نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵
صفحات ۵۰-۳۵

پهنه‌بندی گذرگاه‌های بهمن خیز استان کردستان

هادی نیری[1]، استادیار گروه ژئومرفولوژی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران.
محمد رضا کرمی، استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی شهری، دانشگاه پیام نور.
بهرام چاره خواه، دانشجوی کارشناس ارشد مخاطرات محیطی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه کردستان، ایران.

دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۰۹/۱۹ پذیرش نهایی: ۱۳۹۵/۰۳/۱۵

چکیده

یکی از مخاطرات تهدیدکننده نواحی کوهستانی، بهمن برفی است. این مقاله باهدف پهنه‌بندی این نواحی در استان کردستان تدوین‌شده است. ابتدا از گذرگاه‌های بهمن خیز بازدید میدانی به عمل آمد و مختصات آن‌ها برداشت گردید. معیارهای زمینی شامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، تحدب و تقعر، فاصله از جاده و کاربری اراضی بر اساس پیشینه مطالعات انتخاب شدند. با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه لازم برای هر معیار تهیه شد. مقایسه زوجی بر روی معیارها انجام گرفت و وزن آن‌ها به دست آمد. وزن به‌دست‌آمده برای همپوشانی لایه‌ها از دو روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) به دست آمد. نتایج نشان داد که به‌طورکلی مدل‌های فوق در پهنه‌بندی مناطق مستعد پدیده بهمن موفق بودند. بر اساس نقشه حاصل از سلسله مراتبی ۱۳ دامنه از ۳۰ دامنه بازدید شده در منطقه بسیار پرخطر قرار گرفتند و ۱۷ دامنه در منطقه پرخطر واقع شدند. بر اساس نقشه حاصل از فرایند تحلیل شبکه‌ای ۱۲ دامنه از ۳۰ دامنه بازدید شده در منطقه بسیار پرخطر قرار گرفتند و ۱۸ دامنه در منطقه پرخطر واقع شدند. در مدل سلسله مراتبی تعداد ۱۹۸ آبادی در پهنه کم خطر و ۲۰ آبادی در پهنه بسیار خطرناک واقع شدند. همچنین در مدل شبکه ای تعداد ۱۸۴ آبادی در پهنه کم خطر و ۲۳ آبادی در پهنه بسیار خطرناک قرارگرفتند.

واژگان کلیدی: خطر، بهمن، معیار زمینی، گذرگاه، تحلیل سلسله مراتبی، تحلیل شبکه ای، کردستان

[1]- نویسنده مسئول: Email:nayyerihadi@yahoo.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

مقدمه

خطر بخش اجتناب‌ناپذیر زندگی است، انسان‌ها هرروز به نحوی با خطر مواجه می‌شوند، مخاطرات مختلف در شکل‌ها و چشم‌اندازهای مختلف عملکردهای متفاوتی دارند. برای زیستن در یک منطقه و استفاده از زمین باید به شکل بهتری میزان سازگاری با خطر و مشکلات آن بررسی شود و تدابیر ایمنی لازم در برابر خطر بکار گرفته شود (مقیمی و گودرزی نژاد، ۱۳۹۰). پدیده بهمن یکی از مخاطراتی است که ویژه مردمان نواحی کوهستانی می باشد. با در اختیار داشتن اطلاعات و آمار بهمن می‌توان بهتر به ارزیابی آن پرداخت و راهکارهای مقابله و یا دوری جستن از آن به شیوه شایسته‌تری انجام داد و تدابیر ایمنی لازم در مقابل خطر بهمن برفی میسر شود. بهمن یکی از عوامل تغییر لندفرم‌ها محسوب می‌شود، بنابراین برای شناخت تغییرات لندفرم‌ها مطالعه وقوع این پدیده الزامی است.

به‌طورکلی ریزش ناگهانی توده انبوهی از برف را بهمن برفی گویند که می‌تواند شامل سنگ‌ها، خاک، گیاهان یا یخ باشد. به نظر می‌رسد که انتخاب نام بهمن از نام یازدهمین ماه سال خورشیدی اقتباس‌شده است که احتمال ریزش برف در نواحی کوهستانی در این ماه از سال بیش از سایر ماه‌ها است(تقی زاده، ۱۳۷۵). بهمن‌ها نتیجه‌ای از تعامل پوشش برف، آب‌وهوا و عوارض زمینی هستند که این ۳ عامل را فردستون و فسلر (Ferdeston and Fesler, ۱۹۹۴) مثلث بهمن نامیدند(زارع بیدکی و همکاران، ۱۳۸۸).

هرساله در سراسر جهان بیش از یک‌میلیون بهمن اتفاق می‌افتد(یوسفی و وفا خواه، ۱۳۹۰). بر اساس آمارهای سازمان هواشناسی جهانی، بهمن به‌عنوان هشتمین بلیه طبیعی از سال ۱۹۴۷ تا سال ۱۹۸۰ دارای ۵۰۰۰ نفر کشته بوده است(تقی زاده، ۱۳۷۵). در ایران بهمن کندوان در سال ۱۳۶۳ موجب کشته شدن حدود ۳۰ تن شد. در سال ۱۳۶۴ در جاده هراز ۱۴ مورد بهمن اتفاق افتاده است(خالدی، ۱۳۸۱).

سرعت بهمن بین ۵۰ و ۲۰۰ کیلومتر بر ساعت برای بهمن برفی خشک و بزرگ متفاوت است، درحالی‌که قطعه‌های برفی مرطوب چگال‌تر و کندتر هستند (۲۰ تا ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت). به‌طور اخص دو نوع بهمن وجود دارد، بهمن‌های برفی شل و بهمن‌های تخته‌ای، به‌طورکلی، بهمن‌های تخته‌ای مخرب‌ترین هستند آیالا و گودی (Ayla and Goudi, ۲۰۱۴) برای بررسی بهمن نخست باید بین دو نوع برف تمایز قائل شویم، برفی که ساختمان اولیه خود را حفظ می‌کند و پوشش طبیعی ایجاد کرده و برفی که در ساختمان اولیه آن شکستگی ایجادشده است. به برف نوع اول برف طبیعی و به نوع دوم برف بهمن اطلاق می‌شود(احمدی و طاهری، ۱۳۸۷، ۵).

با توجه به شکل بلورهای برف، چگالی آن‌ها باهم متفاوت است. بلورهای سوزنی شکل برف نسبت به بلورهای ستاره‌ای شکل بیشتر به هم فشرده می‌شوند که دارای چگالی بیشتری هستند. در طول یک روز کامل به‌طور متوسط سطح برف معمولاً دارای سردترین درجه حرارت و کف آن در سطح زمین گرم‌ترین درجه حرارت را نشان می‌دهد، بنابراین گرادیان حرارتی به وجود می‌آید. فشار بخارآب در پایین لایه بیشتر از فشار بخارآب در بالای لایه است و گرادیان فشار از پایین به بالا است که باعث حرکت بخار به بالا است که موجب تغییر حالت بخشی از بخارآب به جامد و اضافه شدن به ذرات جامد کناری است با ادامه فرایند، بلورهای کاملاً جدیدی که بزرگ‌تر، زبرتر و با زاویه تیزتر تشکیل می‌شود که به آن بلورهای جامی شکل گویند. وجود بلورهای جامی شکل به دلیل ضعف بسیار زیاد، نقش مهمی در تشکیل بهمن دارند. دلیل آن این است که نیروی کشش سطحی و اتصال بسیار کمی بین ذرات آن وجود دارد(مدیریت راهداری استان کردستان، ۱۳۹۳).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

