پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال دوازدهم، شماره ۲، پاییز ۱۴۰۲
صص. ۷۱-۵۹

ارزیابی نقش نوع داده‌های ورودی بر دقت نقشه خطر بهمن برفی با رویکرد داده محور آنتروپی شانون

امید کاوسی- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
علی‌اکبر نظری‌سامانی * - دانشیار گروه احیا مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۰۹ تائید نهایی: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

چکیده

مخاطره بهمن به عنوان یک مخاطره دامنه‌ای است که طی چند دهه اخیر به دلیل تغییرات سرزمینی درمناطق کوهستانی ایران از اهمیت زیادی برخوردار شده‌است. به دلیل تاثیر عوامل مختلف و دور از دسترس بودن مناطق موثر بر رخداد بهمن در دهه‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های مختلف مدل سازی مکانی برای تعیین مناطق تحت خطر آن توسعه یافته است. ولیکن در همه مدل‌های داده محور برای آموزش اولیه نیاز به نقاط محل رخداد پدیده مورد نظر می‌باشد. بنابراین نوع پراکنش داده‌های آموزشی می‌تواند بر روی نقشه‌های خطرخروجی تأثیرگذار باشد. مهمترین هدف این پژوهش ارزیابی نوع داده‌های ورودی به روش داده محور (مبتنی بر آنتروپی شانون و رگرسیون لاجستیک) در تهیه نقشه پهنه بندی خطر بهمن برفی در محدودهٔ آبشار آب سفید شهرستان الیگودرز می‌باشد. برای این منظور پس از بازدید میدانی و تعیین نقاط دارای مخاطره بهمن، تعداد ۱۰ متغیر ژئومورفومتریک استخراج شد و با چهار روش مختلف، نقاط مستعد رخداد بهمن برفی برای مدل‌سازی معرفی شد. نتایج دقت مدل‌های پیشبینی (AUC)، نشان داد دقت نقشه‌های پیش‌بینی شده ۰/۸۱ تا ۰/۹۵ متغییر بوده است. همچنین معیارهای مرتبط با پوشش گیاهی و شیب (عامل انرژی) بیشترین وزن را در رخداد بهمن برفی به خود اختصاص دادند. یافته‌های مقایسه مکانی نقشه‌های تهیه شده با یکدیگر حاکی از تفاوت ۵۳٪-۹٪ بین مناطق مستعد رخداد بهمن در بین چهار روش معرفی شده می‌باشد. با توجه به‌طور نتایج دریافتی نوع روش معرفی نمونه‌های آموزشی مبتنی بر روند انتخاب تصادفی نقاط از محدوده تجمع برف دارای بیشترین دقت می‌باشد. در واقع به توجه به‌اینکه بهمن یک مخاطره مکانی می‌باشد لذا انتخاب نمونه‌های مورد نظر برا انجام آموزش نباید بر اساس محل تجمع و مشاهده پشته بهمن تجمع یافته باشد و باید بر پایه محل تجمع برف در بالادست آن انتخاب شود.

واژگان کلیدی: بهمن برفی، آنتروپی شانون، الیگودرز ، پهنه بندی، مدلسازی.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: aknazari@ut.ac.ir

مقدمه

امروزه بهمن برفی در مناطق کوهستانی برای مردم، خانه‌ها و ساختمان‌ها، امکانات و جاده‌ها یک خطر جدی محسوب می‌شود. برای مقابله با آن، فقط به‌حداقل‌رساندن خطرات بهمن کافی نیست، بلکه می‌بایست رفتارشناسی عملکرد بهمن‌ها به کمک اقداماتی مانند اندازه‌گیری حرکت آنها و مدیریت در زمان وقوع بهمن موردتوجه قرار گیرد. بااین‌وجود امروزه، روبرو شدن با پدیده‌ای به نام بهمن در مناطق کوهستانی، علی‌رغم تمام فعالیت‌هایی که برای ساکنان مناطق کوهستانی انجام شده است، همچنان طبیعی و معمول است. سال‌ها مردم در مناطق کوهستانی مجبور به مقابله با این تهدید طبیعی بوده‌اند. نحوه و مکان سکونت و نوع ساخت‌وساز، مدیریت جنگل و برنامه‌های کاربری اراضی، تهدیدات بهمن‌ها را در مناطق کوهستانی در دهه‌های اخیر به حداقل رسانده است (نیری و همکاران، ۲۰۱۶). تخریب و آسیب منازل مسکونی، تأسیسات صنعتی، بناها، ساختمان‌ها و... اغلب به عملیات مهندسی مربوط نمی‌شود، بلکه بیش از ٪۹۰ خسارات به علت مکان‌یابی و جایگزینی نادرست ساختمان‌ها و بناها است. این موضوع در مناطق بهمن خیز نیز صدق می‌کند و ممکن است بناهای بسیاری در مناطق پرخطر واقع شده باشند (عابدینی و مقیمی، ۲۰۱۳). تکنیک‌های کاهش بهمن و مدیریت بلایا در بسیاری از کشورهای جهان ایجاد شده است. قوانین و اصول کلی این تکنیک‌ها از جمله نظارت و جلوگیری از بهمن، مدیریت بهمن و جلوگیری از ساخت‌وساز یا توسعه در مناطق پرخطر در کوتاه‌مدت یا بلندمدت قابل‌اجرا هستند (یوسفی و همکاران، ۲۰۱۱). در هنگام وقوع بحران‌های طبیعی که با ناهنجارهای اجتماعی همراه می‌شود می‌بایست از قبل، یک برنامه مدیریتی کارآمد، تهیه و آماده گردد تا اولاً مناطق پرخطر شناسایی شوند و ثانیاً بتوان در استقرار مراکز امدادرسانی، کوتاه‌ترین و امن‌ترین راه‌های دسترسی به مراکز و بهترین تصمیم‌گیری‌ها را انجام داد (کلانگ[1]، ۲۰۰۲).

پدیده بهمن به خاطر مخاطراتی که ایجاد می‌کند از گذشته توجه محققان را به خود اختصاص داده است. در ایران برای اولین بار احمدی و همکاران پیرو مطالعاتشان در سال (۱۹۷۱) در کوههای پیرنه فرانسه اقدام به کارهای تحقیقاتی با عنوان بررسی مناطق بهمن‌خیز جاده چالوس و بعضی از راههای ارتباطی درجه دو نمودند. زارع بیدکی و همکارن برای نقشه خطر بهمن در جاده نسا–گچسر از اطلاعات ژئومورفولوژی و اقلیمی بهره گرفتند.در محور میگون – شمشک پیش‌بینی قابلیت رخداد بهمن با استفاده از رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر، بررسی شده است و با توجه به نتایج به ترتیب لایه‌ها، شکل دامنه، ارتفاع، رخنمون سنگی، شیب و جهت شیب، به‌عنوان عوامل مؤثر در منطقه تراکم برف شناخته شده‌اند. همچنین نقشه مناطق حساس به رخداد بهمن به روش رگرسیون لجستیک رخدادهای نادر، در سه کلاس خطر زیاد، خطر متوسط و کم‌خطر حاصل شده است که کلاس‌های کم‌خطر ٪۶۷/۳۵، خطر متوسط ٪۲۴/۵۹ و خطر زیاد ٪۸/۰۶ از مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج حاصل از این روش مهم‌ترین عامل در تراکم برف را، شکل دامنه شناخته است و نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل برای رگرسیون لجستیک رخدادهایی نادر برابر ٪۷۵ بوده است (نصرتی، ۲۰۱۶).

