

ارائه‌ی مدل ارزیابی خطر ریزش بهمن در محورهای کوهستانی (مطالعه موردی: محور کرج-چالوس)

مرتضی اسد امرجی^۱، محمود صفارزاده^۲، شهاب حسن‌پور^{۳*}، نغمه رسولی^۴

۱- پژوهشگر ارشد پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه

۲- استاد گروه مهندسی راه و ترابری، دانشگاه تربیت مدرس و رییس پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه

۳- عضو هیأت علمی گروه مهندسی عمران، دانشگاه آیت‌الله بروجردی و پژوهشگر پژوهشگاه حمل و نقل طراحان پارسه

۴- کارشناس ارشد حمل و نقل

Saffar_m@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۱۱

چکیده- ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی ایران یکی از حوادثی است که در ماه‌های سرد سال امکان وقوع دارد و موجب مسدود شدن برخی از جاده‌های اصلی کشور می‌شود. این موضوع به‌خصوص در مسیرهای ارتباطی بین پایتخت و شمال کشور بیش‌تر مشهود است. ارزیابی و بررسی وضعیت بهمن‌خیزی نقاط جاده با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و در صورت نیاز، مطالعات میدانی و تهیه‌ی عکس‌های هوایی انجام می‌پذیرد. در این خصوص جمع‌آوری اطلاعات منطقه‌ای، پایداری شیب، زمین‌شناسی، تعدد و تکرر و ترافیک جاده ضروری است. در این تحقیق، با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۱ میزان اهمیت هر یک از اطلاعات و پارامترهای مذکور تعیین می‌شود. روش کار بدین صورت است که با نظرسنجی از خبرگان و کارشناسان، وزن‌های نسبی و سپس با به‌کارگیری نرم‌افزار EXPERT CHOICE میزان وزن‌های نهایی هر پارامتر تعیین می‌شود؛ در نتیجه مدل خطرسنجی ریزش بهمن که میزان ریسک ریزش بهمن را در نقاط مختلف محورها نشان می‌دهد، تعیین خواهد شد. مدل مذکور در محور کرج-چالوس که بین استان‌های البرز و مازندران قرار دارد و یکی از ۴ شریان اصلی ارتباطی بین پایتخت و شمال کشور است، به‌کارگرفته شد و میزان خطر نقاط مختلف ریزش بهمن با روش فوق مشخص شد. براساس روش فوق ۱۵ نقطه‌ی دارای خطر ریزش بهمن در جاده‌ی کرج-چالوس و اولویت هر نقطه به لحاظ ریسک تعیین شد که به ترتیب نقاط واقع در کیلومترهای ۶۵، ۷۳ و ۶۰ از مبدأ کرج خطر بیش‌تری دارند و باید روش‌های ایمن‌سازی در مقابل بهمن برای آن‌ها به‌کار گرفته شود.

واژگان کلیدی: ریسک، ریزش بهمن، جاده‌های کوهستانی، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP).

۱- مقدمه

دارند؛ از کشورهای توسعه‌یافته نظیر ایالات متحده، ژاپن تا کشورهای جهان سوم نظیر ایران که بلایای طبیعی فراوانی آن

روز به روز بر خطرات ناشی از بلایای طبیعی افزوده می‌شود که بیش‌تر کشورهای دنیا در معرض چنین خطراتی قرار

نرم‌افزار EXPERT CHOICE میزان اهمیت هر یک از اطلاعات و پارامترهای مذکور تعیین و پس از نظرسنجی خبرگان و کارشناسان و تعیین وزن‌های نسبی با نرم‌افزار، وزن‌های نهایی هر پارامتر تعیین می‌شود. نوآوری آن، ارایه‌ی مدلی ریاضی است که میزان خطر ریزش بهمن در نقاط مختلف محوری کوهستانی را به‌منظور اولویت‌بندی مشخص می‌کند. مدل مذکور در محور کرج-چالوس که بین استان‌های البرز و مازندران قرار دارد و یکی از ۴ شریان اصلی ارتباطی بین پایتخت و شمال کشور است به‌کارگرفته و میزان خطر ریزش بهمن در نقاط مختلف مشخص شد.

۲- اهداف تحقیق

هدف اصلی در پژوهش پیش‌رو، تعیین اهمیت هر یک از پارامترهای ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی و اولویت‌بندی میزان خطر ریزش در نقاط مختلف است. اهداف دیگر این مقاله عبارتند از:

- مشخص نمودن نقاط ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی
- خطرسنجی ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی
- مقایسه‌ی میزان خطر ریزش بهمن بین نقاط مختلف یک محور کوهستانی
- اولویت‌بندی ایمن‌سازی نقاط دارای پتانسیل ریزش بهمن
- ارائه‌ی شاخصی به‌منظور اولویت‌بندی نقاط ریزش بهمن
- امکان تخصیص بهینه‌ی امکانات و بودجه‌ی مناسب برای رفع نقاط ضعف ریزشی بهمن و مقاوم‌سازی آن‌ها

۳- مروری بر ادبیات تحقیق

به‌منظور انتخاب بهترین پارامترها برای مدل پیشنهادی ارزیابی ریسک ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی در گام

را تهدید می‌کند [۱]. یکی از عمده‌ترین بلایای طبیعی که راه‌های کشور به خصوص محورهای کوهستانی را تهدید می‌کند، ریزش‌های دامنه‌ای بوده که شامل ریزش سنگ، بهمن و لغزش است. به‌منظور ایمن‌سازی دامنه‌ای محورهای کوهستانی و کاهش آثار حوادث ریزشی، باید روش‌های پیشگیرانه یا کاهشی در نظر گرفته شود. حوادث ریزشی که به‌طور معمول در فصل زمستان روی می‌دهد و بیش‌ترین تأثیر را بر جاده‌های کوهستانی دارد، ریزش بهمن است.

