بکارگیری شاخص ریسک براساس معیار دسترسی برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه جاده‌ای استان کردستان

افشین شریعت مهیمنی*، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علی‌اصغر کاظمی، دانشجوی کارشناسی‌ارشد، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
E-mail:shariat@iust.ac.ir
دریافت: ۸۸/۰۷/۰۱ – پذیرش: ۸۹/۰۳/۱۷

چکیده

بروز سوانح طبیعی امری اجتناب ناپذیر است و خسارتهای فراوانی را نیز درپی دارد. در این میان، برقراری ارتباط در شبکه حمل و نقل جاده‌ای با توجه به اهمیت و جایگاه آن خصوصاً در شرایط اضطراری بسیار حائز اهمیت است. عملکرد مناسب شبکه راهها می‌تواند باعث کاهش اثرات حادثه در این شرایط شود و شبکه‌ای که نتواند دسترسی لازم را فراهم کند، دارای قابلیت اطمینان اندکی است و موجب آسیبهای گسترده‌تری نیز می‌شود. استان کردستان به علت موقعیت جغرافیایی و شرایط طبیعی ویژه، در معرض آسیبهای ناشی از وقوع حوادث طبیعی قرار دارد. بنابراین تأمین دسترسی و کاهش این آسیبها دارای اهمیت است. در این پژوهش بر مبنای حجم وسیعی از اطلاعات، یک شاخص ریسک برای شبکه راههای استان کردستان برآورد شده است. برای اعتبارسنجی این شاخص، ضمن تحلیل حساسیت آن، نتایج کار با خسارتهای حوادث گذشته مقایسه شده است. در ادامه به کمک این شاخص، با تعیین مسیرهای دارای ریسک، اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در کمانهای شبکه با هدف افزایش قابلیت اطمینان و کاهش میزان ریسک در شبکه انجام شده است.

واژه‌های کلیدی: شاخص ریسک، دسترسی، آسیب‌پذیری، قابلیت اطمینان شبکه، عملکرد شبکه

۱. مقدمه

سیستم حمل و نقل یکی از مهم‌ترین زیرساختهای هر کشور است، به طوری که میزان مطلوبیت و عملکرد مناسب آن، نشان دهنده میزان پیشرفت آن کشور است. هرچه شبکه حمل و نقل کارآمدتر باشد، فعالیتهای اساسی جامعه مانند فعالیتهای اقتصادی، اجتماعی، آموزشی، فرهنگی، سیاسی، نظامی، امنیتی، بهداشتی، درمانی، خدماتی و رفاهی با اطمینان و سهولت بیشتری صورت می‌پذیرد. این سهولت انجام فعالیتها یکی از تعاریف موجود برای مفهوم دسترسی در ادبیات حمل و نقل است. Bhat و همکارانش دسترسی را سهولت افراد برای شرکت در یک فعالیت مورد نظر در محل و زمان دلخواه تعریف می‌کنند [Bhat (et al.), 2000]. در واقع، عملکرد یک شبکه حمل و نقل در ارتباط مستقیم با میزان دسترسی به نیازهای مختلف جامعه است و شبکه‌ای که به هر میزان بتواند دستیابی به این فعالیتها را تسهیل نماید و امکان برقراری ارتباط را با اطمینان بیشتری فراهم کند، دارای عملکرد مطلوب‌تری خواهد بود. ازطرفی، عملکرد شبکه حمل و نقل به اجزای تشکیل‌دهنده آن نیز وابسته است.

البته میزان تأثیر هر یک از اجزاء بر عملکرد شبکه متفاوت بوده و برخی از آنها بنا به دلایلی ممکن است دارای اهمیت بیشتری باشند. در ضمن، ممکن است شبکه حمل و نقل در اثر عوامل مختلفی دچار آسیبهایی شود که کاهش و یا عدم کارآیی اجزای آن را در پی داشته باشد. در این میان، حمل و نقل جاده‌ای