بهمن برفی دارای سه منطقه شروع، گذرگاه و توقف گاه است. شاخص توپوگرافی منطقه شروع بهمن شامل میزان تحدب دامنه‌ها، نوع سنگ‌ها ازلحاظ جذب حرارت، پوشیده شدن برون‌زدگی سنگی و موانع بر روی زمین از برف در ایجاد بهمن برفی تعیین‌کننده هستند. در مورد شاخص زبری منطقه شروع بهمن، زمین‌های لخت و صاف، به‌ویژه اگر مرطوب باشند، محل مناسبی برای لغزش برف محسوب می‌شوند. بعد از منطقه شروع، منطقه گذرگاه بهمن است. به‌طورمعمول در حوضه‌های آبریز، لااقل در مراحل اولیه حرکت، برف‌ها در اثر نیروی ثقل به سمت بستر رودخانه‌ها و آبراهه‌ها حرکت می‌کنند. بهمن‌ها در داخل گذرگاه کانالیزه شده و تا انتهای آن به حرکت ادامه می‌دهند. این مسئله به مشخصات مسیر حرکت بستگی دارد. زمانی که بهمن‌ها از نفس می‌افتند و به آخر گذرگاه می‌رسند، اغلب به همراه برف همه‌چیز یافت می‌شود. درختان قطع‌شده به همراه انواع بقایای گیاهی و بسیاری از مواد دیگر نیز ره‌آوردی هستند که به توقف گاه آمده‌اند. پس‌ازآنکه برف آب شد، آنچه بر جای می‌ماند مخروطی می‌سازد که در اصطلاح به آن مخروط بهمن اطلاق می‌شود. موادی که در این مخروط یافت می‌شود به‌هیچ‌وجه جور شده و منظم نبوده و به‌علاوه چون به‌خوبی به هم ساییده نشده‌اند، به‌اندازه کافی گرد نشده‌اند(احمدی و طاهری،۱۳۸۷، ۳۰).

پدیده بهمن به خاطر مخاطراتی که ایجاد می‌کند از گذشته توجه محققین را به خود اختصاص داده است محمدی (۱۳۷۴) بررسی بهمن و شناسایی گذرگاهی آن در حوضه آبریز سیروان را انجام دادند، ایشان نتیجه گرفتند، وقوع بهمن موجب تشدید فرسایش خاک و افزایش رسوب‌دهی حوضه شده است. خالدی(۱۳۸۱) در هیدروکلیماتولوژی برف و کاربرد آن در برنامه‌ریزی ناحیه‌ای با تأکید بر بهمن در جاده هراز نشان داد که برنامه‌ریزی در نواحی بهمن‌گیر و به‌ویژه در کشورمان می‌تواند از خطر بهمن در جاده‌ها و مراکز انسانی و گردشگری بکاهد و استفاده از تجارب مطالعه رفتار برف و بهمن از اهمیت خاصی برخوردار است. زارع بیدکی و همکاران(۱۳۸۸) برای نقشه خطر بهمن در جاده نسا-گچسر از اطلاعات ژئومورفولوژی و اقلیمی بهره گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود دامنه‌های سنگی شیب‌دار در منطقه بدون پوشش گیاهی مناسب و نگه‌دارنده که بتواند پوشش برف را با بالا بردن زبری در جای خود نگه دارد، سبب شده تا بیشتر دامنه‌های حوضه آبخیز کرج مستعد تشکیل و آزاد کردن بهمن شوند. قنواتی و کریمی(۱۳۸۸) در پهنه‌بندی خطر بهمن در جاده هراز بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی، با تفسیر عکس هوایی و تصاویر ماهواره‌ای و با کمک نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی و بازدیدهای میدانی نقشه نقاط بهمن خیز را در منطقه ترسیم نمودند. به این نتیجه رسیدند که مدل سلسله مراتبی کارایی نسبتاً مطلوبی در پهنه‌بندی خطر بهمن دارد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۰) در پهنه‌بندی بهمن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه‌های ارتفاع، جهت شیب، شیب، کاربری اراضی و ژئومورفولوژی و با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی و بازدید میدانی، گذرگاه‌های بهمن در هرکدام از بخش‌های حوضه سامان استان مرکزی تعیین کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، بیشترین سقوط بهمن‌ها درشیب‌های ۳۰ تا ۴۵ درجه اتفاق افتاد و در دامنه‌های جنوبی احتمال وقوع بهمن افزایش می‌یابد. ناجی(۱۳۹۲) در پهنه‌بندی خطر بهمن خیزی محور کرج– چالوس از طریق سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از نقشه‌های شیب، جهت شیب، گسل، ارتفاع، ژئومورفولوژی، فرسایش و با در نظر گرفتن عوامل اقلیمی نقشه پهنه‌بندی تهیه کردند. مطابق نقشه پهنه‌بندی بیشترین سقوط بهمن در قسمت میانی کندوان به دلیل شیب زیاد و ارتفاع اتفاق می‌افتد. سبحانی(۱۳۷۵) به بررسی پایداری پل‌ها و حائل‌های برفی و عملکرد آن‌ها در کنترل بهمن در دهنه جنوبی تونل کندوان و مشرف‌به جاده پرداخت. سبحانی یکی از راه‌های جلوگیری از حرکت برف را استفاده از سازه‌های تثبیت‌کننده مانند پل‌ها و حائل‌های برفی در منطقه شروع حرکت برف دانستند. هدف از تحقیق ایشان نیل به اهداف جلوگیری از حرکت خزشی و لغزشی برف، ارائه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

دستورالعمل و پیشنهاد برای کنترل بهمن، محدود کردن اندازه برف حرکت‌کننده، حمایت از عملیات بیولوژیک، کنترل بهمن و ممانعت از جابجایی و حرکت سنگ‌ها و خاک‌ها، تأمین ایمنی کامل بزرگراه، در کنترل بهمن کندوان است.

در خارج از ایران جی دک و باکی هویی(Jaedicke and Bakkehoi, ۲۰۰۷) برای تهیه بانک اطلاعات اقلیمی برای مشاوره و اخطار بهمن در نروژ اطلاعات اقلیمی ۱۰۰ ایستگاه هواشناسی را در نرم‌افزار گرافیکی بکار گرفتند. نتایج نشان داد که نرم‌افزار مربوطه اجازه دسترسی سریع و آسان را به داده‌های موردنیاز بهمن می‌دهد. کاپابیانکا و همکاران(Cappabianca, et.al, ۲۰۰۸) با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی دینامیکی بهمن و روابط تجربی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی سطوح خطر را به‌صورت دوبعدی در منطقه جریان بهمن بصری نمودند. همچنین رخدادهای بهمن با استفاده از شش الگوی گردش اتمسفری شمال شرقی اسپانیا را که منجر به سقوط بهمن می‌شود، در ارتفاع ژئوپتانسیل ۵۰۰ میلی باری توسط گارسیا و همکاران(Garcia, et.al, ۲۰۰۹) تخمین زده شد، نتیجه گرفتند که شاخص نوسانات اطلس شمالی نقش دارد. جی میسن و همکاران(Jamieson, et.al, ۲۰۰۹) با استفاده از دیدبانی‌های میدانی بهمن و پیش‌بینی‌های محلی برای تخمین خطر محلی بهمن در کوه‌های کلمبیا، به این نتیجه رسیدند که متغیرهای آب و هوایی نسبت به رتبه‌بندی محلی بهمن همبستگی بهتری را با پیش‌بینی خطر منطقه‌ای دارند. اکرت و همکاران(Eckert, et.al, ۲۰۱۰) در بخش شرقی آلپ‌های فرانسه برای مدل‌سازی پوشش برف از مدل زنجیری متشکل از سه مدل عددی دیگر استفاده نمود، ایشان نشان داد که چگونه گزارش‌های بهمن، برف و داده‌های آب و هوایی و نتایج مدل‌های عددی پوشش برف را می‌توان ترکیب نمود تا خوشه‌های موقت غیرعادی بهمن‌های برفی را تحلیل نمود.

با در نظر گرفتن موارد فوق و نیز موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی استان کردستان تعامل پوشش برف، آب‌وهوا و عوارض زمینی را می‌توان در استان به‌سادگی مشاهده کرد که شرایط لازم برای وقوع بهمن را مهیا می‌کند. ارتفاعات زیاد و کوهستانی بودن منطقه و همچنین تأثیر سامانه‌های جوی بارشی در فصول سرد سال شرایط لازم را با توجه به عوارض زمینی برای وقوع بهمن مهیا می-نماید.