اقدامات مواجهه در برابر بحران در منطقه بهمن به دو شکل است. ابتدا شناسایی منطقه بهمن خیز و مناطق پرخطر در مناطق کوهستانی و علل وقوع بهمن، و سپس پیشگیری و یا کنترل بهمن (بلیکی و همکاران[2]،۱۹۹۴). تحقیقات در کوه‌های پیرنه در کشور فرانسه نشان داده است که پوشش‌های گیاهی در منطقه شروع بهمن، باعث افزایش تجمع برف در این منطقه و سنگینی توده‌های برف می‌شود و افزایش احتمال وقوع بهمن‌ها را در پی خواهد داشت (وان دن و همکاران[3]، ۲۰۰۶). مطالعات برف و بهمن در سراسر جهان پیشرفت چشمگیری داشته است و بسیاری از فعالیت‌های علمی و تخصصی در این زمینه در مراکز معتبر علمی در سراسر جهان انجام می‌شود. مهم‌ترین تحقیقات بنیادی در این زمینه در کشور

---

1. McClung
2. Blaikie, Cannon, Davies and Wisner
3. Van Den Eeckhaut, Vanwalleghem and Poesen

سوئیس انجام می‌شود که تقریباً دانش قابل‌توجه و مفیدی از سراسر جهان را در اختیار دارد (کاپابینکا و همکاران[1]، ۲۰۰۸). در کشور سوئیس ۲ درصد از کل خطرات این کشور مربوط به بهمن‌های برفی است. شکل‌گیری بهمن، شرایط رها شدن بهمن، نظارت بر تجمع و مدل‌سازی‌ها و همچنین پایداری توده برف از جمله مواردی هستند که می‌بایست مدنظر قرار گیرند (برندی، ۲۰۰۴). یکی از عواملی که در بررسی بهمن‌های اتفاق افتاده، به عنوان یک خلأ و یا اصطلاحاً گپ می‌توان یافت، این است که نحوه عملکرد، شیوه و تعداد انسان‌ها به عنوان مثال اسکی‌بازان یا کوهنوردان به چه نحوی بوده است؟ بدین منظور در کشور سوئیس با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی فعالیت دو گروه از کوهنوردان با استفاده از وب‌سایت آنها بررسی شده است و یک الگوی فضایی طولانی‌مدت از فعالیت‌های گردشگری زمستانی در کوه‌های آلپ سوئیس ارائه شده است و سپس نتایج با بهمن‌ها و اتفاقات رخداده مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داده‌اند که بهمن‌های رخداده اغلب نزدیک به مراکز اصلی تجمع بوده‌اند که معمولاً در قسمت‌های غرب و شمال واقع شده‌اند (کاوانسیان[2]، ۲۰۱۱). مدیریت بحران بهمن برفی با استفاده از ارزیابی بهمن‌های برفی و بررسی آنچه که در هنگام وقوع بهمن‌های برفی رخ می‌دهد، امکان‌پذیر شده است (شوایزرل[3]، ۲۰۱۵). در کشور ایران مطالعات در خصوص پدیده برف و بهمن‌های برفی نسبت به سایر مطالعات محدودتر است. در این مطالعه ضمن بررسی منطقه الیگودرز جهت تهیه نقشه پهنه بندی بهمن و عوامل موثر بر وقوع این مخاطره به مقایسه و مدلسازی ارزیابی نوع داده‌های ورودی معرفی شده به یک روش داده محور (مبتنی بر آنتروپی شانون و رگرسیون لاجستیک، Max.Ent) در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر بهمن برفی در محدودهٔ آبشار آب سفید شهرستان الیگودرز می‌باشد.