روش‌های بررسی وضعیت بهمن‌خیزی منطقه، با استفاده از جمع‌آوری اطلاعات و در صورت نیاز مطالعات میدانی و تهیه‌ی عکس‌های هوایی انجام می‌پذیرد. در این خصوص جمع‌آوری اطلاعات از ساکنین در مناطق مجاور محل، در مورد خصوصیات شیب و شرایط تشکیل بهمن، قابل دستیابی است که بدین ترتیب به‌وسیله‌ی اطلاعات تهیه‌شده‌ی مناطق مختلف با قابلیت بروز بهمن شناسایی می‌شوند. بهتر است که این اطلاعات در دوره‌ی زمانی پیوسته‌ای شامل چندین سال متوالی برداشت شده باشد. مناطق با پتانسیل خطر وقوع بهمن با توجه به بود یا نبود پوشش گیاهی مناسب نظیر جنگل در منطقه، میزان شیب (مطالعه‌ی محلی)، مقدار زاویه‌ی شیب در ارتفاعات ارزیابی می‌گردند. تاکنون موارد اصلی زیر در تخمین مذکور و تعیین مناطق با خطر بروز بهمن به‌کار می‌رفت:

- عمق برف از یک متر تجاوز کند،
 - مناطقی بدون پوشش گیاهی،
 - شیب‌های بین ۲۰ تا ۶۰ درجه [۱ و ۲].
- در راستای ارزیابی خطر بهمن، سیستم امتیازدهی به اطلاعات و پارامترهای مختلف شامل زمین‌شناسی، شیب، پوشش گیاهی، هواشناسی و ترافیکی منظور می‌گردد و خطر سقوط بهمن به جاده تعیین می‌شود [۳]. در پژوهش پیش‌رو، با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و

به ذکر است که درخصوص ارزیابی نقاط ریزشی با روش مذکور بررسی‌های دقیقی در دانشگاه وین اتریش به‌وسیله‌ی کیلر و همکارانش انجام شد که البته نتایج آن در قالب مقاله‌ای ارائه شده است [۸].

۳-۱-۳- ارزیابی ریزش با سابقه‌ی ریزش بهمین

مک ماهام و همکارانش درخصوص خطرسنجی با سابقه‌ی ریزش و پارامترهای مرتبط با آن در سال ۲۰۰۸ بررسی‌هایی انجام دادند [۹]. در روش خطرسنجی با سوابق ریزش بهمین به تعداد ریزش‌های بهمینی که در هر یک از نقاط جاده‌ی کوهستانی و حوادثی که ناشی از آن است توجه می‌شود. به‌طور معمول معیار ارزیابی مذکور تعداد اتفاق و یا تعداد کشته‌های بهمین در بازه‌های سه ساله را در نظر می‌گیرد [۸]. امتیازاتی براساس تعدد و تکرار حادثه محاسبه می‌شود و هم‌چنین امتیازات دیگری که در خصوص ریزش برف منطقه‌ای داده می‌شود، میزان خطر هر نقطه سنجیده می‌شود و تصمیمات دیگر اتخاذ می‌شود [۹ و ۱۰].

۳-۱-۴- ارزیابی ریزش بهمین با روش‌ها و پارامترهای دیگر

علاوه بر روش‌های مذکور روش‌های دیگری نیز برای ارزیابی ریزش بهمین در جاده‌های کوهستانی در نظر گرفته می‌شود که پارامترهای مهم دیگری در این روش‌ها استفاده می‌شود. از جمله‌ی این پارامترها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ترافیک جاده [۱۱] و بود یا نبود سازه‌های نگهدار [۱۲].
- هر چند پارامترهای فوق به‌صورت کم‌رنگ و کم‌اهمیت در اثرسنجی خطر ریزش بهمین در نظر گرفته می‌شوند؛ اما امتیاز قابل قبولی با در نظر گرفتن معیارهای ریسک علمی ندارند. بررسی روش‌های خطرسنجی نشان داد مدلی برای ارزیابی ریسک خطر بهمین در سایر کشورها با در نظر گرفتن تمام پارامترهای تأثیرگذار ارائه نشده است

ابتدایی، روش‌های موجود و پارامترهای منتخب سایر کشورها بررسی می‌شود.

۳-۱-۱- پارامترهای خطرسنجی ریزش بهمین در سایر کشورها

روش‌ها و پارامترهای مختلفی در ارزیابی و خطر سنجی ریزش بهمین در جاده‌های کوهستانی در نظر گرفته می‌شود که به برخی از آن‌ها در ادامه اشاره خواهد شد.

۳-۱-۱-۱- ارزیابی ریزش بهمین با بررسی‌های چشمی

براساس مطالعات حاصل از تحلیل جاده‌های کوهستانی غرب ایالات متحده و کانادا، موضوع طبقه‌بندی ریزش بهمین با بررسی چشمی و محاسبات ساده مطرح شد که هدف از این طبقه‌بندی تشخیص شیب‌هایی بود که به سبب خطر ریزش بهمین مستلزم تمهیدات پیشگیرانه و مطالعات جامع‌تر هستند. با توجه به توضیحات مذکور مهم‌ترین پارامتر ارزیابی مذکور شیب دامنه‌ای و ریزش بهمین است [۵ و ۴].

۳-۱-۲- ارزیابی ریزش بهمین با اطلاعات جغرافیایی و

عکس‌های هوایی

یکی از روش‌های تحلیل ریزش‌های دامنه‌ای که در کشورهای جنوبی اروپا و ایالات متحده استفاده می‌شود روش GIS ای است که در آن با بررسی‌های میدانی و عکس‌های هوایی عام نقاط ریزش بهمین شناسایی و با تعریف لایه‌های جدا روی نقشه‌های مخصوص سازمان‌های متصدی نقشه‌برداری و زمین‌شناسی با مقیاس دقیق تعریف می‌شوند. مهم‌ترین پارامتری که در این روش در نظر گرفته می‌شود، ناپایداری دامنه و اطلاعات زمین‌شناسی و منطقه‌ای و تعدد و تکرار است که پیاده‌سازی روی نقشه‌ها با تغییر ضخامت یا رنگ‌ها میزان خطر مشخص می‌شود [۶، ۷]. لازم

محسوب می‌شود. با این رویکرد در انتخاب صاحب‌نظران سعی شد تا ویژگی‌های مذکور تأمین شود که از این نظر اساتید دانشگاه در رشته‌های ژئوتکنیک و راه و ترابری، کارشناسان و متخصصین ادارات راه و ترابری استان‌های بهمن‌گیر، به‌عنوان افراد صاحب‌نظر در تحقیق جاری انتخاب شدند.

۵- عوامل مؤثر بر خطر ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی

پس از بررسی روش‌های خطرسنجی و ریسک ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی و با در نظر گرفتن پارامترهای اصلی و مهم روش‌های مذکور در این گام، پارامترهای اصلی خطر ریزش بهمن باید انتخاب شود. بسیاری از پارامترها باید در هر روش خطرسنجی در نظر گرفته شود و در اکثر روش‌های در حال بررسی نیز وجود داشتند. پارامترهایی که بدین منظور انتخاب شدند عبارتند از: عمق برف، میزان شیب دامنه، وضعیت پوشش گیاهی، تعدد و تکرار و ترافیک محور.