این مقاله نیز باهدف پهنه‌بندی خطر بهمن در استان کردستان و مقایسه تحلیل سلسله مراتبی و شبکه ای است. به‌عبارت‌دیگر با داشتن آمارهای کافی وقوع بهمن، شناسایی آب‌وهوای مناطق کوهستانی، می‌توان مناطق خطر بهمن را پهنه‌بندی کرد و ضمن رعایت حریم نسبت به مناطق خطر از جان و مال و دارایی مردمان این نواحی حفاظت کرد. این فرایند منجر به افزایش ایمنی و جلوگیری از وقوع مخاطره بهمن می‌شود. با توجه به محورهای برف‌گیر و بهمن‌گیر استان که تعداد آن‌ها هم کم نیست، ضرورت پهنه‌بندی مناطق مختلف استان ازلحاظ درجه خطرپذیری طبقه‌بندی گردند. تفاوت عمده این پژوهش با پژوهش‌های انجام‌گرفته در این است که فقط از ۶ معیار ثابت زمینی استفاده‌شده است و نقشه مناطق خطر با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی و مدل تحلیل شبکه‌ای برای کل استان کردستان صورت پذیرفته است. به‌علاوه به دلیل وجود نقاط شاهد (مناطقی که پدیده بهمن در آنجا صورت گرفته) و همچنین به‌کارگیری دو مدل تصمیم‌گیری بسیار پرکاربرد در علوم جغرافیایی امکان دقت و صحت بالای نتایج و نیز فاکتورهای بکار رفته در پژوهش فراهم آمده که از نقاط قوت پژوهش حاضر است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

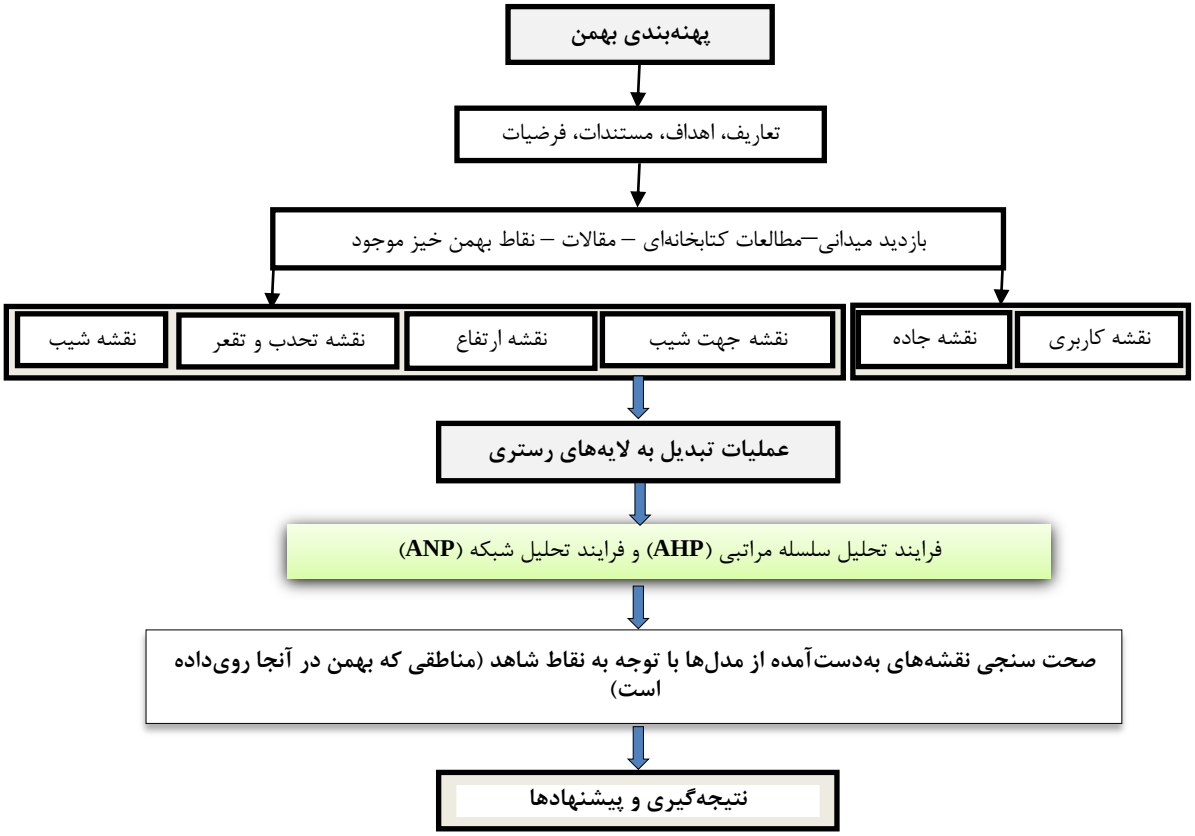
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

داده ها و روش کار

استان کردستان با مساحتی در حدود ۲۹۱۳۷ کیلومترمربع در غرب ایران در مجاورت خاک عراق بین ۳۴ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه ۱۴ دقیقه طول شرقی قرار دارد. از شمال به استان آذربایجان غربی و قسمتی از استان زنجان، از جنوب به استان کرمانشاه، از شرق به استان همدان و قسمت دیگری از استان زنجان و از غرب به کشور عراق محدود است (شکل۲). به دلیل داشتن ارتفاعات متعدد و بارندگی‌های نسبتاً زیاد از نقاط سردسیر کشور بشمار می‌رود. بلندی‌های زاگرس و ایران مرکزی در جهات شمال غربی، جنوب شرقی به‌صورت رشته‌کوه‌های پراکنده این استان را از دیگر استان‌ها متمایز کرده است. حدود ۷۰ درصد از وسعت استان را کوه‌ها و تپه‌ها تشکیل داده است.

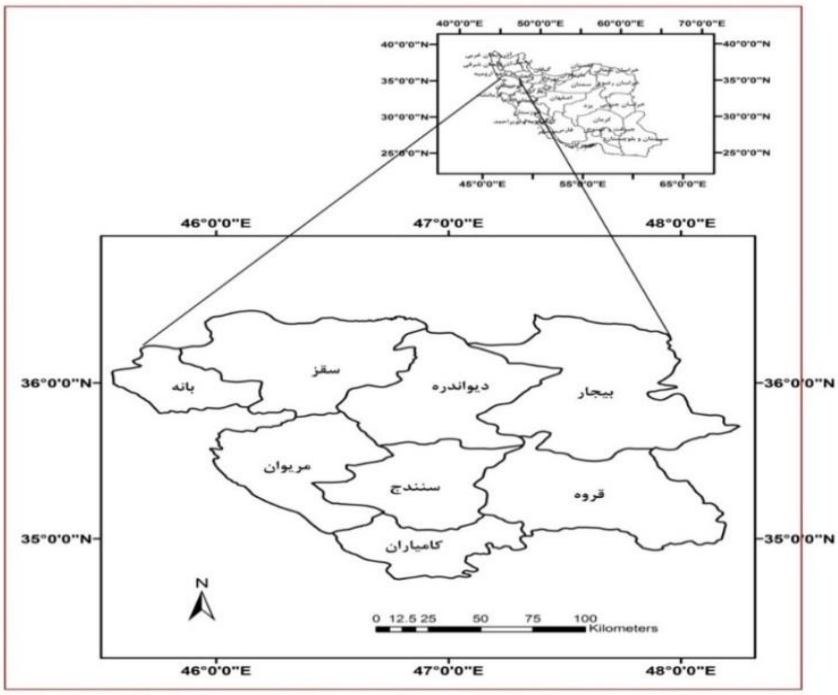
متوسط بارندگی استان کردستان حدود ۵۰۰ میلی‌متر است و بیشترین مقدار بارش مربوط به غرب استان می‌باشد که از غرب به شرق استان میزان بارش کاهش می‌یابد. ازلحاظ دمایی سردترین دمای استان مربوط به شمال استان شهر سقز می‌باشد. تعداد روزهای یخبندان زرینه، سقز، سنندج و بیجار و قروه از دیگر شهرهای استان بیشتر است. با توجه به نفوذ توده‌هواهای سرد بارش برف در فصل زمستان در اغلب نقاط استان اتفاق می‌افتد اما نواحی غربی و شمال غربی بارش بیشتری دارند [۸].