* نویسنده مسئول

بـه دلیـل دارا بـودن خصوصـیات ویـژه، از جملـه قابلیـت آن در انتخاب مسیر و سهولت دسترسی از طریق آن بـه مراکـز مختلـف تولید و جذب سفر، به عنوان متداول‌ترین شیوه حمل و نقل کـالا و مسافر در جهان، از اهمیت بیشتری برخوردار اسـت. در هنگـام بـروز حادثـه، حمـل و نقـل زمینـی نقـش ویـژه‌ای در جابجـایی امکانات، تجهیزات، نیروهای امدادی و آسیب‌دیـدگان دارد. عـدم توانایی احتمالی این نوع سیستم حمل و نقل در اجرای بـه موقـع وظایف مذکور، به‌علت آسیب‌پذیر بودن آن در برابر حوادث است و شبکه‌ای که نتواند دسترسی لازم را در این شرایط فـراهم کنـد، خسارتهای جبران ناپذیری را به بار خواهد آورد. استان کردسـتان به علت قرار گرفتن در منطقه‌ای کوهستانی، فاقـد ناوگـان هـوایی مناسب است و در حال حاضر از شبکه ریلی نیز بی‌بهره است.

بنـابراین شـیوه اصـلی جابجـایی بـار و مسـافر در ایـن اسـتان، حمـل و نقـل جـاده‌ای اسـت کـه آن هـم بـه دلیـل موقعیـت جغـرافیایی خاص و شرایط آب و هوایی ویژه، در معرض خطر بروز انواع حوادث طبیعی قرار دارد. از سوی دیگر، این اسـتان بـا قرارگرفتن در منطقه مرزی غرب کشـور و پیونـد دهنـده نـواحی شمالی و مناطق غربی کشور، بخش مهمی از شبکه حمـل و نقـل غرب و شمال غرب را تشکیل می‌دهد و به دلیـل برخـورداری از موقعیت استراتژیک، از نظر امنیتی- دفاعی و همچنـین فعالیتهـای اقتصادی نظیر صادرات کالا در بازارچهٔ مرزی حائز اهمیت اسـت که این مسئله، توجه بـه برنامـه‌هـای مـرتبط بـا مـدیریت شـبکه حمـل و نقـل را در اسـتان، خصوصـاً در شـرایط اضـطراری، دو چندان می‌کند. برای بررسی نحـوه اثرگـذاری آسـیبهای وارده ناشی از وقوع حوادث طبیعی بـر عملکـرد شـبکه حمـل و نقـل، پژوهشگران از روش‌های مختلفی استفاده کرده‌اند. برخـی از آنهـا با در نظر گرفتن تعدادی از معیارهای عملکـرد مطلـوب شـبکه[1]، نحوه تغییرات این معیارها را در شـرایط اضـطراری انـدازه‌گیـری کرده و بر اساس میزان تغییـرات ایجـاد شـده، اقـدام بـه ارزیـابی عملکرد شبکه کرده‌اند. برخی‌دیگر نیز با ارائـه شاخصـهایی نظیـر شاخص ریسک و شاخص آسیب‌پذیری برای شبکه و اجزای آن، به اولویت‌بندی اجزای دارای ریسک در شبکه پرداخته‌اند.

برخی مانند [Bell,1999] , [Chen, Yang and Tang,1999], [Iida, 1999] و [Chen (et al.), 2002] و [شـریعت‌مهیمنـی، منصورخاکی و بابایی، ۱۳۸٦] معیارهای عملکـرد مطلـوب ماننـد قابلیت اطمینان زمان سفر، قابلیت اطمینان اتصال شبکه و قابلیـت اطمینان ظرفیت را مورد ارزیابی قرار داده و براساس آن اقـدام بـه تحلیل عملکرد شبکه کرده‌اند.

Sugito و Nojima نیز با استفاده از شبیه‌سازی، احتمـال خرابـی اجزای شبکه را در صورت وقوع زلزله برآورد کرده و بـا ارزیـابی تغییـرات جریـان ترافیـک، عملکـرد شـبکه را مـورد بررسـی قـرار داده‌انـد [Nojima and Sugito, 2000]. در تعـدادی از مطالعـات ماننـد [Chang, 2003], [Sohn, 2006] , [Berdica and Eliasson, 2004], [Taylor and D'Este, 2004] , [Sohn, 2006] , [Qiang and Nagurney, 2008]، برای بیان تأثیرات وقوع یک حادثه، با ارائه یک شاخص عملکرد بر مبنای مفهوم دسترسی و با سـنجش تغییرات تعدادی از پارامترهای مـؤثر بـر عملکـرد شـبکه هماننـد جریان ترافیک، زمان، مسافت و هزینه سفر، میزان ریسـک شـبکه را تعیین و بر اساس آن، اقدام به ارزیابی عملکرد شبکه کـرده‌انـد که از میان آنان Sohn، Qiang و Nagurney بـه اولویـت‌بنـدی اجزای دارای ریسک شبکه نیز پرداخته‌اند.