لازم به ذکر است که ۵ پارامتر مذکور به‌عنوان عوامل اصلی بروز بهمن و ریسک پس از آن (مانند ترافیک) انتخاب شدند و برای تدقیق مدل و جامع بودن آن هر یک از آن‌ها به پارامترهای زیرشاخه نیز تقسیم شدند. برای این منظور روی خصوصیات پارامترهای منتخب مدل، مطالعاتی انجام شد و با توجه به میزان ریسک، زیرشاخه‌ها تعیین شد. عوامل مؤثر بر خطر ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی در ۳ سطح در شکل ۱ دسته‌بندی شده است. این پارامترها در سطح دوم به پنج دسته تقسیم می‌شوند که هر دسته زیرمعیارهایی دارد. مهم‌ترین منابع دسته‌بندی زیرمعیارهای دامنه‌ای و ریزشی راهنمای ریزش سنگ و بهمن مؤسسه ملی بزرگراه‌های ایالات متحده و اداره‌ی کل بزرگراه‌ها بوده است و در

و در صورت در نظر گرفتن چند پارامتر نیز از لحاظ ریاضی و کاربردی ملاک عمل برای سایر کشورها نیستند. بررسی روش‌های خطرسنجی نشان داده است که مدلی برای ارزیابی ریسک خطر بهمن در سایر کشورها با در نظر گرفتن تمام پارامترهای تأثیرگذار ارائه نشده است و در صورت در نظر گرفتن چند پارامتر نیز به لحاظ ریاضی و کاربردی، امکان تفاوت‌هایی در ملاک‌های عمل سایر کشورها وجود دارد.

۴- متدولوژی تحقیق

در این مقاله به‌منظور تعیین میزان اهمیت پارامترها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استفاده شده است. در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی عناصر مربوطه خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آن‌ها محاسبه می‌شود که این وزن‌ها را وزن محلی^۱ می‌نامیم. سپس با تلفیق وزن‌های محلی، وزن کلی^۲ هر گزینه مشخص می‌شود که آن را وزن مطلق می‌نامیم [۱۴].

همه‌ی مقایسه‌ها در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به صورت زوجی انجام می‌گیرد. در این مقایسه‌ها تصمیم‌گیرندگان از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند نمود. این قضاوت‌ها به مقادیر کمی ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند. در این میان، نظرسنجی از خبرگان و متخصصان بخش ایمنی و ترافیک به‌عمل آمد که در مجموع بیش از ۵۰ پرسشنامه توزیع و تجزیه و تحلیل شد.

با توجه به این که روش مورد استفاده در زمره مدل‌های چندشاخه‌ی جبرانی قرار دارد و از سوی دیگر این روش مبتنی بر درک فازی و انسان است، در نتیجه استفاده از نظرات کارشناسان و خبرگان که به لحاظ جنبه‌های علمی، فنی و تجربی دارای آگاهی لازم باشند امری ضروری

1- Local priority
2- Overall priority

دسته‌بندی‌های مختلف اختصاص داده شد. توضیح این نکته ضروری است که مطالعات نشان داد که برخی مرزها در خصوص بروز ریزش بهمن و یا عدم وقوع آن وجود دارد که مرز بین ریسک پایین و متوسط منظور گردید. پس از آن با توجه به افزایش امکان ریزش بهمن میزان ریسک بالاتری برای زیرمعیارها مدنظر قرار گرفت.

معیارهای تکرار و ترافیک به‌عنوان عوامل افزایش ریسک پس از ریزش از نظرات کارشناسان و راهنمای آنالیز ریسک استفاده شده است که با توجه به شرایط ایران و بررسی‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناختی بهینه شدند. در مجموع ۴ سطح ریسک بسیار بالا، بالا، متوسط و پایین برای عوامل مختلف ریسک بهمن در نظر گرفته شد که با توجه به اثرگذاری عوامل بر ریزش بهمن و یا ریسک‌های پس از آن به



شکل (۱) عوامل مؤثر بر ریسک ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی

۱-۵- عمق برف

میزان زیاد یا کم بودن برف در نقاط مختلف با ارتفاع و یا عمق برف سنجیده می‌شود و برای بهمن خیز بودن بهترین معیار سنجش ماکزیمم عمق برف سالیانه است که همین ملاک عمل قرار گرفت. بررسی‌ها نشان داد اگر ماکزیمم عمق برف سالانه در دامنه‌ای از ۱ متر بیش‌تر باشد احتمال وقوع بهمن در آن محدوده وجود دارد. بر اساس بررسی‌ها و مطالعات آب و هوایی و دامنه‌ای و با در نظر گرفتن عامل ریسک زیرشاخه‌های ماکزیمم عمق برف سالیانه طبق جدول ۱ طبقه‌بندی شد.

جدول (۱) طبقه‌بندی ماکزیمم عمق برف سالیانه روی دامنه براساس

میزان ریسک

ردیف	ماکزیمم عمق برف سالیانه روی دامنه کنار راه	میزان ریسک
۱	۱ متر یا کم‌تر از آن	ریسک پایین
۲	بین ۱ تا ۲ متر	ریسک متوسط
۳	بین ۲ تا ۳ متر	ریسک بالا
۴	بیش از ۳ متر	ریسک بسیار بالا

۲-۵- شیب دامنه

بالا بودن مؤلفه‌ی وزن موازی دامنه‌ی کنار جاده موجب افزایش احتمال وقوع بهمن و هم‌چنین شدت آن می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل این مؤلفه بالا بودن زاویه‌ی دامنه و افق است که به‌عنوان شیب دامنه شناخته شده است. بررسی‌ها نشان داد که سه وضعیت برای تأثیر شیب دامنه بر افزایش ریسک ریزش بهمن در نظر گرفته شد [جدول ۲].

جدول (۲) طبقه‌بندی شیب دامنه براساس میزان ریسک

ردیف	شیب دامنه	میزان ریسک
۱	۳۰ درجه یا کم‌تر از آن	ریسک پایین
۲	بین ۳۰ و ۴۰ درجه	ریسک متوسط
۳	۴۰ درجه یا بیش‌تر از آن	ریسک بالا

۳-۵- وضعیت پوشش گیاهی

مطالعات زیست محیطی و دامنه و مشاوره با کارشناسان سازمان‌های حفاظت محیط زیست، زمین‌شناسی و جنگل‌ها و مراتع نشان داد ۴ گروه اصلی برای وجود پوشش گیاهی روی دامنه می‌توان در نظر گرفت که در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول (۳) طبقه‌بندی تراکم پوشش گیاهی دامنه بر اساس میزان ریسک

ردیف	تراکم پوشش گیاهی	میزان ریسک
۱	تراکم درختان ۸ متری و یا بلندتر از آن در حد ۵۰٪	ریسک پایین
۲	تراکم درختان ۸ متری و یا بلندتر از آن در حد ۲۰٪ تا ۵۰٪ و یا تراکم درختان ۴ متری و بلندتر از آن در حد ۵۰٪	ریسک متوسط
۳	تراکم درختان ۴ متری و بلندتر از آن در حد ۲۰٪ تا ۵۰٪ و یا تراکم درختان ۲ متری یا بلندتر در حد ۲۰٪	ریسک بالا
۴	زمین برهنه و یا پوشیده شده از چمن و بوته‌های کوتاه‌تر از ۲ متر	ریسک بسیار بالا