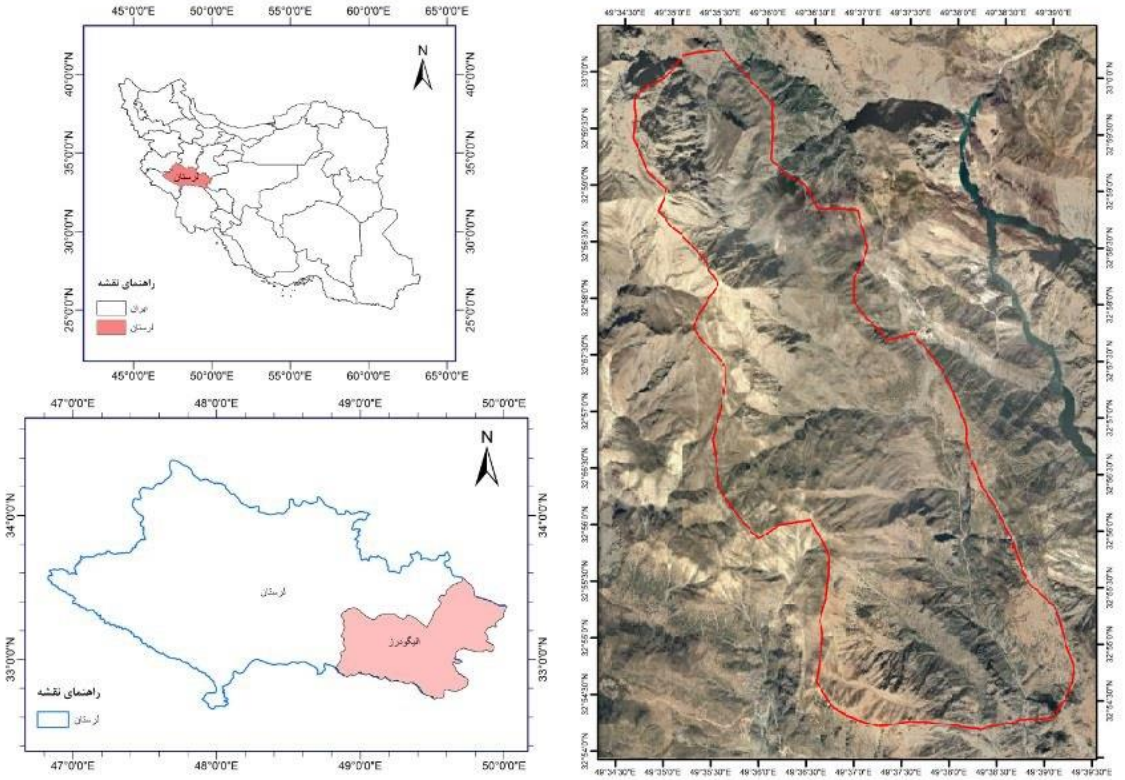
روش تحقیق

موقعیت منطقه مورد مطالعه

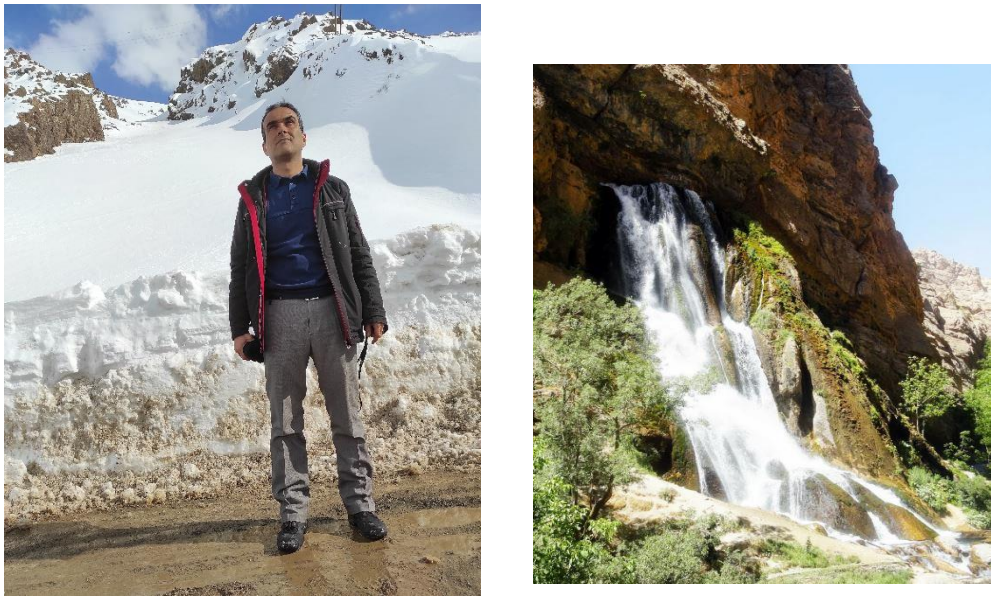
منطقه مورد مطالعه در ناحیه کوهستانی زاگرس مرکزی قرار گرفته‌است و در امتداد شرق به غرب کشیده شده‌است. اقلیم منطقه از آب وهوای بسیار سرد کوهپایه‌ای برخوردار است. حداقل ارتفاع ۱۵۲۶ و حداکثر ارتفاع ۳۳۶۳ از سطح دریا قرار دارد. روزهای یخبندان سالانه ۱۲۰ روز در سال و بارش میانگین سالانه ۵۵۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر است. به‌طورکلی این منطقه با پستی‌وبلندی بسیار زیاد و شیب‌های تند، از تنوع پوشش گیاهی و همچنین فرسایش شدید خاک برخوردار است. این منطقه در شهرستان الیگودرز واقع در استان لرستان بین۳۲ درجه و ۵۵ دقیقه و ۴۱ ثانیه تا ۳۳ درجه و ۰ دقیقه و ۸ ثانیه شمالی، و ۴۹درجه و۳۷ دقیقه و ۴۵ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۳۴ دقیقه و ۱۷ ثانیه طول شرقی مختصاط جغرافیایی قرار گرفته است که در شکل یک نشان داده شده است. شکل دو نشان دهنده سیمای طبیعی منطقه مورد مطالعه در فصل بهار و زمستان می باشد.

---

1. Cappabianca., F,Barbolini.,M,and Natale
2. Covasnian
3. Schweizerl, Bartelt and Herwijnen



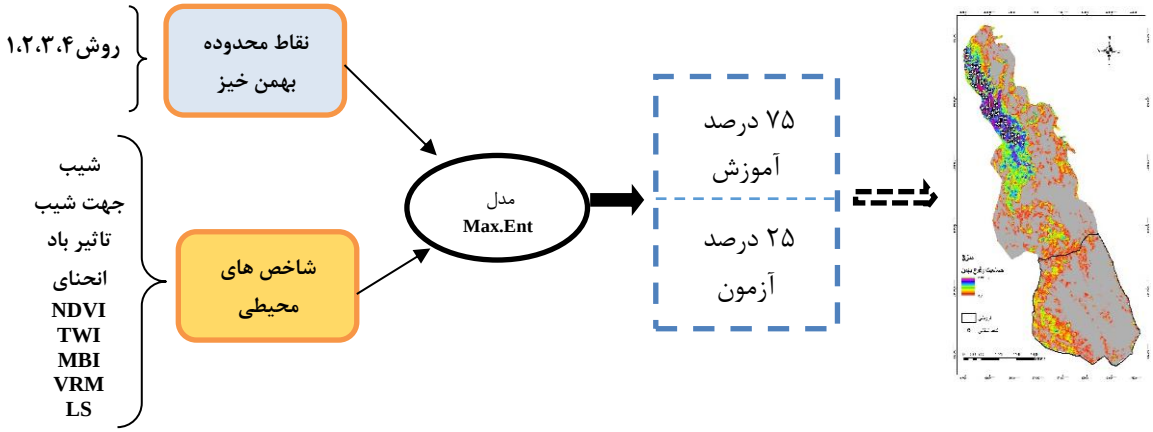
شکل۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه واقع در شهرستان الیگودرز استان لرستان



شکل۲: سیمای طبیعی منطقه مورد مطالعه

روش پژوهش

روش Max.Ent: روش ماکزیمم آنتروپی یک مدل آماری و یکی از الگوریتم های رایج یادگیری ماشـینی اسـت. ادوین تامپسون جینز برای اولین بار در سال ۱۹۵۷ از این قانون در نظریه اطلاعات استفاده کرد. در این روش، همبستگی تعداد بهینه عوامل مؤثر در وقوع بهمن با نقاط شواهد بهمن محاسبه و با همبستگی متغیرها با نقاط تصادفی از منطقه به عنوان نقاط زمینی (به عنوان نقاط عدم وقوع بهمن) محاسـبه می‌شـود(یوسـفی و همکاران، ۲۰۱۱). سـرانجام، مدلی به دسـت می‌آید که بیشترین قدرت را برای شناسایی مناطق بهمن دارد. استفاده از روش MaxEnt به عنوان یک روش وابسته به بهمن می‌تواند بسـیاری از ناکارآمدی‌ها را از بین ببرد(رجایی و همکاران، ۲۰۲۰). روندنمای اجرای پژوهش حاضـر جهت درک بهتر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل۳: روندنمای اجرای پژوهش حاضر

مطابق شکل فوق ورودی مدل مکسنت نیازمند ۲نوع داده ورودی یعنی نقاط بهمن‌خیز(متغیر وابسته مدل) و ویژگی‌های محیطی(متغیرهای مستقل) محدوده مورد مطالعه بود.

در این پژوهش به منظور شناسایی محدوده بهمن‌خیز از طریق بازدیدهای میدانی، پرس‌وجوهای محلی در منطقه شناسایی و محدوده های نشان‌گذاری شده در پایگاه Google Earth وارد شد. نقاط بهمن خیز از مناطق بالادست که بهمن از آنجا آغاز شده است انتخاب و مورد مطالعه و بررسی بیشتر قرار گرفتند. متغیرهای مستقل مدل مکسنت که شامل ویژگی‌های محیطی محدوده مورد مطالعه بود (شیب[۱]، جهت شیب[۲]، شاخص LS[۳]، شاخص TWI[۴] ، تاثیر باد[۵] ، شاخص VRM[۶] ، شاخص MBI[۷]، شاخص انحنای دامنه[۸] و انحنای کلی[۹]، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده(NDVI[۱۰])) با استفاده از روش‌های ذکر شده در در جدول شماره یک در نرم افزار Saga gis تهیه شد. نقشه این متغیرها در شکل۴ نشان داده شده است.