Brabhaharan با معرفی فاکتورهای اولویت‌بندی قطعـات راه، از روش امتیازدهی برای اولویت‌بندی اجـزای دارای ریسـک شـبکه استفاده کرده است [Brabhaharan and Moynihan, 2002] و [Brabhaharan, Fleming and Lynch, 2001]. شـریعت در پـروژه امکـان‌سـنجی بکـارگیری مـدیریت بحـران در شـبکه حمل و نقل جاده‌ای کشـور، روش ارزیـابی شـبکه را بـر مبنـای معیارهـای عملکـرد مطلـوب و معیارهـای آسـیب‌پـذیری، مـورد بررسـی قـرار داده اسـت [شـریعت‌مهیمنـی، ۱۳۸۵]. یعقـوبی و حسینی نیز با ارائه یک روش خطرپـذیری لـرزه‌ای، سـامانه‌هـای حمل و نقل برون شهری را مورد ارزیابی قرار داده‌اند [یعقـوبی و حسینی، ۱۳۸۸]. بررسی معیارهـای بـه کـار رفتـه در شاخصـهای ارائه شده، بیـانگر آن اسـت کـه در کارهـای انجـام شـده، تعـداد محدودی از معیارها در تعریف شاخص عملکـرد شـبکه اسـتفاده شده‌اند و به‌دلیل محدودیت این معیارهـا در منظـور کـردن انـواع پارامترهای تأثیرگذار بر عملکرد شبکه و همچنـین، عـدم توانـایی این معیارها برای مد نظر قرار دادن انواع فعالیتهای اساسی جامعه، نمی‌توان آنها را به عنوان یک شـاخص مناسـب کـه در برگیرنـده تمامی شرایط برای ارزیابی عملکرد شـبکه در شـرایط اضـطراری باشد، به کار برد.

همچنین بیشتر این مطالعات، جنبه نظری داشته و کاربرد آنها برای شرایط واقعی ارائه نشده است. تنها در برخی از آنها، اثرات یک حادثه طبیعی بر عملکرد بخشی از شبکه راههای یک منطقه بررسی شده است. در حالی که در شاخص ارائه شده در این پژوهش، با جامع‌نگری، انواع معیارهای اثرگذار بر عملکرد شبکه در نظر گرفته شده است.

همچنین با ارائه تعاریف ساده ریاضی، نسبت به کمّی کردن معیارهای کیفی اقدام شده است که محاسبه مقادیر کمّی و اوزان نسبی معیارهای تعریف شده نیز بر پایه جمع‌آوری حجم وسیعی از اطلاعات و با انجام مطالعات و بررسی‌های گسترده میدانی بوده است. به علاوه، نحوه تأثیر انواع حوادث طبیعی محتمل بر عملکرد شبکه گسترده‌ای از جاده‌ها مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفته است.

حسن دیگر این پژوهش، کاربردی بودن آن است که با توجه به سهولت اندازه‌گیری شاخص ارائه شده، به کارگیری آن در عمل آسان بوده و اجرای آن برای کل شبکه راههای ایران و برای شرایط مختلف امکان‌پذیر است. علاوه بر این موارد، سهولت اعمال تغییرات در داده‌ها و بهنگام‌سازی نتایج، قابلیت توسعه برای سایر خطرات طبیعی و استفاده از این روش در سایر کشورها با در نظر گرفتن همزمان انواع حوادث طبیعی که بر جاده‌ها تأثیرگذارند را می‌توان به عنوان ویژگیهای این پژوهش برشمرد.

از دیگر مزیتهای این پژوهش که برای حصول اطمینان از درستی شاخص ارائه شده به انجام رسیده است، اعتبارسنجی صورت گرفته براساس انطباق نتایج به دست آمده از شاخص با خسارتهای مربوط به رخدادهای گذشته است.