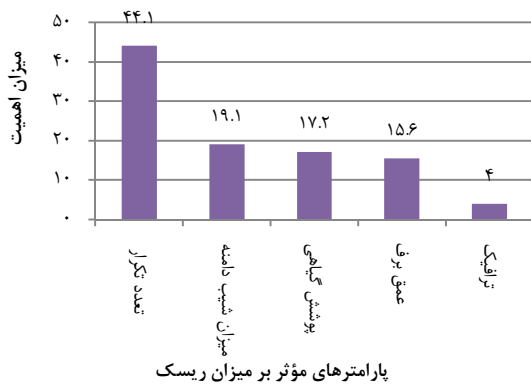
۴-۵- تعدد و تکرار

یکی از مهم‌ترین پارامترهای تشکیل مدل امتیازدهی وقوع بهمن در جاده‌های کوهستانی تعدد و تکرار است. به‌طورمعمول در طرح‌های ایمن‌سازی و به‌سازی جاده‌ها نقاطی که در آن‌ها سابقه‌ی بروز حوادث وجود داشته باشد در اولویت بالاتر قرار می‌گیرند و در مراحل بعد نقاطی که احتمال وقوع حادثه در آن‌ها وجود دارد را در نظر می‌گیرند. برای در نظر گرفتن این معیار در مدل از همان مرزهای وقوع حادثه در ۳ سال و در ۱۰ سال استفاده شد که طبقه‌بندی به شرح جدول ۴ است.

Expert choice استفاده شده است. نتایج تحلیل، نشان داد که ناسازگاری حداکثر ۴٪ در این مدل وجود دارد که از حد استاندارد ۱۰٪ کمتر بوده و دال بر طراحی صحیح پرسشنامه‌ها است.

۶-۱- میزان اهمیت عوامل پنج‌گانه

نتایج پرسشگری نشان می‌دهد که میزان اهمیت عوامل عمق برف ۱۵/۶٪، میزان شیب دامنه ۱۹/۱٪، وضعیت پوشش گیاهی، ۱۷/۲٪، تعدد و تکرار ۴۴/۱٪ و میزان ترافیک ۴٪ تعیین شده است [شکل ۲].



شکل (۲) میزان اهمیت عوامل پنج‌گانه مؤثر بر میزان ریسک ریزش بهمن

بنابراین شاخص رتبه‌بندی به صورت کلی مطابق رابطه‌ی ۱ قابل محاسبه است.

$$R = 0.441\alpha + 0.191\beta + 0.172\gamma + 0.156\phi + 0.004\phi \quad (1)$$

که در آن:

R: شاخص ارزیابی خطر ریسک ریزش بهمن در نقاط محورهای کوهستانی؛

α : ضرایب تأثیر پارامتر تعدد و تکرار؛

β : ضرایب تأثیر پارامتر میزان شیب دامنه؛

γ : ضرایب تأثیر پارامتر پوشش گیاهی؛

ϕ : ضرایب تأثیر پارامتر عمق برف.

ϕ : ضرایب تأثیر پارامتر میزان ترافیک

جدول (۴) طبقه‌بندی تعدد و تکرار براساس میزان ریسک

میزان ریسک	تعدد و تکرار	ردیف
ریسک متوسط	در دوره‌ای بیش از ۱۰ سال حادثه‌ی بهمن رخ داده است.	۱
ریسک بالا	بین ۳ تا ۱۰ سال حادثه‌ی بهمن یک بار اتفاق افتاده است.	۲
ریسک بسیار بالا	در ۳ سال حادثه‌ی بهمن رخ داده است	۳

۵-۵- ترافیک جاده

پارامتر آخری که برای ساخت مدل ارزیابی ریسک و امتیازبندی ریزش بهمن در جاده‌های کوهستانی در نظر گرفته شده میزان تردد عبوری از جاده است که طبیعتاً هرچه تعداد آن بیش‌تر باشد امتیاز بیش‌تری از لحاظ ریسک به محدوده و یا جاده خاصی اختصاص داده می‌شود. طبقه‌بندی میزان تردد در جاده‌های کوهستانی به صورت جدول ۵ پیشنهاد می‌شود.

جدول (۵) طبقه‌بندی میزان ترافیک براساس میزان ریسک

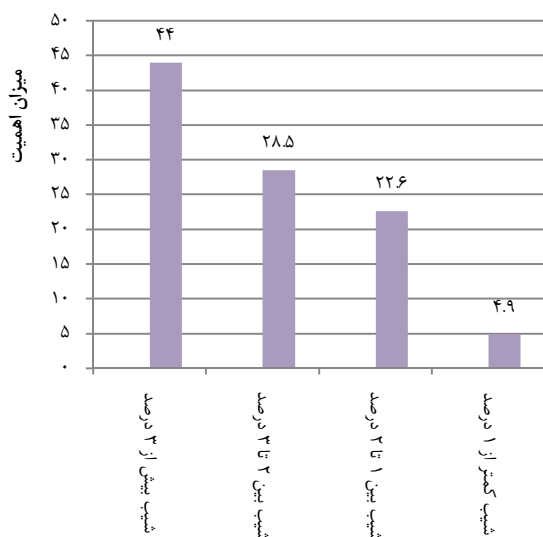
میزان ریسک	میزان ترافیک	ردیف
ریسک پایین	تعداد وسایل نقلیه‌ی کم‌تر از ۱۰۰۰ وسیله‌ی نقلیه در روز	۱
ریسک متوسط	تعداد وسایل نقلیه‌ی بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ وسیله‌ی نقلیه در روز	۲
ریسک بالا	تعداد وسایل نقلیه‌ی بیش از ۳۰۰۰ وسیله‌ی نقلیه در روز	۳

۶- میزان اهمیت عوامل مؤثر بر خطر ریزش

بهمن در محورهای کوهستانی

در این بخش میزان اهمیت هر یک از عوامل مؤثر و در نهایت مدل کلی ارزیابی ریسک تعیین شد که برای تسریع عملیات از نرم‌افزار

بیش از ۳ درصد با ۴۴٪ در مرتبه اول، شیب بین ۲ تا ۳ درصد با ۲۸/۵٪ در مرتبه دوم و شیب بین ۱ تا ۲ درصد با ۲۲/۶٪ در مرتبه سوم قرار دارد. همچنین شیب‌های کم‌تر از ۱ درصد دارای میزان اهمیت ۴/۹٪ شده، که شکل ۴ نشانگر میزان اهمیت حالات مختلف است.