[1] Slope
[2] Aspect
[3] Length of Slope
[4] Topographic Witness Index
[5] Wind Effect
[6] Vector Terrain Ruggedness
[7] Mass Balanc Index
[8] Plan Curvature
[9] General Curvature
[10] Normalized Difference Vegetation Index

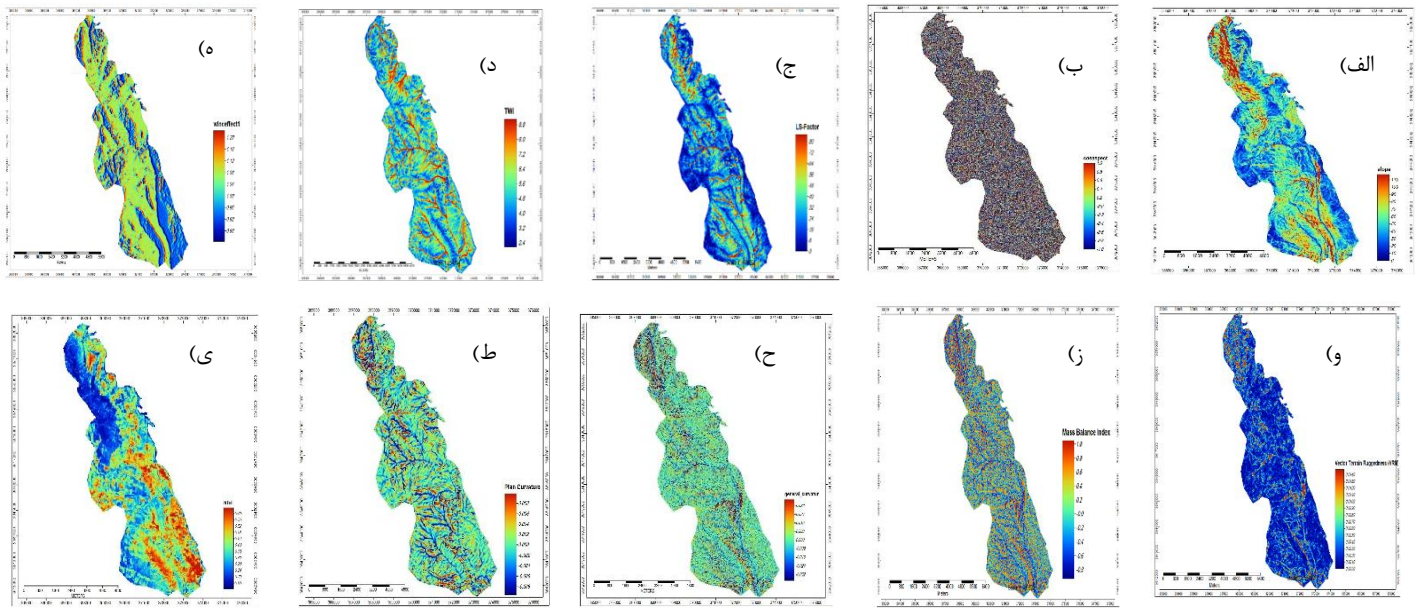
جدول۱: شاخص‌های محیطی مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

نوع شاخص	روش انجام
شیب	زوربرگن و تورن، ۱۹۸۷
LS	الیا و کنارد، ۲۰۰۶
TWI	الیا و کنارد۲۰۰۶
انحنا(PC)	الیا و کنارد۲۰۰۶
انحنا(GC)	الیا و کنارد۲۰۰۶
NDVI	کریگر۱۹۶۹
تاثیر باد	الیا و کنارد۲۰۰۶
جهت شیب	زوربرگن و تورن۱۹۸۷
تعادل توده MBI	الیا و کنارد۲۰۰۶
سنجه زبری زمینVRM	الیا و کنارد۲۰۰۶

همانطور که در هدف مقاله بیان شد در روش های مبتنی بر انبوه داده و تحلیل های داده محور نوع داه‌های مورد استفاده برای مرحله آموزش مدل ها از اهمیت خاصی برخوردار است. در بیشتر موارد بر پایه محل‌های مشاهداتی پدیده مورد نظر و بر اساس رهیافت تصادفی نقاط نمونه برداری برای آموزش مدل استفاده می‌شود. بهمن پدیده مخاطره دامنه‌ای و محل مشاهده آن با محل رخداد متفاوت می‌باشد. لذا در صورتیکه برای‌آموزش مدل‌ها فقط بر پایه محدوده مشاهداتی توده بهمن اقدام شود در عمل منجر به ایجاد خطا خواهد شد. برای همین منظور و بررسی تأثیر این مسئله نوع داده‌های ورودی مربوط به نقاط بهمن‌خیز بر پایه چهار روش مختلف انتخاب شدند. الف) در روش اول نقاط انتخابی بر اساس نوع رخساره ژئومرفولوژی سطح زمین و در منطقه بیرون‌زدگی‌های سنگی انتخاب شد (حالت ۱)، ب) در روش دوم انتخاب نقاطی مورد توجه بوده‌اند که که شیب‌های۳۵–۴۵ درجه داشتند، دلیل این مقدار شیب بر اساس مرور منابع بوده است. در بیشتر مطالعات دامنه شیب فوق به عنوان مهمترین محدوده بیان شده است (زارع بیدکی، ۱۳۸۵) (حالت۲)،ج) روش سوم انتخاب نقاط به طور تصادفی در محدوده‌های تجمع برف بوده است، این روش مطابق با روال عادی نرم افزا می‌باشد (حالت۳)، روش چهارم انتخاب نقاط به صورت شبکه‌ای با فاصله منظم ۱۵۰ متر از یکدیگر در محدوده تجمع برف بود. در این روش شبکه منظمی در سطح منطقه گسترده شد و سپس به طور تصادفی از داخل این شبکه ها نقاط آموزش انتخاب شدند (حالت۴). در مرحله بعد با استفاده از هر کدام از روش‌های نمونه برداری مذکور عمل مدلسازی انجام شد. در پایان به منظورارزیابی روش‌های مذکور از شاخص‌های ارزیابی و اعتبارسنجی نقشه‌های خطر بهمن تولید شده بهره گیری شد. شاخص سطح زیر منحنی(AUC[1]) عامل دریافت کننده (ROC[2]) که برابر با احتمال تشخیص صحیح میان نقاط حضور و عدم حضور توسط مدل است (فیلدینگ و بل[3]، ۱۹۹۷). این شاخص به‌عنوان معیار استاندارد ارزیابی برای مدل‌های پیش بینی طبقه بندی مورد قبول است (دان و همکاران[4]، ۲۰۱۴). مقادیر سطح زیر منحنی بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند اگر سطح زیر منحنی کمتر از ۰/۵ باشد بیان کننده تصادفی بودن مدل است و اگر این مقدار برابر با ۱ باشد، مدل به بهترین نحو نقاط حضور و عدم حضور را از یکدیگر تفکیک می‌کند به‌طوری که AUC بین ۰/۷ تا ۰/۸ بیانگر مدل خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ عالی و بیش از ۰/۹، بیانگر پیش‌بینی بسیار عالی مدل است (جیوانلی و همکاران[5]، ۲۰۱۰).