با این تفاسیر، یکی از اهداف این پژوهش تعیین میزان اهمیت هریک از کمانهای شبکه حمل و نقل جاده‌ای استان کردستان است. هدف دیگر، شناسایی اجزای آسیب‌پذیر شبکه و تعیین میزان آسیب‌پذیری آنها در صورت بروز انواع حوادث طبیعی است. با استفاده از مقادیر اهمیت و آسیب‌پذیری کمانهای ارتباطی، این امکان فراهم می‌آید تا ضمن تعیین میزان ریسک کمانهای شبکه، آنها را برای سرمایه‌گذاری و برنامه‌ریزیهای مربوط به کاهش خطرپذیری در برابر حوادث طبیعی اولویت‌بندی کرد و علاوه بر تخصیص بهینه منابع و امکانات، از آسیبهای گسترده مالی و انسانی نیز جلوگیری به عمل آورد.

۲. روش

۲-۱ دسترسی و ارائه شاخص ریسک مبتنی بر آن

عملکرد مناسب شبکه در ارتباط مستقیم با میزان دسترسی و امکان برقراری ارتباط به فعالیتهای مختلف است و برای بررسی دقیق نحوه عملکرد آن، در نظرگرفتن پارامترهای گوناگون مؤثر بر عملکرد شبکه ضروری است. در شرایط اضطراری، به دلیل آسیب‌پذیری اجزای شبکه، انجام این فعالیتها به آسانی شرایط عادی نخواهد بود. بنابراین با تعیین شاخص ریسک می‌توان با اولویت‌بندی کمانهای ارتباطی، ضمن ارائه برنامه‌های مربوط به کاهش میزان ریسک در شبکه، نحوه انجام فعالیتهای مختلف را مدیریت و کنترل کرد. به همین منظور ابتدا بایستی تعریف مشخصی از ریسک بیان شود.

در بسیاری از منابع، ریسک به صورت رابطه (۱) تعریف شده‌است [کلانتری، ۱۳۸٤]:

$$R = [\text{احتمال‌وقوع‌تأثیرات‌حادثه}] \times [\text{اثرات‌ناشی‌ازحادثه}] \quad (۱)$$

براساس تعریف ارائه شده در رابطه (۱)، ریسک دارای دو جزء است:

۱- جزء احتمالاتی که شامل احتمال وقوع حادثه و احتمال آسیب دیدن در اثر حادثه است.

۲- جزء اثرات متعاقب که هزینه یا خسارت ناشی از حادثه است.

می‌توان رابطه (۱) را به‌صورت رابطه (۲) نیز نوشت:

$$R_i = [\text{آسیب‌پذیری کمان } i] \times [\text{پیامدهای ناشی از آسیب‌کمان } i] \quad (۲)$$

در صورتی‌که شاخص ریسک به‌صورت نسبی برآورد شود، می‌توان به جای پیامدهای ناشی از آسیب، از اهمیت کمان استفاده کرد. بنابراین بر مبنای رابطه (۲) می‌توان برای هرکمان i در یک شبکه راه و برای حوادث مختلف j با شدت k، رابطه (۳) را تعریف کرد:

$$R_i = \left[\sum_{j,k}\left(P_{jk} \times C_{ijk} \times n_{ijk}\right)\right] \times I_i \quad (۳)$$

که در آن R_i ریسک کمان i شبکه، P_{jk} احتمال وقوع حادثه j با

شدت k، C_{ijk} احتمال انسداد کمان i در برابر حادثه j با شدت k، n_{ijk} تعداد روزهای انسداد کمان i برای حادثه j با شدت k و I_i شاخص اهمیت کمان i است.

در رابطه (۳) می‌توان دو قسمت مختلف را تشخیص داد. قسمت اول عبارت، بیانگر آسیب‌پذیری کمان است که با توجه به اهمیت برقراری ارتباط، موضوع احتمال انسداد کمان در نظر گرفته شده است و قسمت دوم، نشان دهندهٔ اثرات آسیب است که به صورت نسبی در یک شبکه، اهمیت هر کمان بیانگر آن خواهد بود.