حالات مختلف وجود شیب

شکل (۴) میزان اهمیت حالات مختلف شیب

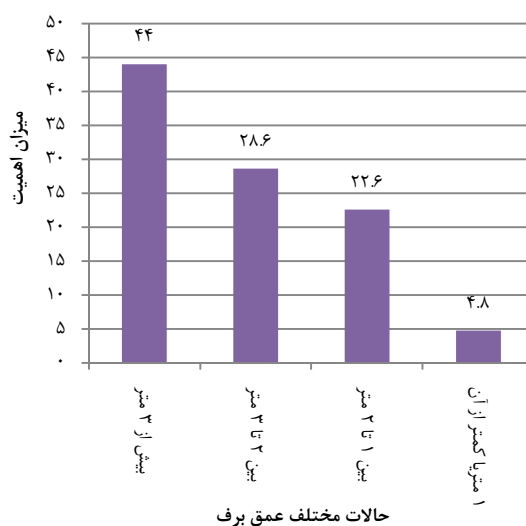
مشاهده می‌شود که مطابق نظر سنجی کارشناسان و خبرگان بخش ایمنی، درصد شیب‌های بیش‌تر اولویت و اهمیت بیش‌تری نیز دارند، به‌گونه‌ای که میزان اهمیت حالات مختلف در بازه‌ی ۴/۹٪ تا ۴۴٪ متغیر است. نرخ سازگاری برابر با ۱٪ است که حاکی از صحت مدل ارائه شده می‌باشد.

۶-۱-۳- میزان اهمیت حالات مختلف پوشش گیاهی

میزان اهمیت حالات مختلف پوشش گیاهی در شکل ۵ مشاهده می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد وضعیت برهنه (بدون پوشش گیاهی) دارای بیش‌ترین میزان اهمیت و برابر ۳۴/۶٪ است.

۶-۱-۱- میزان اهمیت حالات مختلف عمق برف

میزان اهمیت حالات مختلف عمق برف در این بخش محاسبه شده است. نتایج نشان می‌دهد که عمق بیش‌تر از ۳ متر دارای بیش‌ترین میزان اهمیت و برابر ۴۴٪ است. در حالی که عمق بین ۲ تا ۳ متر دارای اهمیت ۲۸/۶٪ در مرتبه‌ی دوم قرار دارد. همچنین عمق بین ۱ تا ۲ متر ۲۲/۶٪ و در مرتبه‌ی آخر، عمق ۱ متر و یا کم‌تر از آن دارای میزان اهمیت ۴/۸٪ است. نرخ سازگاری این بخش از ارزیابی برابر ۱٪ محاسبه شده و حاکی از سازگاری مدل است.



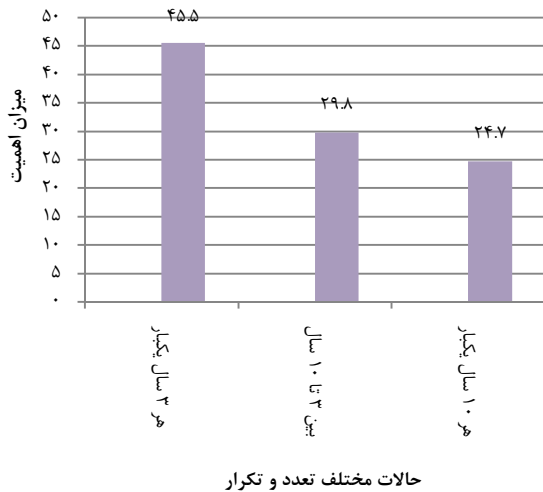
شکل (۳) میزان اهمیت حالات عمق برف

همان‌گونه که مشاهده شد میزان عمق برف به‌عنوان پارامتری که افزایش آن، موجب افزایش ریسک ریزش بهمن می‌شود، شناخته شده است. به‌گونه‌ای که میزان اهمیت حالات مختلف در بازه‌ی ۴/۸٪ تا ۴۴٪ متغیر بوده و با افزایش عمق برف میزان ریسک نیز افزوده شده است.

۶-۱-۲- میزان اهمیت حالات مختلف شیب

در این بخش میزان اهمیت حالات مختلف وجود شیب معین شده است. بر اساس نتایج تحلیل سلسله‌مراتبی شیب

اولویت‌بندی شده است. بدین ترتیب که با روش AHP و توزیع پرسشنامه، میزان اهمیت هر یک از حالات در افزایش میزان ریسک نقاط به لحاظ ریزش بهمین تعیین شده است. از این رو نتایج اولویت‌بندی برای حالات مذکور در شکل ۶ ارائه شده است.

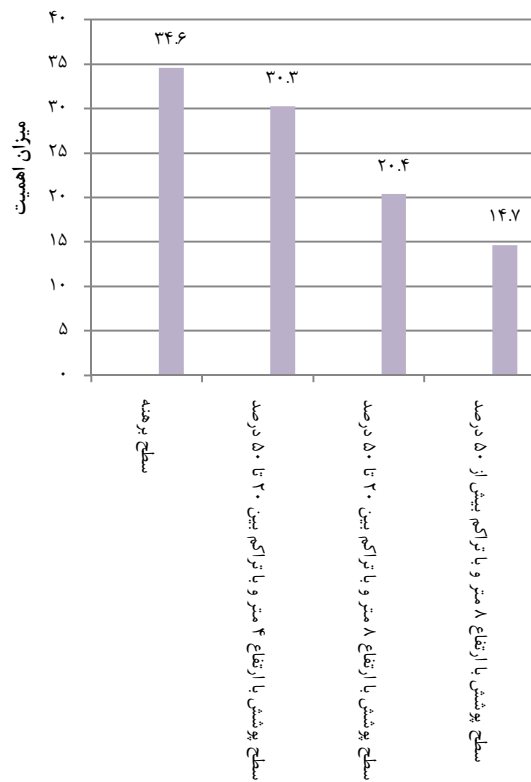


شکل (۶) میزان اهمیت حالات مختلف تعدد و تکرار

با توجه به شکل فوق مشاهده می‌شود که تعدد هر ۳ سال یکبار دارای بیشترین میزان اهمیت و برابر $45/5\%$ ، بین ۳ تا ۱۰ سال با $29/8\%$ در مرتبه دوم و در صورت تعدد هر ۱۰ سال یکبار دارای کمترین میزان اهمیت و برابر $24/7\%$ است. نرخ سازگاری در این بخش نیز برابر 2% بوده که گویای سازگاری پرسشنامه‌ها است.

۶-۱-۵- میزان اهمیت حالات مختلف احجام ترافیک

میزان اهمیت حالات مختلف احجام ترافیک در شکل ۷ ارائه شده است. مشاهده می‌شود که ترافیک بیش‌تر از 3000 وسیله‌ی نقلیه در ساعت، دارای میزان اهمیت $58/9\%$ است. میزان اهمیت حجم بین 1000 تا 3000 وسیله‌ی نقلیه در ساعت، دارای میزان اهمیت $23/5\%$ و در مرتبه دوم قرار دارد.