[1] Area Under Curve
[2] Receiver Operating Characteristic
[3] Fielding and Bell
[4] Duan, Kong, Huang, Fan and Wang
[5] Giovanelli, de Siqueira, Haddad & Alexandrino

از طرف دیگر در فرایند مدل‌سازی پهنه بندی خطر وقوع بهمن ، شناخت در جه اهمیت متغیرهای ورودی اهمیت زیادی دارد.در واقع با شناخت مقدار اهمیت نسبی عوامل ورودی می‌توان در تحلیل دلایل آسیب پذیری بیشتر و همچنین نحوی مقابله با مخاطره مذکور اهتمام ورزید. برای این کار از روش جک نایف استفاده می‌شود. در این روش یک متغیر در زمان اجرای مدل حذفمی‌شود و مدل با دیگر متغیرهای اجرا می‌شود و در پایان مقدار شاخص ROC محاسبه می‌شود. در نهایت مقدار سهم اثر هر متغیر بر اساس مقدار تغییر در شاخص ارزیابی براورد میشود. مدلی نهایی با تمامی متغیرهای شرکت کننده در مدل ایجاد می‌کند. با این کار اطلاعاتی از تأثیر هر متغیر در مدل و اینکه هرمتغیر چه میزان اطلاعات منحصربه‌فرد ایجاد می‌کند فراهم می‌شود (جعفرزاده و همکاران، ۱۳۹۹).



شکل ۴ : نقشه های عوامل مؤثر بر وقوع بهمن: الف)شیب ، ب)جهت شیب ، ج)شاخص LS ، د)شاخص TWI ، ه)تاثیر باد ، و)شاخص VRM ، ز)شاخص MBI ، ح)انحنای دامنه ، ط)انحنای کلی و ی) شاخص (NDVI)

بحث و یافته‌ها

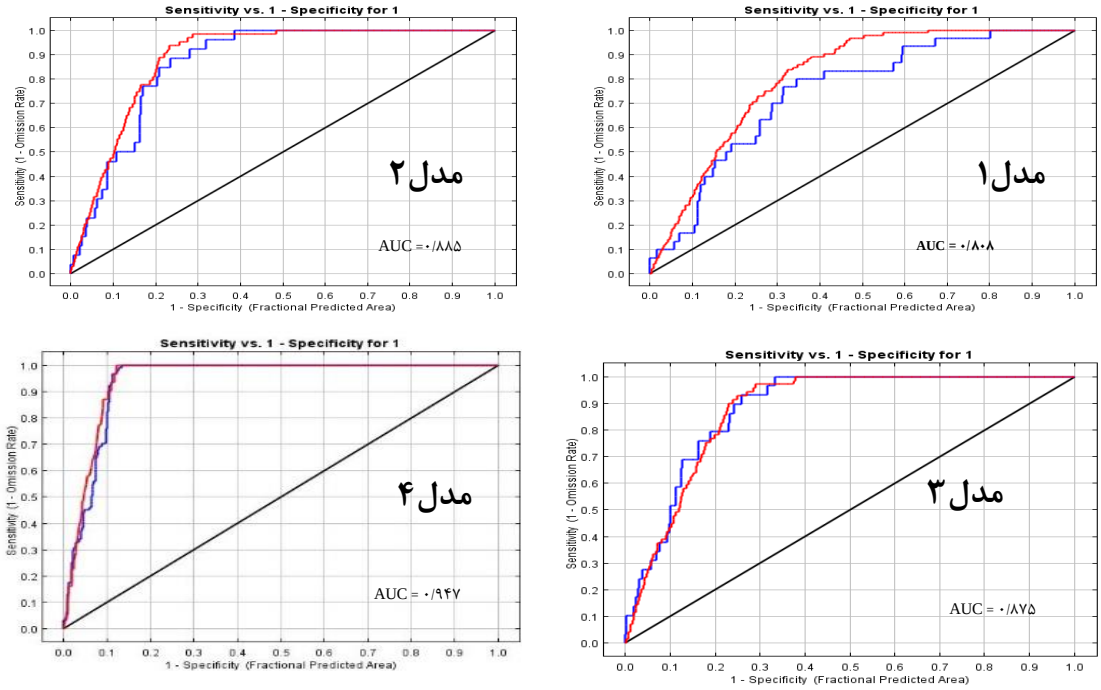
شکل۵ سطح زیر منحنی (AUC) مدل حاصل از نرم‌افزار آنتروپی بیشینه را نشان می‌دهد . مقادیر این شاخص برای هرکدام از ۴ مدل به ترتیب در حالت آموزش و آزمون برای: مدل اول) ۰/۸۰۸ و ۰/۷۴۷ مدل دوم) ۰/۸۸۵ و ۰/۸۶۸ مدل سوم) ۰/۸۷۵ و۰/۸۸۱ مدل چهارم) ۰/۹۴۷ و ۰/۹۴۱ می‌باشد و بنابر آنچه درباره AUC قبلا بیان شد نتایج گویای آن است که تمامی مدل‌ها در دسته مدل‌های عالی جای دارند. از مزیت های مدل مکسنت توانایی شناسایی درصد نقش و سهم هر کدام از عوامل در خروجی مدل است به نحوی بیانگر مقدار حساسیت مدل مکسنت نسب به هر یک از عوامل است نتایج این مهم در جدول۲ برای هر کدام از ۴ مدل مذکور آورده شده است. مطابق این جدول مهمترین متغیرهایی که بیشترین سهم را در مدل داشته اند و به عبارتی مجموع این ۲ شاخص بیش از ۷۰ درصد سهم کل شاخص های محیطی را داشته اند آورده شده است. نتایج حاصل از جدول۲ گویای آن است که نتایج خروجی مدل های اجرا شده نسبت به شاخص‌های شیب و پوشش گیاهی دارای اهمیت زیادی می‌باشد.

شکل۶ نتایج تحلیل آماره جک نایف را نشان می‌دهد. این منحنی دستیابی به افزوده را در سه حالت مختلف مدل (بدون متغیری خاص، تنها با یک متغیر خاص و با تمام متغیرها) نشان می‌دهد. مطابق نتایج این تحلیل در مدل ۱ بیشترین تاثیر مربوط به شاخص‌های NDVI و Slope ، مدل شماره ۲ مربوط به شاخص‌های Slope و TWI، مدل ۳ مربوط