برای مطالعه در مورد بهمن‌های استان نیاز بود تا دامنه‌هایی که قبلاً توسط اداره راه و شهرسازی استان کردستان به‌عنوان بهمن خیز معرفی‌شده بودند، بازدید میدانی گردند.



شکل۱ : فرایند انجام پژوهش

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]



شکل ۲: موقعیت جغرافیایی استان کردستان

طبقه بندی خطرپذیری

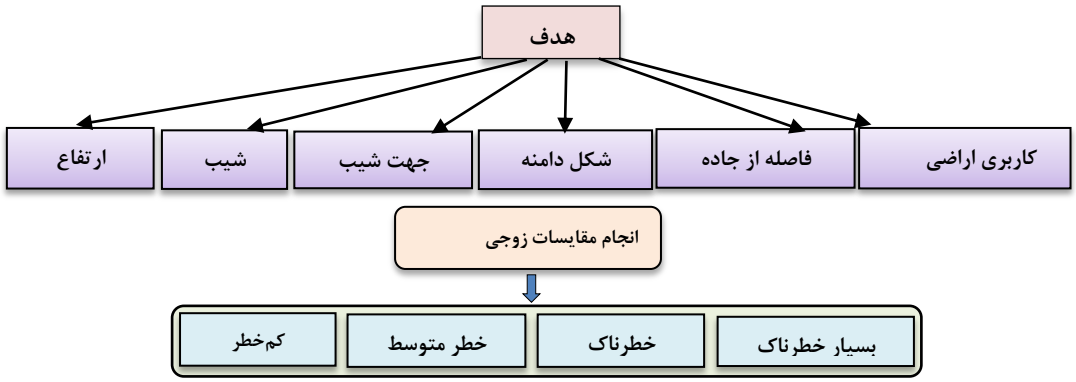
الف- تحلیل سلسله مراتبی

دنیای اطراف ما مملو از مسائل چند معیاره است و انسان‌ها همیشه مجبور به تصمیم‌گیری در این زمینه‌ها هستند. ضرورت وجود یک فن قوی که بتواند انسان را در این زمینه یاری کند کاملاً محسوس است. یکی از کارآمدترین این فن‌ها فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که برای اولین بار توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۸۰ مطرح شد(قدسی پور، ۱۳۸۷(۱)).

مبنای کار برای فرایند سلسله مراتبی در این مقاله شش معیار ثابت ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل دامنه (تحدب و تقعر)، کاربری اراضی و فاصله از جاده است. اولین گام در فرایند سلسله مراتبی، نمایش مسئله به‌طور گرافیکی است (شکل ۳). هر فرایند سلسله مراتبی یک خوشه هدف[۱]، خوشه معیارها[۲] و خوشه انتخاب‌ها[۳] را در ساختار خود دارا است. گره هدف در داخل خوشه هدف، گره‌های معیار در داخل خوشه معیار و گره‌های انتخاب یا گزینه در داخل خوشه انتخاب‌ها قرار می‌گیرند و باید گره‌ها را به هم ارتباط داد و با توجه به گره‌های داخل خوشه بالاتر از خودشان، گره‌ها را باهم مقایسه کرد.

۱- Goal
۲- Criteria
۳- Alternatives

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]



شکل ۳: نحوه نمایش گره هدف، معیارها و انتخاب‌ها و ارتباط بین آن‌ها در فرایند سلسله مراتبی

وزن معیارها با استفاده از دامنه پیشنهادی ساعتی (۱-۹) تعیین شدند. ضمن انجام مقایسات زوجی، نرخ سازگاری و وزن نهایی لایه‌ها به دست آمدند(جدول ۱). ضریب ناسازگاری ۰۷۲/. توسط نرم افزار بدست آمد که قابل قبول است.

جدول ۱: ماتریس معیارها نسبت به گره هدف

لایه‌ها	ارتفاع	جهت شیب	شیب	شکل دامنه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
ارتفاع	۱	۳	۳	۵	۶	۷
جهت شیب	/۳۳۳	۱	/۳۳۳	۲	۴	۶
شیب	/۳۳۳	۳	۱	۳	۶	۷
شکل دامنه	/۲	/۵	/۳۳۳	۱	۳	۵
فاصله از جاده	/۱۶۶	/۲۵	/۱۶۶	/۳۳۳	۱	۴
کاربری اراضی	/۱۴۲	/۱۶۶	/۱۴۲	/۲	/۲۵	۱

ب- تحلیل شبکه‌ای[۱]

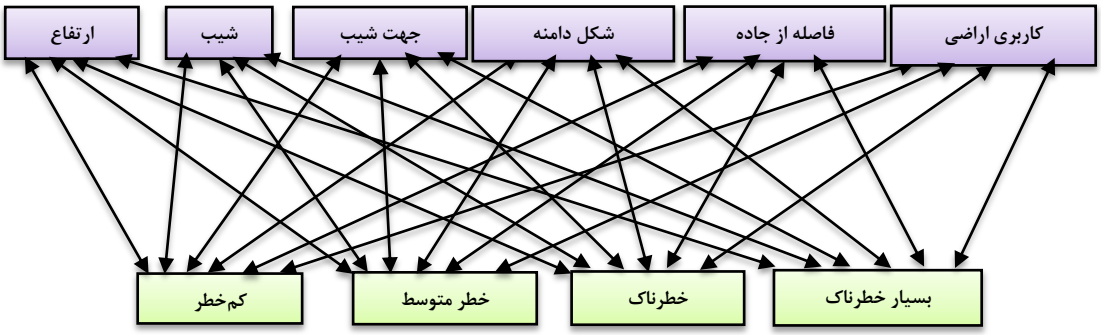
فرایند تحلیل شبکه‌ای چون حالت عمومی سلسله مراتبی و شکل گسترده آن است، بنابراین تمامی ویژگی‌های مثبت را دارا بوده و مضافاً می‌تواند ارتباطات (وابستگی‌های متقابل و بازخورد) میان عناصر تصمیم را با به‌کارگیری ساختار شبکه‌ای بجای ساختار سلسله مراتبی در نظر بگیرد(زبردست، ۱۳۸۹). این مدل تئوری جدیدی است که فرایند سلسله مراتبی را به حالت‌هایی از وابستگی و بازخورد گسترش و بسط می‌دهد. در این روش روابط متقابل و بازخورد درون خوشه‌ها (وابستگی درونی) و بین خوشه‌ها (وابستگی بیرونی) صورت می‌پذیرد. اگرچه برخی از مسائل تصمیم‌گیری از طریق فرایند شبکه‌ای به بهترین شکل قابلیت اجرایی دارند لیکن همیشه این مدل نتیجه بهتری نسبت به مدل سلسله مراتبی را به دست نمی‌دهد. (راهنمای نرم‌افزار سوپردسیشن).