حالات مختلف پوشش گیاهی

شکل (۵) میزان اهمیت حالات مختلف پوشش گیاهی

در مرتبه دوم سطح پوشش با ارتفاع ۴ متر و با تراکم بین ۲۰ تا ۵۰ درصد دارای میزان اهمیت $30/3\%$ است. هم‌چنین سطح پوشش با ارتفاع ۸ متر و با تراکم بین ۲۰ تا ۵۰ درصد دارای میزان اهمیت $20/4\%$ تعیین شده است. در مرتبه‌ی چهارم نیز سطح پوشش با ارتفاع ۸ متر و با تراکم بیش از ۵۰ درصد دارای میزان اهمیت $14/7\%$ شده است. از این رو این تحلیل گویای این واقعیت است که با افزایش تراکم پوشش گیاهی ریسک ریزش بهمین به تناسب مقادیر مذکور کاهش پیدا می‌کند. نرخ سازگاری این بخش از ارزیابی برابر با صفر است که نشانگر سازگاری کامل مدل است.

۶-۱-۴- میزان اهمیت حالات مختلف تعدد و تکرار

در این بخش حالات مختلف تعدد و تکرار ارزیابی و

لازم به ذکر است که منظور از ضرایب تأثیر، وضعیت نقاط در حال بررسی، به لحاظ همان پارامتر است. به عبارت دیگر بررسی هر گزینه به لحاظ پارامترهای مذکور، به عنوان ضریب تأثیر نامیده می شود که مجموع حاصل ضرب ضریب تأثیر در میزان اهمیت هر پارامتر، شاخص رتبه بندی را ارائه می کند.

با آگاهی از اطلاعات مرتبط با عوامل پنج گانه تعدد و تکرار، میزان شیب دامنه، پوشش گیاهی، عمق برف و میزان ترافیک و پس از ارزیابی آنها، می توان با استفاده از رابطه ۲، میزان ریسک ریزش بهمن در محورهای کوهستانی را تعیین نمود. بدین ترتیب مدل ارائه شده قابلیت ارزیابی ریسک ریزش بهمن در تمامی محورها را خواهد داشت. هم چنین می توان با توجه به میزان شاخص نهایی هر محور، میزان ریسک ریزش بهمن را طبقه بندی نمود. ۵ طبقه بندی ریسک با توجه به R در جدول ۶ نشان داده شده است.

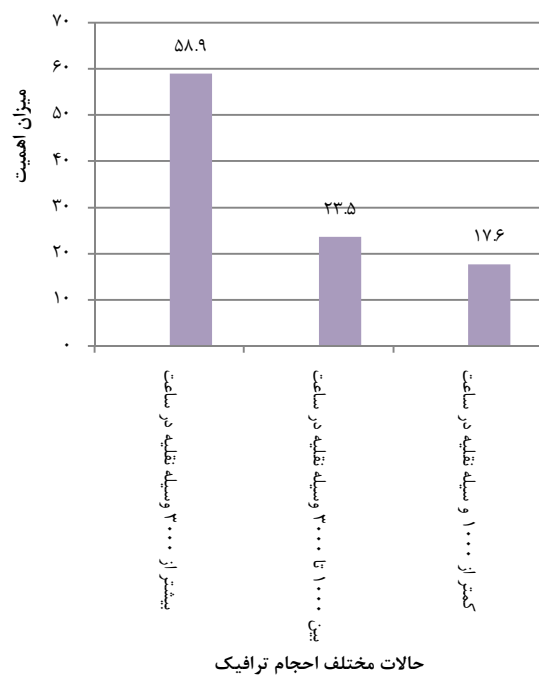
جدول (۶) طبقه بندی محورهای کوهستانی بر اساس میزان ریسک

ریزش بهمن

R	رده (کلاس)
۱۰۰-۸۰	ریسک بسیار زیاد
۸۰-۶۰	ریسک زیاد
۶۰-۴۰	ریسک متوسط
۴۰-۲۰	ریسک ضعیف
۲۰-۰	بدون ریسک

۸- مورد کاوی (ارزیابی نقاط بهمن گیر محور کرج - چالوس)

در راستای بررسی نتایج مدل ارائه شده در یکی از جاده های کوهستانی کشور، محور کرج-چالوس انتخاب شد که یکی از محورهای مهم ارتباطی کشور در حمل و نقل سراسری و منطقه ای محسوب می شود. این محور به



شکل (۷) میزان اهمیت حالات مختلف احجام ترافیک

در مرتبه آخر اهمیت، حجم کم تر از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در ساعت دارای میزان اهمیت ۱۷/۶٪ است که نشانگر افزایش میزان اهمیت حالات مختلف در برابر افزایش حجم ترافیک است. میزان نرخ سازگاری این بخش از مدل با ۳٪ گویای صحت ارزیابی است.

۷- ارائه مدل ارزیابی خطر ریزش بهمن در جاده های کوهستانی

مدل نهایی ارزیابی خطر ریزش بهمن در جاده های کوهستانی مطابق رابطه ۲ است.

μ : ضریب تأثیر هر پارامتر؛

λ : میزان اهمیت پارامترها؛

n : تعداد پارامترهای موثر؛

بنابراین:

$$R = \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i \quad (2)$$

$$S.t: \mu \leq 1.0$$

کیلومتراژ آن‌ها (با فرض مبدأ بودن میدان امیرکبیر در خروجی شهر کرج) در جدول ۷ نشان داده شده است. البته با بررسی‌های میدانی حدود ۳۵ نقطه از محور انتخاب شدند و برداشت پارامترها در آن ایستگاه‌ها انجام شد اما در مجموع ۱۲ نقطه به‌عنوان بهمن‌گیر شناخته شد که در جدول ۸ نشان داده شده است. بهمن‌گیر بودن و نبودن با توجه به شرایط، پارامترهای موثر در ریزش بهمن است که حدود آن‌ها در جداول طبقه‌بندی پارامترها تشریح شد. شکل ۸ نشانگر فرم‌های طراحی شده به‌منظور برداشت‌های میدانی است.

پس از برداشت پارامترها و تکمیل چک‌لیست‌ها در گام بعد باید امتیاز نقاط محاسبه شود. به‌عنوان نمونه امتیاز یکی از ایستگاه‌ها که در کیلومتر ۳۸ واقع و اطلاعات جمع‌آوری شده از آن در جدول ۹ می‌باشد با استفاده از مدل پیشنهادی محاسبه شده است.

پس از نرمال کردن عدد امتیاز این ایستگاه با توجه به‌میزان حداقل و حداکثر به‌منظور ارائه‌ی عددی از ۱۰۰ تا ۵۸.۱۱ شد.