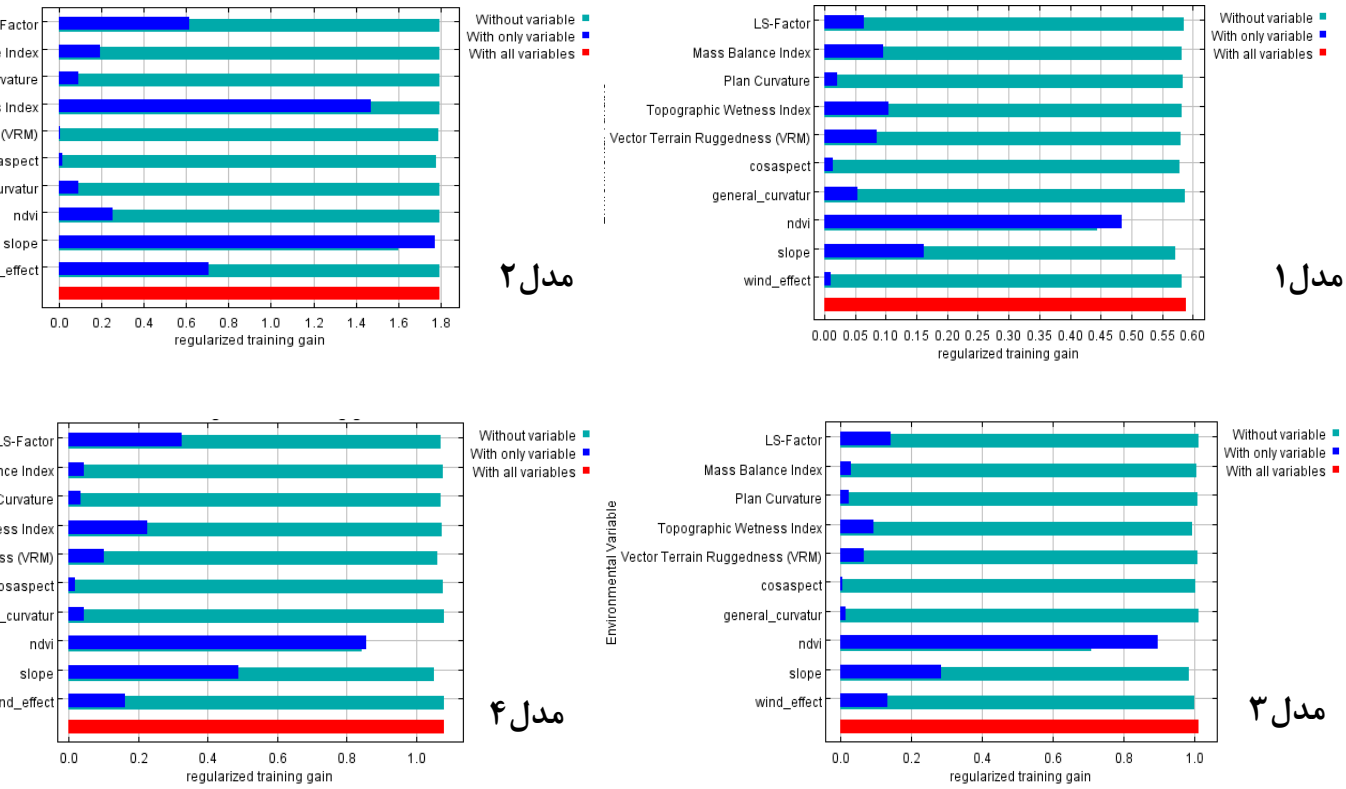
به شاخص‌های NDVI و Slope ، در مدل شماره۴ شاخص‌های NDVI و Slope بیشترین تاثیر را مطابق آزمون جک‌نایف در خروجی مدل داشته‌اند.

جدول۲: موثر ترین شاخص های محیطی موثر در وقوع بهمن به تفکیک هر یک از چهار مدل فوق

مدل ۱		مدل ۲		مدل ۳		مدل ۴	
نوع شاخص	**درصد سهم**	**نوع شاخص**	**درصد سهم**	**نوع شاخص**	**درصد سهم**	**نوع شاخص**	**درصد سهم**
NDVI	۶۵	Slope	۷۶	NDVI	۷۱	NDVI	۶۹
Slope	۱۲	CosAspect	۱۰	Slope	۹	Slope	۱۵



شکل۵: نتایج سطح زیر منحنی (AUC) حاصل از اجرای ۴ مدل



شکل۶. نتایج آزمون جک نایف برای تعیین اهمیت متغیرهای محیطی در توسعه هر یک از ۴ مدل فوق

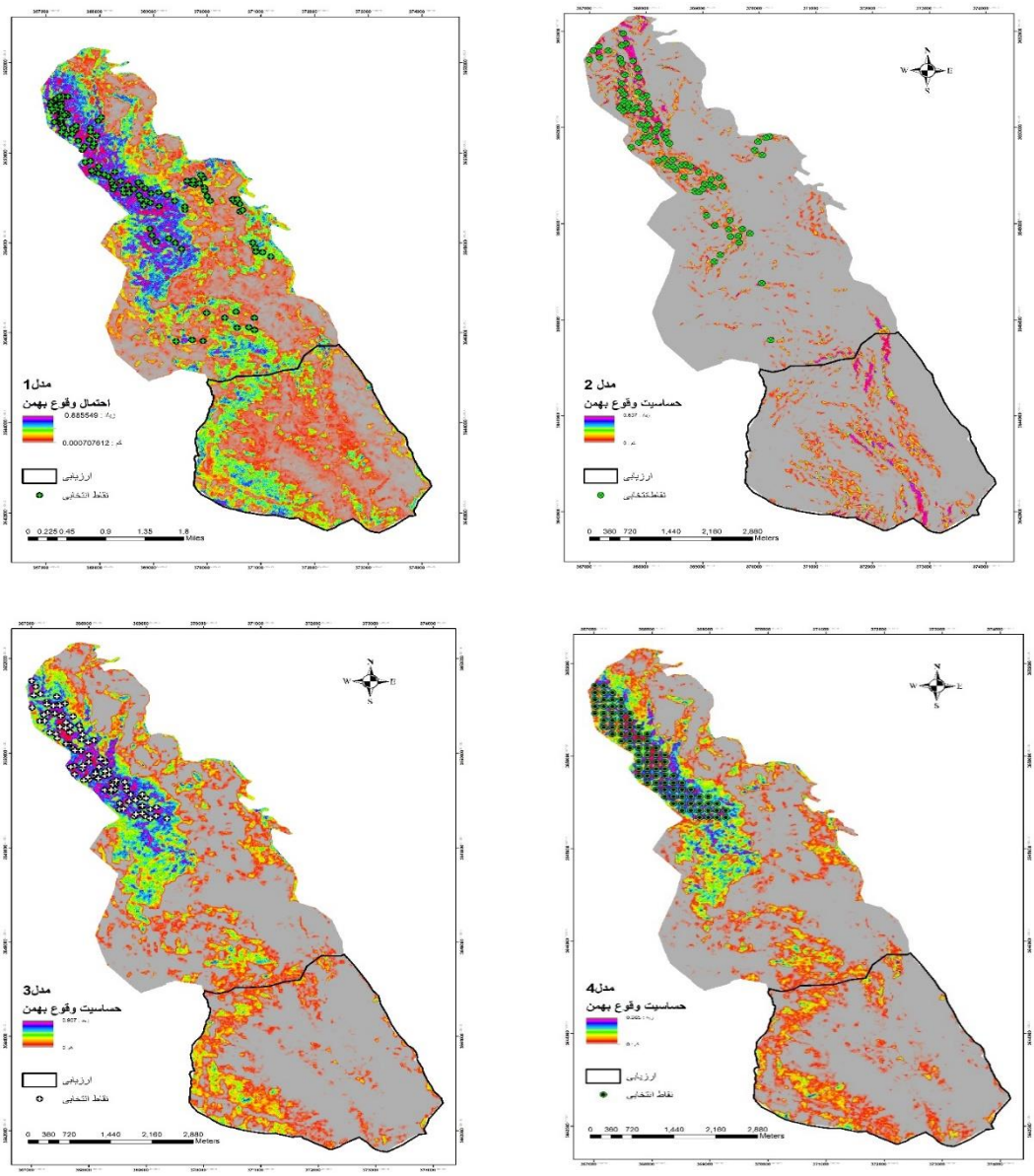
تفسیر نقشه پهنه‌بندی خطر بهمن و ارتباط آن با رویکردهای مدیریتی