در فرایند تحلیل شبکه‌ای برخلاف تحلیل فرایند سلسه‌مراتبی خوشه هدف وجود ندارد و ارتباط بین معیارها با انتخاب‌ها (کم‌خطر، خطر متوسط، خطرناک و بسیار خطرناک) به‌صورت خطی نیست، یعنی دوطرفه (دارای بازخورد) باشد (شکل ۴). همچنین در فرایند تحلیل شبکه‌ای ارتباط‌ها می‌تواند درونی باشد یعنی در خوشه معیارها می‌توان ارتباط درونی میان معیارها را میسر ساخت. در این مقاله به دلیل عدم شفافیت لازم درباره رابطه درونی بین معیارها،

[۱] -ANP (Analytic Network Process)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

ماهیت و پیچیدگی خاص معیارهای طبیعی و نحوه تشخیص و چگونگی ارتباط بین معیارهای مربوطه، از ایجاد ارتباط درونی بین معیارها صرف‌نظر گردید. در فرایند تحلیل شبکه‌ای مربوط به بهمن ۱۰ مجموعه مقایسه زوجی در درون نرم‌افزار بر اساس اعداد ساعتی صورت گرفت. چهار مجموعه برای مقایسه‌های زوجی معیارها نسبت به انتخاب‌ها انجام شد و شش مجموعه برای مقایسه‌های زوجی انتخاب‌ها، یعنی در هر نوبت انتخاب‌های (کم‌خطر، خطر متوسط، خطرناک و بسیار خطرناک) نسبت به معیارهای (ارتفاع، شیب، جهت شیب، تحدب و تقعر، کاربری اراضی و فاصله از جاده) و همچنین ۱۰ ماتریس برای هرکدام از مقایسه‌های زوجی تشکیل گردید.



شکل ۴: نحوه نمایش معیارها و انتخاب‌ها و ارتباط بین آن‌ها در فرایند شبکه‌ای

در نرم افزار سوپر دسیشن برای مدل های سلسله مراتبی و شبکه ای از اعداد ساعتی معیارها در جدول ۲ استفاده شد. لازم به ذکر است که مقایسه زوجی معیارها باید نسبت به انتخاب‌ها انجام گیرد. در جدول ۳ فقط مقایسه زوجی معیارها نسبت به گزینه بسیار خطرناک و ماتریس آن نشان داده‌شده است. دیگر مقایسه زوجی انتخاب‌ها نسبت به دیگر معیارها (شیب، جهت شیب و ...) با ماتریس آن‌ها در نرم‌افزار انجام شد. همچنین ضریب ناسازگاری بدست آمده در نرم افزار ۰۸۹/. است که قابل قبول است. سرانجام بعدازاینکه تمام مقایسه‌های زوجی و ماتریس گزینه‌ها و معیارها انجام گرفت وزن نهایی به دست آمد و در نرم‌افزار GIS در محاسبه لایه‌ها بکار گرفته شد.

جدول۲: اعداد ساعتی معیارها در فرایند سلسله مراتبی و شبکه‌ای

معیار	عدد ساعتی
ارتفاع	۷
جهت شیب	۶
شیب	۷
شکل دامنه	۵
فاصله از جاده	۴
کاربری اراضی	۳

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

جدول ۳: ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به گزینه بسیار خطرناک

	ارتفاع	جهت شیب	شیب	شکل دامنه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
ارتفاع	۱	۵	۴	۵	۶	۵
جهت شیب	./۲	۱	./۳۳۳	۳	۵	۴
شیب	./۲۵	۳	۱	۳	۵	۴
شکل دامنه	./۲	./۳۳۳	./۳۳۳	۱	۴	۳
فاصله از جاده	./۱۶۶	./۲	./۲	./۲۵	۱	./۵
کاربری اراضی	./۲	./۲۵	./۲۵	./۳۳۳	۲	۱

ج) تهیه لایه رستری معیارها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی

بعد از ویرایش نقشه‌ها تمامی آن‌ها طبقه‌بندی و به لایه‌های با فرمت رستر تبدیل شدند. جهت تهیه نقشه‌های شیب، جهت شیب، ارتفاع، تحدب و تقعر از لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلول ۳۰ ×۳۰ متر استفاده گردید. به‌منظور تأثیر فاصله از جاده، لایه‌برداری جاده‌های استان بکار رفت، حریم آن ترسیم و تبدیل به لایه رستری شد. نقشه‌های خروجی با توجه به وزن نهایی به‌دست‌آمده معیارها در هر دو مدل (AHP-ANP) در قالب چهار کلاس کم‌خطر، خطر متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر صورت گرفت.

شرح و تفسیر نتایج

پس از انجام طبقه بندی هر کدام از معیارهای خطر نتایج حاصل در این بخش شرح داده می شود.

- **شیب**

حداقل شیبی که از آن بهمن آزادشده، شیب ۱۷ درجه است بندرت بهمن در زمین‌های بالای ۴۵ درجه رخ می‌دهد زیرا در حین بارش برف بار دامنه به‌صورت بهمن‌های نرم و شل به سمت پایین خالی می‌شود (احمدی و طاهری، ۱۳۸۷). بیشترین سقوط بهمن‌ها درشیب ۳۰ تا ۴۵ درجه است(یوسفی، ۱۳۹۰). شیب ۱۵ تا ۴۵ درجه دارای بیشترین خطر برای بهمن و ۶۰ تا ۹۰ درجه دارای کم‌ترین خطر در وقوع بهمن می‌باشد(قنواتی و کریمی، ۱۳۸۸). با در نظر گرفتن همه جنبه‌های تأثیر شیب در سقوط بهمن، کلاس‌بندی خطر شیب‌هایی که باعث ایجاد بهمن می‌شوند، به‌صورت (جدول ۳) برای منطقه موردمطالعه درجه‌بندی گردید.

جدول ۳: کلاس‌های خطر نقشه شیب (درجه)

کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک	بسیار خطرناک
۴۵-۸۱	۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵

- **جهت شیب**

در دامنه‌های جنوبی، وجود لایه‌های برف مرطوب سبب می‌شود که برف در سطح زمین بیشتر سر بخورد. در دامنه‌های شرقی یا شمالی میزان پرتوگیری کمتر است، در این دامنه‌ها بهمن‌های پودری خطرناکی به وقوع می‌پیوندد(احمدی و طاهری، ۱۳۸۷). بادها ضخامت برف را روی دامنه‌های شرقی افزایش داده و درنتیجه سبب سقوط بهمن در گذرگاه‌ها می‌گردند. برعکس دامنه‌های غربی ازنظر تشکیل بهمن خطر چندانی ندارند(سبحانی، ۱۳۷۵). در دامنه‌های شرقی و

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

شمال که پرتوگیری کم‌تر است، بهمن‌های پودری خطرناکی به وقوع می‌پیوندد(یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰). نحوه کلاس‌بندی خطر جهت‌های شیب دامنه‌های استان کردستان بر طبق (جدول ۴) انجام گرفت.

جدول ۴: کلاس‌های خطر نقشه جهت شیب

کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک	بسیار خطرناک
مسطح، غربی	شمال غربی، جنوب غرب، جنوب شرق	شمال شرق، شرق	شمال، جنوب

- **ارتفاع**

ارتفاعات زیاد به علت پایین بودن درجه حرارت و انباشته شدن برف در آن‌ها از عوامل مهم توپوگرافی هستند که همراه سایر عوامل جوی در سقوط بهمن مؤثر می‌باشند(احمدی و طاهری، ۱۳۸۷). ملاک کلاس‌های خطر ارتفاع برای بهمن خیزی، در این پژوهش ارتفاع زیاد بود یعنی با توجه به دامنه ارتفاع استان طبق مدل رقومی ارتفاع، حداقل ارتفاع ۷۲۹ متر و حداکثر ارتفاع استان ۳۱۴۳ متر بود، اعداد حاضر در (جدول ۵) به کلاس‌های خطر ارتفاع استان کردستان اختصاص داده شد.

جدول ۵: کلاس‌های خطر نقشه ارتفاع (متر)

کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک	بسیار خطرناک
۷۲۹-۱۲۰۰	۱۲۰۰-۱۷۰۰	۱۷۰۰-۲۲۰۰	۲۲۰۰-۳۱۴۳

- **تحدب و تقعر دامنه**

در دامنه‌های محدب، میزان کل حرکت‌های برف به سمت پایین دامنه افزایش پیدا می‌کند، منظور مجموع حرکات خزشی برف و حرکات ناشی از سرخوردن آن‌هاست. وقتی شرایط برای سقوط بهمن مناسب است و لایه‌ای با مقاومت برشی کم وجود دارد ابتدا در دامنه‌های محدب که در پوشش برف نیروی کششی وجود دارد، شکستگی اتفاق می‌افتد(احمدی و طاهری، ۱۳۸۷). در نقشه رستری مقادیر مثبت نشان می‌دهد که در آن سلول، سطح به‌طرف بالا محدب یا کوژ است. انحنا منفی نشان می‌دهد که در آن سلول سطح به‌طرف بالا مقعر یا کاو است. مقدار صفر نشان می‌دهد که سطح هموار است (جدول ۶).