همچنین برای همه‌ی ۱۲ نقطه‌ی منتخب علاوه بر برداشت اطلاعات مربوط به وضعیت منطقه‌ای اطلاعات مربوط به شرایط ریزش برف از سازمان هواشناسی، تردد روزانه با استفاده از دستگاه‌های NC-97 نصب شده در طول محور کرج - چالوس و تعدد و تکرار نیز از ادارات راه و ترابری گچسر و نوشهر جمع‌آوری شد و با جاگذاری پارامترها در مدل پیشنهادی امتیاز خطر ریزش بهمن در همه‌ی آن‌ها محاسبه و در واقع اولویت ریسک خطر ریزش بهمن آن‌ها مشخص شد. جدول ۹ نشانگر امتیاز هر یک از ایستگاه‌ها و هم‌چنین اولویت خطر آن‌ها است.

واسطه‌ی این‌که یکی از ۴ محوری است که ارتباط بین پایتخت و شمال کشور را فراهم می‌آورد یکی از پرتددترین راه‌های کشور محسوب می‌شود تا جایی که در بسیاری از هفته‌های سال مقررات ویژه‌ی ترافیکی برای آن وضع می‌شود. علاوه بر آن محور کرج-چالوس جزو ده محور زیبای جهان محسوب می‌شود.

جدول (۷) نقاط بهمن‌گیر محور کرج-چالوس و کیلومتراژ آن‌ها از میدان امیرکبیر

ردیف	محل‌های بهمن‌گیر کیلومتر	ردیف	محل‌های بهمن‌گیر کیلومتر
۱	۳۸	۷	۶۱/۵
۲	۵۷	۸	۶۲ تا ۶۳
۳	۵۸	۹	۶۳ تا ۶۸
۴	۵۹	۱۰	۷۰ تا ۷۵
۵	۶۰	۱۱	۸۵
۶	۶۱	۱۲	۱۰۷

این جاده در اکثر طول خود کوهستانی است و در برخی از نقاط آن احتمال سقوط بهمن در فصل‌های سرد سال وجود دارد و چندین بار این حادثه‌ی طبیعی تلفاتی نیز داشته است. برای اطلاع از نقاط بهمن‌خیز علاوه بر بازدیدهای میدانی، از آمار وزارت راه و شهرسازی و زیرمجموعه‌های آن، نظیر سازمان هواشناسی استفاده شد. پس از جمع‌آوری آمار لازم نقاط مختلف بهمن‌گیر و سایر نقاطی که احتمال وقوع بهمن وجود دارد شناسایی شد و برای برداشت پارامترهای مدل فیلمبرداری و بازدید میدانی صورت پذیرفت. در جمع‌بندی نهایی ۱۲ ایستگاه تعیین شد. در مرحله‌ی بعد، نقاط انتخابی بررسی شده و به لحاظ پارامترهای مذکور، اطلاعات آن‌ها جمع‌آوری شد. از این‌رو میزان ضریب تأثیر هر پارامتر تعیین گردید. با این رویکرد نقاط بهمن‌گیر محور کرج-چالوس و

نام کارشناس	
مشخصات کلی ایستگاه	
نام محور:	کیلومتر از:
وضعیت آب و هوایی:	
پارامترهای منطقه ای موثر در ریزش بهمن	
شیب دامنه: کمتر از ۳۰ درجه <input type="checkbox"/> بین ۳۰ تا ۴۰ درجه <input type="checkbox"/> بیش از ۴۰ درجه <input type="checkbox"/> ماکزیمم عمق برف سالانه: کمتر از آن <input type="checkbox"/> بین ۱ تا ۲ متر <input type="checkbox"/> بین ۲ تا ۳ متر <input type="checkbox"/> بیش از ۳ متر <input type="checkbox"/> وضعیت پوشش گیاهی دامنه: تراکم درختان ۸ متری ویا بلندتر از آن در حد ۵۰ درصد <input type="checkbox"/> تراکم درختان ۸ متری ویا بلندتر از آن در حد ۲۰ تا ۵۰ درصد ویا تراکم درختان ۴ متری و بلندتر از آن در حد ۵۰ درصد <input type="checkbox"/> تراکم درختان ۴ متری و بلندتر از آن در حد ۲۰ تا ۵۰ درصد ویا تراکم درختان ۲ متری یا بلندتر در حد ۲۰ درصد <input type="checkbox"/> زمین برهنه ویا پوشیده شده از چمن و بوته های کوتاهتر از ۲ متر <input type="checkbox"/> تعدد و تکرار: در دوره ای بیش از ۱۰ سال حادثه بهمن رخ داده است <input type="checkbox"/> بین ۳ تا ۱۰ سال حادثه بهمن یکبار اتفاق افتاده است. <input type="checkbox"/> در ۳ سال حادثه بهمن رخ داده است <input type="checkbox"/> سازه نگهدار: وجود سازه نگهدار <input type="checkbox"/> عدم وجود سازه نگهدار <input type="checkbox"/>	
پارامتر ترافیکی و جاده ای	
جهت معبر: دو طرفه <input type="checkbox"/> یکطرفه <input type="checkbox"/> عرض معبر: تردد روزانه در محدوده ایستگاه کمتر از ۱۰۰۰ وسیله نقلیه در روز <input type="checkbox"/> بین ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز <input type="checkbox"/> بیش از ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز <input type="checkbox"/> موردی که به نظر کارشناس با اهمیت به نظر می رسد:	

شکل (۸) فرم چکلیست برداشت اطلاعات نقاط بهمن گیر در جاده های کوهستانی

جدول (۸) اطلاعات جمع آوری شده از ایستگاه ۱ واقع در کیلومتر ۳۸

ضرایب تاثیر پارامترها	مقدار	پارامتر
۱۹.۳	کمتر از ۳۰ درجه	شیب دامنه
۲۲.۶	بین ۱ تا ۲ متر	ماکزیمم عمق برف سالانه
۲۴.۸	در دوره ای بیش از ۱۰ سال بهمن روی داده است	تعدد و تکرار
۳۴.۶	زمین برهنه ویا پوشیده شده از چمن و بوته های کوتاه تر از ۲ متر	وضعیت پوشش گیاهی
۵۸.۹	تعداد وسایل نقلیه بیش از ۳۰۰۰ وسیله نقلیه در روز	تردد روزانه*
محاسبه ای امتیاز ریسک ریزش بهمن		
$R = (0.441 \times 24.8) + (0.191 \times 19.3) + (0.172 \times 34.6) + (0.156 \times 22.6) + (0.04 \times 58.9) = 25.49$		

*نکته ای قابل ذکر این که آمار تردد با دستگاه های تردد شمار سیار NC-97 جمع آوری شد.