با پهنه‌بندی میزان خطر در نواحی که فرآیند بهمن اتفاق میافتد و در اختیار داشتن اطلاعات مربوط به آن، می‌توان بهتر به ارزیابی میزان خطر ناشی از آن پرداخت. اکنون ما نقشه خطر بهمن را تهیه کرده‌ایم که به ما نشان می دهد با توجه به عوامل محیطی و زمینی در چه مناطقی ممکن است بهمن های خطرناک داشته باشیم. نقشه نهایی پهنه بندی حساسیت به خطر بهمن برفی با توجه به ۱۰ شاخص‌های محیطی با استفاده از مدل آماری مکسنت که دارای ارزش‌های عددی بین ۰ و ۱ است بدست آمد (شکل ۶). اهمیت پهنه‌بندی در تفکیک مناطق بسیار کارآمد است به این معنی که مناطق را با احتمال رخ داد را تفکیک می‌کند که این مهم در تصمصم گیری‌های مدیریتی جهت اولویت‌بندی انجام اقدامات عملی در محدوده بهمن‌خیز اهمیت چشمگیری دارد. برای مثال در نقشه مذکور مناطقی که داری ارزش‌های عددی پایین و نزدیک به صفر دارند نشان دهندهٔ مناطق با پتانسیل و یا خطر کمتر وقوع بهمن است درحالی که مناطق باارزش عددی نزدیک به ۱ دارای بیشترین خطر نسبت به وقوع رخداد بهمن قرار دارند. به‌طورکلی مناطق شمال غرب تا جنوب غرب بیشترین حساسیت را نسبت به شروع بهمن در منطقه مورد مطالعه تقریبا در تمامی مدل‌ها نشان می‌دهد و در واقع اولویت انجام اقدامات مدیریتی جهت تصمصم‌گیری مسولین این محدوده می باشد.

ارزیابی نقشه‌های خطر بهمن

به منظور ارزیابی نقشه‌های خطر بهمن با یکدیگر قسمتی از محدوده مورد مطالعه به عنوان محدوده ارزیابی مدل انتخاب گردید (در شکل۷ این محدوده با خط مشکی جدا شده است). جهت انجام این کار نقشه ها با یکدیگر تطبیق سازی شدند نتایج حاصل از انطباق این نقشه‌ها بایگدیگر و میزان درصد اختلاف بین نقشه های حاصل از چهار مدل در جدول۳ آورده

شده است. مطابق این جدول کمترین میزان انطباق در بین نقشه‌های خطر بهمن حاصل از مقایسه بین مدل یک و مدل دو است که میزان این اختلاف ۵۳ درصد می‌باشد و همچنین بیشترین میزان انطباق مربوط به مدل سه و مدل چهار می‌باشد که عدم انطباق پذیری آنها ۹ درصد می باشد. همچنین تطبیق نتایج با مشاهدات میدانی گویای آن است که مدل شماره سه بهترین نتیجه را در شناسایی نقاط بهمن خیز در محدوده مورد ارزیابی پیش‌بینی کرده است.



شکل۷: نقشه نهایی پهنه بندی خطر بهمن در منطقه مورد مطالعه مربوطه به تفکیک هریک از ۴ مدل فوق

جدول۳: ماتریس عدم انطباق پذیری نقشه پهنه‌بندی خطر به تفکیک هریک از ۴ مدل

ماریس اختلاف (عدم انطباق)	مدل ۱	مدل ۲	مدل ۳	مدل ۴
مدل۱	۰	۵۳٪	۳۱٪	۳۴٪
مدل۲	۵۳٪	۰	۲۴٪	۱۹٪
مدل۳	۳۱٪	۲۴٪	۰	۹٪
مدل۴	۳۴٪	۱۹٪	۹٪	۰

نتیجه گیری

در دهه‌های اخیر استفاده از الگوریتم‌های مختلف مدل سازی توسعه یافته است. از طرف دیگر در همه مدل‌های داده محور به منظور آموزش اولیه مدل نیاز به معرفی نقاط مرتبط با محل رخداد آن پدیده مورد نظر می‌باشد. در بیشتر موارد برای مدل سازی پدیدهای دامنهای از محل مشاهده ان پدیده (اعم از پشته بهمن یا توده لغزشی) برای معرفی نقاط آموزشی به مدل پهنه‌بندی خطر استفاده می‌شود. بنابراین نوع پراکنش دادهای ورودی می‌تواند بر روی نقشه‌های خروجی تأثیرگذار باشد. در پژوهش جاری نوع روش مورد استفاده برای معرفی داده‌های ورودی برای اموزش مدل پهنه بندی خطر باروش داده محور آنتروپی شانون مبتنی بر رگرسیون لاجستیک (Max.Ent) در محدودهٔ کوهستانی منطقه توریستی آبشار آب سفید شهرستان الیگودرز مورد ارزیابی قرارگرفت. بدین منظور داده‌های ورودی مربوط به نقاط بهمن‌خیز از ۴ روش نمونه برداری استفاده شده که شامل الف) انتخاب نقاطی که در منطقه بیرون‌زدگی‌های سنگی وجود دارد؛ ب) انتخاب نقاطی که شیب‌های شیب‌های۳۵–۴۵ درجه داشتند (مدل۲)، ج) روش سوم انتخاب نقاط تصادفی در محدوده‌های تجمع برف (مدل۳)، د) روش چهارم انتخاب نقاط به صورت شبکه ای با فاصله منظم ۱۵۰ متر از یکدیگر در محدوده تجمع برف (مدل۴). همچنین ویژگی‌های ژئومورفومتری زمین (شیب ، جهت شیب ، شاخص LS ، شاخص TWI ، تاثیر باد ، شاخص VRM ، شاخص MBI ، انحنای دامنه شاخص NDVI و انحنای کلی) مورد استفاده قرار گرفت. بر پایه یافته ها شاخص‌های پوشش گیاهی (زمین) و شیب در همه ۴ مدل جزء مهم‌ترین متغیرهای محیطی بودند که بیشترین تاثیر را در پهنه بندی خطر بهمن در بین سایر شاخص‌های مؤثر داشته است. در واقع رخ داد بهمن تحت تأثیر شرایط زیبری زمین از یکسو و عامل تعیینکننده نیروی ناپایداری پشته برفی (شیب) از سوی دیگر دارد. علی رغمک ایکه ثبات پشته برفی تحت تأثیر نیروی ثقل (ارتفاع برف) میباشد ولیکن با افزایش شیب (بیش‌از ۴۵ درجه) مقدار مولفه تنش برفی (موازی شیب) بسیار بیشتر از مولفه پایداری (عمود بر شیب) خواهد بود. بنابراین عامل شیب و زبری زمین به عنوان دو عامل موثر شناخته شدند. زبری ناشی از شرایط پوشش زمین و پوشش گیاهی از اهمیت بیشتری نسبت به زبری توپوگرافی برخودار است. درواقع این ضریب زبری با تاثیر بر مقدار پارمتر ضریب اصطکاک جنبشی بهمن موجب کاهش سرعت و افزایش پایدار ی می‌شود. همچنین بررسی‌های مربوط پوشش گیاهی گویای آن بود که مناطق با مقادیر NDVI کمتر از ۰/۲۵ بیشترین تاثیر را در وقوع بهمن در منطقه الیگودرز دارد که این مناطق شامل نقاطی است که پوشش گیاهی به صورت پراکنش نقطه ای پراکنده بوده که منجر به انقطاع پیوستگی برف در منطقه شده و گسستگی را به دنبال دارد که منجر به آشفتگی و وقوع بهمن می‌شود. در این پژوهش مقادیر بالای AUC نشان دهنده مدلسازی خیلی خوب برای مناطق بهمن خیز مورد مطالعه بود. به منظور ارزیابی نقشه‌های فوق با یکدیگر قسمتی از محدوده مورد مطالعه به عنوان محدوده ارزیابی مدل انتخاب گردید (شکل۷). نتایج حاصل از انطباق این نقشه‌ها با یگدیگر و میزان درصد اختلاف بین نقشه های حاصل از چهار مدل در جدول۳ آورده شده است. مطابق این جدول کمترین میزان انطباق در بین نقشه‌های فوق حاصل از مقایسه