جدول ۶: کلاس‌های خطر نقشه تحدب و تقعر

کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک	بسیار خطرناک
۲۹/۳۹۵- تا ۰۰۸/.	۰۰۲/. تا ۰۰۸/.	۰۰۴/. تا ۰۰۲/.	۰۰۴/. تا ۲۹/۳۹۵

- **فاصله از جاده**

در مناطق کوهستانی با احداث جاده‌ها و بریدن دامنه‌ها شرایط برای ناپایداری دامنه‌ای ایجاد می‌گردد. همچنین جاده‌ها سبب شکستگی شیب می‌شوند. هر چه فاصله از جاده کم‌تر باشد ناپایداری بیشتر است و برعکس اگر فاصله از جاده بیشتر باشد ناپایداری کم‌تر می‌گردد. دامنه‌های بهمن خیزی که به جاده یا گردنه‌های کوهستانی نزدیک‌تر باشند خطرناک‌تر هستند، بر این اساس کلاس‌بندی خطر فاصله از جاده انجام شد (جدول ۷).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

جدول ۷: کلاس‌های خطر نقشه فاصله از جاده(متر)

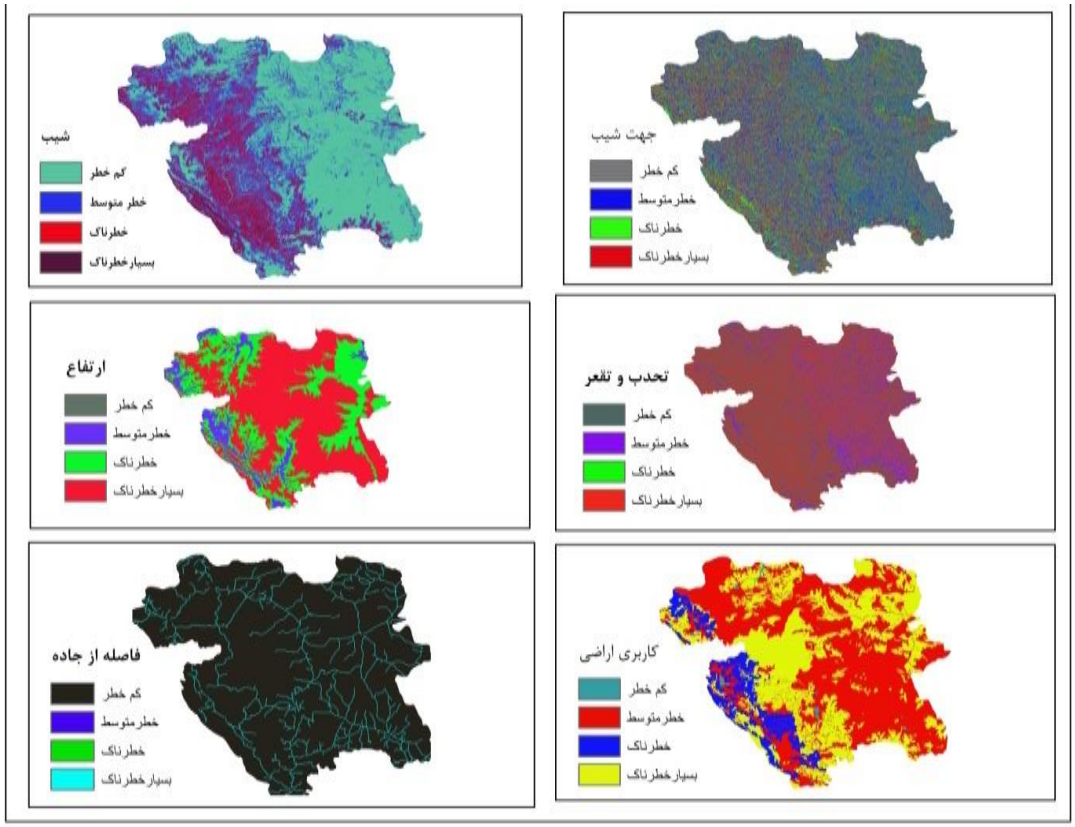
کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک	بسیار خطرناک
۳۰۰>	۲۰۰-۳۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۰-۱۰۰

- **کاربری اراضی**

در رخساره‌های بیرون‌زدگی سنگی و صخره‌ها، پوشش برف ضخامت زیادی پیدا نمی‌کند؛ زیرا سنگ‌های تیره با جذب حرارت موجب ذوب برف می‌شوند که باعث تشکیل بهمن‌های قطعه‌ای می‌شود. تا زمانی که بوته‌های کوتاه در زیر برف مدفون نشده‌اند، سبب اتصال برف به دامنه شده و احتمال وقوع بهمن کاهش می‌یابد؛ اما همین‌که توسط برف پوشیده شد خطر بهمن به‌سرعت افزایش می‌یابد. در مورد جنگل‌ها تا زمانی که ارتفاع درختان جنگل از حداکثر ارتفاع برف بلندتر باشد، تنه آن‌ها برف را به‌خوبی بر روی دامنه نگه می‌دارد(احمدی و طاهری، ۱۳۸۷). جدول اطلاعات توصیفی کاربری اراضی استان دارای پوشش‌های مختلف بوده به نظر رسید طبقه‌بندی زیر می‌تواند مناسب‌ترین کلاس‌بندی خطر برای بهمن خیزی در استان کردستان باشد (جدول ۸).

جدول ۸: کلاس‌های خطر نقشه کاربری اراضی

کم‌خطر	خطر متوسط	خطرناک	بسیار خطرناک
شهری، دریاچه و سد، تالاب	زراعت دیم و آبی و اراضی	جنگل	مرتع، بیشه‌زار، رخنمون سنگی



شکل ۵: نقشه‌های خطر معیارهای بهمن استان کردستان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

- **خطر پذیری**

با استفاده از لایه‌های رستری ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل دامنه، فاصله از جاده و کاربری اراضی و ضرب آنها در وزن معیارهای بهمن (ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل دامنه، فاصله از جاده و کاربری اراضی) حاصل از فرایند سلسله مراتبی (جدول ۹) و تحلیل شبکه‌ای(جدول ۱۰) در محیط ArcGIS نقشه های خطرپذیری تهیه شدند (شکل های ۷ و ۸). با توجه به نقشه‌های حاصل از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و انطباق با نقاط شاهد ۱۳ دامنه از تعداد کل ۳۰ دامنه بازدید شده در منطقه بسیار خطرناک قرار گرفتند و ۱۷ دامنه در منطقه خطرناک واقع شدند.