جدول (۹) امتیاز هریک از ایستگاهها و اولویت خطر ریزش بهمین آنها در جاده‌ی کرج-چالوس

ردیف	کیلومتر از ایستگاهها	امتیاز خطر	اولویت خطر	میزان ریسک
۱	۳۸	۲۵.۴۹	۹	ریسک متوسط
۲	۵۷	۲۲.۱	۱۰	ریسک متوسط
۳	۵۸	۲۷	۸	ریسک زیاد
۴	۵۹	۲۸.۱۲	۷	ریسک زیاد
۵	۶۰	۳۰.۱	۵	ریسک زیاد
۶	۶۱	۳۲.۴	۴	ریسک زیاد
۷	۶۱/۵	۳۵.۸	۳	ریسک بسیار زیاد
۸	۶۲ تا ۶۳	۳۸.۵	۲	ریسک بسیار زیاد
۹	۶۳ تا ۶۸	۴۰.۹	۱	ریسک بسیار زیاد
۱۰	۷۰ تا ۷۵	۲۹	۶	ریسک زیاد
۱۱	۸۵	۲۰.۳۳	۱۱	ریسک متوسط
۱۲	۱۰۷	۱۸.۷۵	۱۲	ریسک متوسط

مناسب و مشخص نمودن ریسک هر پارامتر در گام بعد مدل مربوط به ارزیابی ریسک ساخته شد که نظرات کارشناسان مختلف ترافیکی، زمین‌شناسی، مکانیک سنگ، زیست محیطی و هواشناسی بسیار مؤثر بود. پس از ساخت مدل در نهایت محور کرج-چالوس به عنوان یکی از محورهای بهمین خیز کشور ارزیابی شد. برخی از نتایج پژوهش، ساخت مدل، ارزیابی و بررسی‌ها در محور کرج-چالوس به شرح ذیل است:

- در الگوی ارزیابی اهمیت تعدد و تکرار از همه بیش‌تر است.
- هرچه ترافیک در محدوده‌ای بیش‌تر باشد در نتیجه ریسک ریزش بهمین در آن نقطه به دلیل احتمال تلفات بیش‌تر، بالاتر است و باید تمهیدات لازم را در این نقاط اندیشید.
- در این پژوهش امتیاز غالب در اکثر ایستگاهها در محور کرج-چالوس مربوط به تعدد و تکرار ریزش بهمین بود.
- مدل مذکور در اختصاص بودجه‌ی نگهداری راه‌ها و ایمن‌سازی کاربرد مناسبی می‌تواند داشته باشد و با توجه به امتیاز ایستگاهها اولویت‌بندی می‌تواند انجام پذیرد.

همان‌طور که جدول فوق نشان می‌دهد نقاطی که امتیاز آنها بیش‌تر است ریسک خطر بیش‌تری دارد نسبت به نقاطی که امتیاز کمتری دارند.

۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پژوهش هدف اصلی ارائه‌ی مدلی برای ارزیابی ریسک ریزش بهمین در جاده‌های کوهستانی بود که بدین منظور در ابتدا باید پارامترهای مهم و اصلی انتخاب می‌شدند. برای شناسایی پارامترهای مهم ارزیابی ریزش بهمین در جاده‌های کوهستانی در ابتدا روش‌های به‌کارگرفته شده در کشورهای دیگر بررسی شد که هر یک مزایا و معایبی داشت و با در نظر گرفتن مجموع روش‌ها و الگوها مهم‌ترین شاخص‌ها در کشور به پنج مورد اصلی تقسیم شد که عبارتند از:

تعدد و تکرار، شیب دامنه، پوشش گیاهی دامنه، ماکزیمم عمق برف سالیانه و ترافیک.

پس از به‌کارگیری این پارامترها و تعیین حدود هریک از آنها با استفاده از ضوابط و استانداردها و معیارهای

- 5- Jamieson, Bruce Backcountry Avalanche Awareness. Snowline Technical Services of Calgary, pp, 2008.
- 6- Maria Wastl, Johann Stötter and Hannes Kleindienst, Avalanche risk assessment for mountain roads: a case study from Iceland, 2008.
- 7- Jordy Hendriks, Modified avalanche risk equations to account for waiting traffic on avalanche prone roads, Department of Geography, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, 2009.
- 8- Keiler, M, Avalanche risk assessment – a multi-temporal approach, results from Galtür, Austria, University of Vienna, 2006.
- 9- Statham, G and McMahon, B, Parks Canada Agency, September 2008.
- 10- Avalanche Safety Plan, British Columbia Ministry of Transportation and Infrastructure Avalanche and Weather Programs, November, 2011.
- 11- Avalanche Weather Forecast Guide Pre-Forecast Indicators of Avalanche Potential, The Comet Program, 2010.
- 12- Campbell, C, Bakermans, L, Snow Avalanche Threats And Mitigation Measures In Canada, 2009.
- 13- National Disaster Management Guidelines, Management of Landslides And Snow Avalanches national Disaster Management Authority Government of India, 2009.
- 14- Response to Non-Highway Avalanche Incident, Ministry of Transportation and Infrastructure Snow Avalanche Programs, July 2009.

۱۵- قدسی پور، سید حسن، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

AHP، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه صنعتی

امیرکبیر (پلی کلینیک تهران)، تهران، مرکز نشر، ۱۳۸۵.

- پس از به کارگیری سازه‌ی مناسب و جلوگیری کننده از ریزش بهمن، می‌توان امتیازات روش فوق را از ایستگاه مذکور حذف نمود.
- در محور کرج-چالوس، بحرانی‌ترین نقاط از لحاظ ریزش بهمن در محدوده‌های میانی آن و در کیلومتر ۶۰ تا ۷۵ جاده از سمت کرج قرار دارد.
- پیشنهاداتی که با پژوهش پیش‌رو قابل بیان است به شرح زیر است:
- می‌توان بود و نبود سازه‌ی نگهدار و جلوگیری کننده را نیز به‌عنوان یک عامل کاهنده به پارامترهای مدل مذکور اضافه نمود.
- این مدل برای چند جاده و حتی در سطح کشور نیز قابل استفاده است و در ارزیابی نقاط بهمن‌گیر کل راه‌های کشور نیز کاربرد دارد و حتی با توجه به متفاوت بودن دامنه‌ها و شرایط ترافیکی نتایج بهتری هم خواهد داشت.
- می‌توان عواملی چون نزدیکی به ادارات راه و مراکز امداد و درمان را نیز به پارامترهای مدل اضافه نمود که البته دارای ضرایب ضعیف‌تر و کوچک‌تری نسبت به پارامترهای انتخاب شده در این پژوهش خواهند بود.

۱۰- مراجع

- 1- PIARC Working Group G2: Comprehensive Report on Natural Disaster Reduction for Roads, Paris, 2008.
- 2- Occupational Health and Safety Regulation and OHS Guideline G4.1.1, 2006.
- 3- Vybiral, V. Kuznetsov, I.V. & Osykin, M.K, Method of Pulsed Electromagnetic Emission (PEE)-Mapping of Slope Failures in the Carpathian Mts, 2011.
- 4- Shawn Mitton, Regional Prevention Manager, WorkSafeBC at (250) pp. 717-4302, 2007.