بین مدل یک و مدل دو است که میزان این اختلاف ۵۳ درصد می‌باشد و همچنین بیشترین میزان انطباق مربوط به مدل سه و مدل چهار می‌باشد که عدم انطباق پذیری آنها ۹ درصد می باشد. همچنین تطبیق نتایج با مشاهدات میدانی گویای آن است که مدل شماره سه بهترین نتیجه را در شناسایی نقاط بهمن خیز در محدوده مورد ارزیابی پیش‌بینی کرده است.

نتایج نشان داد برخی از مناطق بالادست که دارای خطر بهمن زیاد هستند، عملاً از لحاظ ریسک چندان حائز اهمیت نمی‌باشند، زیرا که در این مناطق تأسیسات یا موارد مهمی که در اثر وقوع بهمن متحمل خسارت و صدمه شدید شوند، وجود ندارد و وقوع این بهمن‌ها یک پدیده طبیعی بوده است که خساراتی نیز نداشته است. اما در صورت وقوع بهمن و انتقال به مناطق پایین دست که جاده و راه دسترسی و حمل و نقل می‌باشد مسدود خواهد شد. در واقع در این مناطق اگر بهمن متوسطی هم رخ دهد ممکن است خسارات و صدمات جانی و مالی بر جای گذاشته شود. به‌طور کلی مناطق شمال غرب تا جنوب غرب بیشترین حساسیت را نسبت به شروع بهمن در منطقه مورد مطالعه تقریبا در تمامی مدل‌ها نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌گردد به دلیل آنکه در کشور ما به موضوع مخاطره بهمن کمتر توجه شده است مطالعات جامع‌تری دراین زمینه صورت گیرد. همچنان که نتایج این پژوهش نیز گویای آن بود فرآیند مدلسازی باید ارزیابی و با داده‌های زمینی صحت سنجی شود و تنها به نتایج مدلسازی اکتفا نکرد. پیشنهاد می‌گردد روش‌های مدلسازی در مناطق دیگر نیز اجرا و نتایج آن با پژوهش حاضر مقایسه گردد.

منابع

- *Abedini,M.,Moghimi,E.,(2013). The role of geomorphological straits in the physical development of Tabriz metropolis for optimal use. Journal of Geography and Environmental Planning.vol,23.N0,1. [In Persian].*
- *Ahmadi, H., Taheri, S., (2008), "Snow and avalanche control", FAO Compilation of Soil Conservation Section, Tehran: Tehran University Press. [In Persian].*
- *Blaikie, P., Cannon, T., Davies, I. and Wisner, B.,(1994) At Risk. Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters. Routledge, New York, 284pp-*
- *Cappabianca., F,Barbolini.,M,and Natale.,L. (2008), 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 Regions Science and Technology, 54, pp. 193–205.*
- *Covasnian , A., (2011). Mapping Snow Avalanche Risk Using GIS Technique and 3D Modeling: Case Study Ceahlau National Park (July 12, 2011). Available at http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1884082*
- *Duan, R.Y., X.Q. Kong, M.Y. Huang, W.Y. Fan and Z.G. Wang. 2014. The Predictive performance and stability of six species distribution models. PLoS ONE, 9(11): e112764.*
- *Engineering, Iran, Watershed Management Organization of Iran. 2 May 2009. [In Persian].*
- *Fielding, A.H. and J.F. Bell. 1997. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models. Environmental Conservation, 24(1): 38-49.*
- *Giovanelli, J. G., de Siqueira, M. F., Haddad, C. F., & Alexandrino, J. (2010). Modeling a spatially restricted distribution in the Neotropics: How the size of calibration area affects the performance of five presence-only methods. Ecological Modelling, 221(2), 215-224.*
- *Jafarzadeh, M. S., Haghizadeh, A., Pourghasemi, H., Rouhani, H. (2020). The Effect of*

Observation Data Sampling Methods on Infiltration Areas by Maximum Entropy Model. jwmr; 11 (22) :96-110. [In Persian].

- *Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., & Richardson, W. (1969). Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition. Remote sensing of environment, VI, 97.*
- *M.Brundi, (2004).IFKIS- a basis for managing avalche risk in settlements and on roads in Switzerland.Natural hazards and earth system sciences Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 4, 257–262, 2004*
- *McClung, D., (2002). Guidelines for snow avalanche risk determination and mapping in Canada Canadian Avalanche Association, Revel stoke, British Columbia, Canada. pp 3-4.*
- *Nayyeri, H., Karami, M.and Charehkhah, B.,(2016). Zonation of Avalanche Pathways of Kurdistan Province. Jsaeh. 3, 35-50. https://doi: 10.18869/acadpub.jsaeh.3.2.35. [In Persian].*
- *Nosrati, Kazem. (2016): Prediction of avalanche occurrence in Meghun-Shemshak axis using logistic regression of rare geographical events and environmental hazards, No. 17, Spring 2016. [In Persian].*
- *Olava, V. and Conrad, O., 2006. Geomorphometry in SAGA. In: Hengl, T. & Reuter, H.I. (Eds.). Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*
- *Rajaee, A., Motamedvaziri, B., Nazariye samani, A., & Ahmadi, H. (2022). Assessing the degree of sensitivity and estimating the possible damage of Shemshak basin in case of avalanche using HEV model. Journal of Range and Watershed Managment, 74(4), 747-769. doi: 10.22059/jrwm.2022.315196.1554*
- *Schweizerl. J, Bartelt.p., and Herwijnen.A, (2015): Snow avalanches: WSL Institute for snow and avalanches research SLF, Davos, Switzerland*
- *the central Alborz areas", Fifth National Conference on Watershed Management Sciences and*
- *Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G. and Vandekerckhove, L., (2006). Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: A case-study in the Flemish Ardennes (Belgium).*
- *Yousefi, S., Vafakhah, M., and Abdollahi, Z., (2011). Avalanche zoning using Geographic Information System (GIS), Geomatics conference. 90: 27-25. [In Persian].*
- *Zare Bidaki, R., Ahmadi, H., Mahdavi, M., (2009), "Review of the avalanche condition of*
- *Zevenbergen, L.W. and Thorne, C.R., 1987. Quantitative Analysis of Land Surface Topography. Earth Surface Processes and Landforms 12, 47-56.*