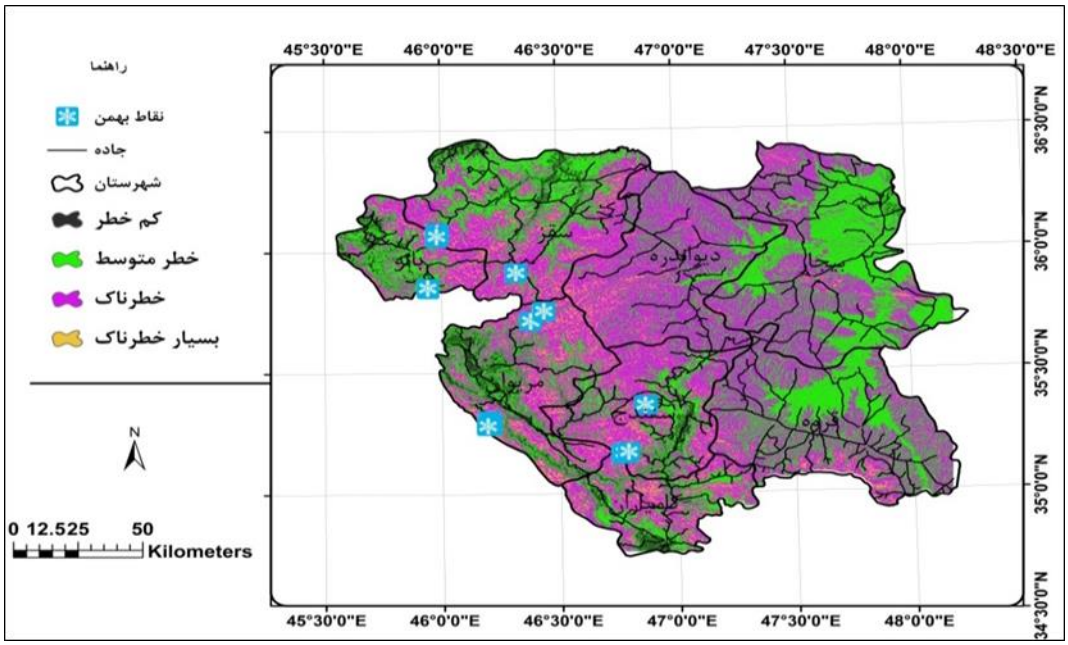
جدول ۹: اولویت معیارهای بهمن (وزن نهایی) بر اساس فرایند سلسله مراتبی

ارتفاع	شیب	جهت شیب	شکل دامنه	فاصله از جاده	کاربری اراضی
./۴۱۱	./۲۵۷	./۱۴۸	./۱۰۰	./۰۵۴	./۰۲۸

شکل ۶: تصاویری از مناطق بهمن گیر استان، دامنه سمت راست جاده کانی کن (مریوان به سقز) و دامنه سمت چپ گردنه خان بانه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

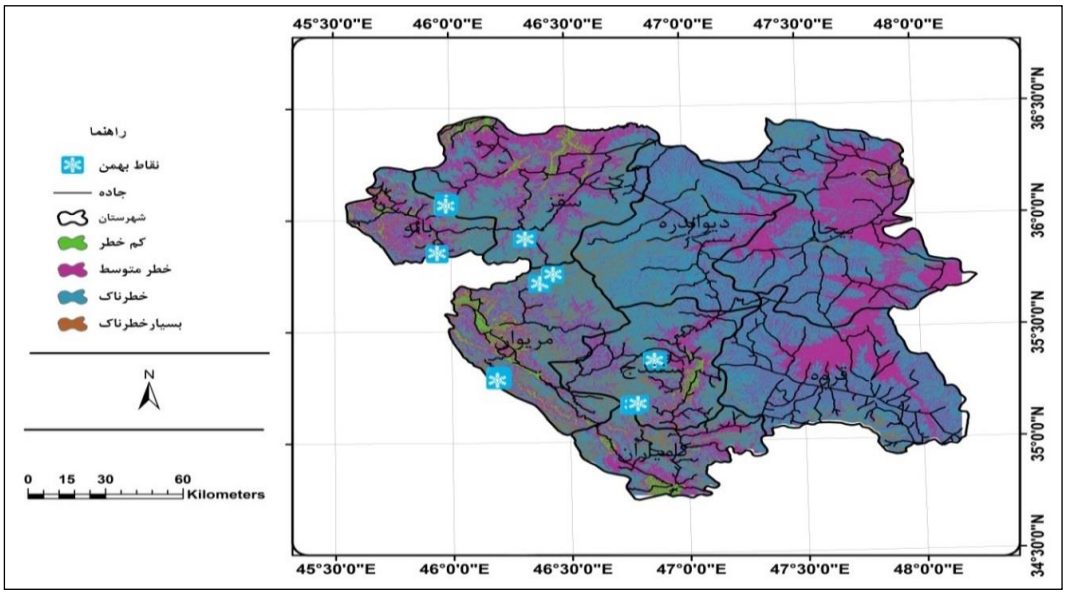


شکل ۷: نقشه مناطق خطر (سلسله مراتبی)

به‌علاوه در نقشه حاصل از فرایند شبکه‌ای ۱۲ دامنه از ۳۰ دامنه بازدید شده (نقاط شاهد) در منطقه بسیار پرخطر قرار گرفتند و ۱۸ دامنه در منطقه پرخطر واقع شدند(شکل ۸).

جدول ۱۰: اولویت‌های معیارهای بهمن(وزن نهایی) بر اساس فرایند شبکه‌ای

ارتفاع	شیب	جهت شیب	شکل دامنه	کاربری اراضی	فاصله از جاده
./۴۲۹	./۲۲۹	./۱۵۳	./۰۹۵	./۰۵۰	./۰۴۲



شکل ۸: نقشه مناطق خطر (روش شبکه‌ای)

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

- **خطرپذیری مناطق روستایی**

با توجه به دامنه های بهمن خیز موجود در استان کردستان، تعدادی از روستاها که در پهنه های خطر پذیر(کم خطر تا بسیار خطرناک) قرارگرفتند، برای مدل های سلسله مراتبی و شبکه‌ای بدست آمد(جداول ۱۱و ۱۲). در مدل سلسله مراتبی تعداد ۱۹۸ آبادی در پهنه کم خطر و ۲۰ آبادی در پهنه بسیار خطرناک واقع شدند. همچنین در مدل شبکه ای تعداد ۱۸۴ آبادی در پهنه کم خطر و ۲۳ آبادی در پهنه بسیار خطرناک قرارگرفتند.

نوع خطر	دامنه خطر AHP	تعداد آبادی	درصد
کم خطر	۱	۱۹۸	۱۰/۱۵
خطر متوسط	۲	۱۱۳۵	۵۸/۱۸
خطرناک	۳	۶۰۳	۳۰/۹۱
بسیار خطرناک	۴	۲۰	۱/۰۳

نوع خطر	دامنه خطر ANP	تعداد آبادی	درصد
کم خطر	۱	۱۸۴	۹/۴۱
خطر متوسط	۲	۱۰۸۳	۵۵/۳۷
خطرناک	۳	۶۶۶	۳۴/۰۵
بسیار خطرناک	۴	۲۳	۱/۱۸

نتیجه‌گیری

به‌منظور وقوع بهمن، علاوه بر پوشش برف و عوامل آب و هوایی (باد و دما) عوامل زمینی نیز مؤثر هستند تا در ترکیب باهم شرایط کافی برای سقوط بهمن از دامنه‌ها تأمین شود. با لحاظ نمودن عوامل زمینی شیب، جهت شیب، ارتفاع، تحدب و تقعر، فاصله از جاده و کاربری اراضی نشان داده شد که این معیارها باهم نقش مهمی را در مخاطره بهمن بازی می‌کنند. بر اساس نقشه‌های خطر بهمن برای هرکدام از معیارهای مذکور، ترکیب این معیارها جهت تهیه نقشه‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به وزن هرکدام از معیارها، همچنین قرار دادن نقاط شاهد و کنترلی بر روی نقشه‌ها، می‌توان چنین استدلال کرد که دامنه‌های متعددی از استان کردستان مستعد پدیده بهمن می‌باشند. نقاط شاهدی که قبلاً به‌عنوان نقاط بهمن خیز معرفی‌شده بودند همپوشانی خیلی خوبی را با نقشه‌های سلسله مراتبی داشتند و تمام این نقاط در مناطق خطرناک و بسیار خطرناک قرار گرفتند. بر اساس نقشه حاصل از سلسله مراتبی ۱۳ دامنه از ۳۰ دامنه بازدید شده در منطقه بسیار پرخطر قرار گرفتند و ۱۷ دامنه در منطقه پرخطر واقع شدند. بر اساس نقشه حاصل از فرایند تحلیل شبکه‌ای ۱۲ دامنه از ۳۰ دامنه بازدید شده در منطقه بسیار پرخطر قرار گرفتند و ۱۸ دامنه در منطقه پرخطر واقع شدند. در مدل سلسله مراتبی تعداد ۱۹۸ آبادی در پهنه کم خطر و ۲۰ آبادی در پهنه بسیار خطرناک واقع شدند. همچنین در مدل شبکه ای تعداد ۱۸۴ آبادی در پهنه کم خطر و ۲۳ آبادی در پهنه بسیار خطرناک قرارگرفتند. برای دامنه های موجود در این مقاله که در استان کردستان قرارداشتند تحلیل سلسه مراتبی با اختلاف اندکی(۱ دامنه) بهتر از تحلیل شبکه ای جواب داد.

