

Planning and providing appropriate tools to reduce the adverse effects of natural hazards including floods is inevitable. Achieving the above goal depends on having sufficient and accurate knowledge and information about the vulnerability of different ecosystems (watersheds) to various destructive factors. Vulnerability assessment by identifying potential stresses and disturbances (natural and man-made) as well as estimating the sensitivity of watersheds allows for predicting the effects and selecting appropriate solutions for the sustainable management of these ecosystems. Therefore, this study has been designed to identify and rank vulnerable sub-watersheds to floods in the Ardabil plain, taking into account social, economic, infrastructural, and ecological dimensions. First, the indicators and criteria of each dimension were identified taking into account the conditions prevailing in Ardabil plain. Then, information and data on climatic, hydrological, demographic, economic, infrastructure, and land use were obtained from relevant authorities. Then, the mentioned criteria were standardized and the weight according to their importance was calculated based on the BWM method the data obtained from this stage were performed using the TOPSIS technique to rank flood vulnerability for different sub-watersheds in Ardabil plain for the period 2007-2017. Finally, a map of Ardabil's plain vulnerability to floods was prepared and presented. According to the results, the criteria of building density, rainfall, population density, and the unemployment rate were the most important criteria of vulnerability and among the studied dimensions, the infrastructure dimension is too significant in flood vulnerability in Ardabil plain. Based on the comprehensive vulnerability map, sub-watershed 7 in Ardabil plain was identified as the most vulnerable sub-watershed in the study area.

Keywords: Flexibility, Ardabil plain, Composite indicator, Flood management map, BWM method

1. Department of Range & Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

3. Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Urmia, Urmia, Iran.

*: Corresponding author, Email: esmaliouri@uma.ac.ir