از کل مساحت استان کردستان ۲۰۰۹/۱ کیلومترمربع در منطقه بسیار خطرناک، ۱۴۳۴۱ کیلومترمربع در منطقه خطرناک، ۱۱۳۹۲ کیلومترمربع در منطقه با خطر متوسط و ۱۰۴۹/۷ کیلومترمربع در منطقه کم‌خطر قرارگرفته است.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی مناطق خطر با استفاده از تحلیل شبکه‌ای نیز نشان می‌دهد که از کل مساحت استان کردستان، ۲۱۵۸ کیلومترمربع در منطقه بسیار خطرناک،۱۵۴۱۰ کیلومترمربع در منطقه خطرناک، ۱۰۲۴۵ کیلومترمربع در منطقه با خطر متوسط و ۹۷۸ کیلومترمربع در منطقه کم‌خطر واقع‌شده است. با توجه به اولویت معیارهای حاصل از تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل دامنه، فاصله از جاده و کاربری اراضی و در تحلیل شبکه‌ای ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل دامنه، کاربری اراضی و فاصله از جاده دارای بیشترین وزن در پهنه‌بندی خطر بهمن بوده‌اند.

انطباق مناطق مخاطره‌آمیز با داده‌های مشاهده‌ای دامنه‌های بهمن خیز نشان می‌دهد که نقاط مشاهده‌شده در غرب استان اغلب در مناطق بسیار پرخطر قرار می‌گیرند، اما در مرکز استان داده‌های مشاهده‌ای در منطقه خطرناک هم قرار می‌گیرند که چنین استنباط می‌شود که عوامل غیرزمینی در مرکز استان تأثیرگذاری بیشتری داشته‌اند. با توجه به کاهش دما و افزایش تعداد روزهای یخبندان در شمال و مرکز نقش عوامل زمینی کاهش و نقش عوامل آب و هوایی برجسته می‌گردد؛ بنابراین تأثیر کاهش وزن عوامل زمینی با عوامل آب و هوایی جبران می‌شود. در شرق و شمال شرق استان نقش عوامل زمینی کم‌رنگ‌تر است که مناطق بسیار خطرناک در این نواحی واقع نشده‌اند. همچنین میزان بارش‌ها در شرق استان نسبت به غرب کاهش پیدا می‌کند بنابراین هیچ‌گونه بهمن برفی در این نواحی گزارش نشده است. در حال حاضر گذرگاه‌های بازدید شده فاقد هرگونه علائم خطر و هشداری در رابطه با بهمن هستند؛ بنابراین نصب علائم و هشدار در گذرگاه‌هایی که بهمن در آن‌ها اتفاق افتاده است ضرورت دارد. همچنین احداث هرگونه مراکز تفریحی کوهستانی، جاده و گسترش ساخت‌وسازها با لحاظ مناطق خطر بهمن، باعث مدیریت ریسک بهمن می‌شود.

منابع

احمدی، حسن و سمیه طاهری. ۱۳۸۷. *کنترل برف و بهمن*. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

تقی زاده، تقی. ۱۳۷۵. بهمن. *نیوار مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور*. دوره جدید شماره **۲۹**، بهار ۱۳۷۵، ۳۶-۲۷.

خالدی، شهریار. ۱۳۸۱. هیدروکلیمای برف و کاربرد آن در برنامه‌ریزی ناحیه‌ای با تأکید بر بهمن در ایران مورد: جاده هراز. *مجله علمی و پژوهشی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران*. شماره **۱۶۴**، زمستان ۱۳۸۱، صفحات ۴۶۳-۴۸۰.

زارع بیدکی، رفعت، حسن احمدی و محمد مهدوی. ۱۳۸۸. بررسی وضعیت بهمن خیزی حوزه‌های البرز مرکزی. *پنجمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، کرج، انجمن آبخیزداری ایران.

زبردست، اسفندیار. ۱۳۸۹. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. *نشریه هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی*. شماره **۴۱**، بهار ۱۳۸۹، صفحات ۷۹ تا ۹۰.

سبحانی، مهرداد. ۱۳۷۵. *بررسی پایداری پل‌ها و حائل‌های برفی و عملکرد آن‌ها در کنترل بهمن*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

سالنامه آماری استان کردستان، ۱۳۹۱. دفتر آمار و اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی استانداری کردستان، وزارت کشور.

قنواتی، عزت اله؛ جبار، کریمی؛ ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خطر بهمن در جاده هراز بر اساس ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. جلد ۹، شماره **۱۲**،* بهار ۱۳۸۸، صفحات ۱۰۰-۸۳.

قدسی پور، حسن. ۱۳۸۷. *فرایند تحلیل سلسله مراتبی*. چاپ ششم. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]

محمدی، اقبال. ۱۳۷۴. *بررسی بهمن و شناسایی گذرگاهی آن در حوضه آبریز سیروان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

اسمیت، کیت. ۱۳۹۰. *مخاطرات محیطی*. ابراهیم مقیمی، شاپور گودرزی نژاد. چاپ سوم. انتشارات سمت، تهران.

مدیریت راهداری استان کردستان، ۱۳۹۳. *بهمن شناسی*.

ناجی، سارا. ۱۳۹۲. *پهنه‌بندی خطر بهمن خیزی محور کرج - چالوس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی.

یوسفی، صالح، مهدی وفا خواه و زهرا، عبدالهی؛ ۱۳۹۰. *پهنه‌بندی بهمن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. همایش ژئوماتیک ۹۰*.

Ayala, A.; Goudie, A. ۲۰۱٤. Geomorphological Hazards and Disaster Prevention. Chapter ٥ – Review and future challenges in snow avalanche risk analysis pp. ٤٩-٦٢. DOI http://dx.doi.org/۱۰.۱۰۱۷/CB۰۹۷۸۰٥۱۱۸۰۷٥۲۷.

Jaedicke, C.; Bakkehoi, S. ۲۰۰۷. Climate database for avalanche consulting and warning in Norway. Cold region science and technology, ۴۷: ۱۷۱-۱۷۹.

Cappabianca, F.; Barbolini, M.; Natale, l. ۲۰۰۸. Snow avalanche risk assessment and mapping: a new method based on a combination of statistical analysis, avalanche dynamics simulation and empirically-based vulnerability relations integrated in a GIS platform. Cold region science and technology ۵۴: ۱۹۳-۲۰۵.

Garcia, C. ; Gloria, M.; Oller, P.; Moner, I.; Gavalda, J.; Martinez, P.; Carlos Pena, J. ۲۰۰۹. Major avalanches occurrence at regional scale and related atmospheric circulation patterns in Eastern Pyrenees. Cold region science and technology ۵۹: ۱۰۶-۱۱۸.

Jamieson, B.; Haegeli, P.; Schweizer, J. ۲۰۰۹. Field observation for estimating the local avalanche danger in the Colombia Mountain of Canada. Cold region science and technology ۵۸ : ۸۴-۹۱.

Eckert, N.; Coleou, Casterbrunet, H.; Deschatres, M.; Giraud, G.; Gaume, J.۲۰۱۰. Cross-comparison of meteorological and avalanche data for characterizing avalanche cycles: The example of December ۲۰۰۸ in the eastern part of the French Alps. Cold region science and technology ۶۴: ۱۱۹-۱۳۶.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35]