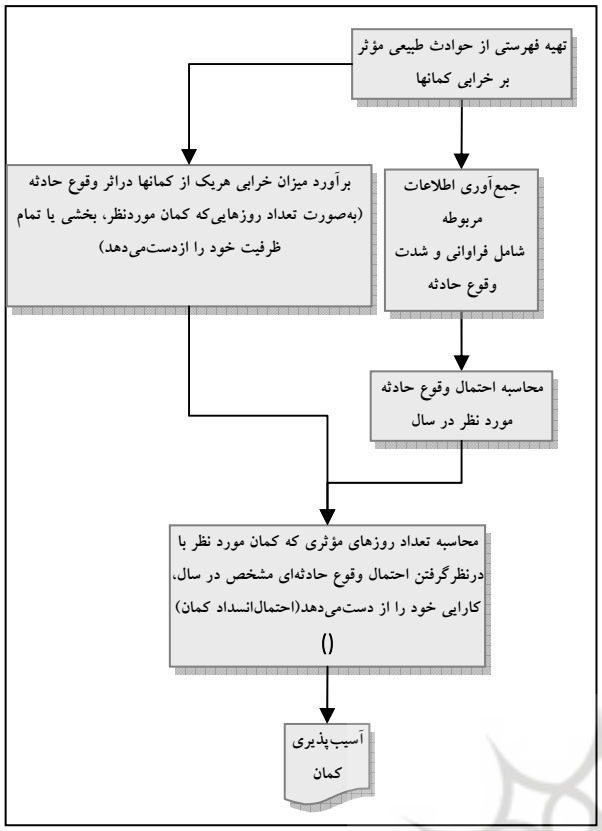
۲-۲ نحوه برآورد آسیب‌پذیری کمانهای شبکه

عمده‌ترین اجزای آسیب‌پذیر سیستم حمل و نقل جاده‌ای در بحث آسیبهای فیزیکی وارده ناشی از حوادث طبیعی، عبارتند از: راه، تونل و پل. میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز حوادث طبیعی، با محاسبه احتمال انسداد کمانها در صورت تخریب این اجزاء تعیین می‌شود.

به همین منظور با شناسایی مناطق در معرض خطر وقوع حوادث طبیعی و اجزای آسیب‌پذیر شبکه و با استفاده از آمار رخدادهای گذشته، احتمال وقوع حوادث مختلف در طول سال برآورد می‌شود. سپس با توجه به احتمال وقوع هرحادثه، احتمال انسداد کمان و مدت زمان انسداد در اثر بروز آن حادثه، میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه محاسبه می‌شود. شکل۱، مراحل محاسبه احتمال وقوع حادثه و احتمال انسداد کمانهای شبکه را در صورت بروز حوادث طبیعی نشان می‌دهد.

۲-۳ معیارهای مؤثر در اهمیت کمان یک شبکه

میزان اهمیت کمانهای ارتباطی، براساس معیارهای اثرگذار بر عملکرد شبکه تعیین می‌شود. در صورت بروز حادثه، شبکه‌ای که نتواند دسترسی به فعالیتهای مختلف را فراهم کند، آسیب‌پذیر خواهد بود. بنابراین، بسته به سطح انتظار از شبکه و مقدار و گسترش این فعالیتها، معیارهای مؤثر بر عملکرد شبکه نیز، متنوع خواهند بود. این پژوهش به معرفی و بررسی انواع معیارهای ممکن می‌پردازد. این معیارها در شکل۲ نشان داده شده‌اند. با توجه به اینکه برخی از این معیارها کمّی و برخی دیگر نیز کیفی هستند، برای سنجش میزان تأثیر هر یک در اهمیت کلی کمانهای شبکه، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده می‌شود [قدسی‌پور، ۱۳۸۵].



شکل۱. روند محاسبه آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز حوادث طبیعی

معیار اهمیت اقتصادی: در هنگام وقوع حادثه، حفظ دسترسی مسیرهای درآمدزا که نقش مهمی در اقتصاد منطقه دارند، حائز اهمیت است. اهمیت اقتصادی به نوعی وابسته به ارزش اقتصادی کمانهای شبکه است و ارزش اقتصادی نیز به صورت سود خالص سالیانه کمانهای شبکه تعریف شده است و از "درآمد جابجایی کالا و مسافر در کمان مورد نظر منهای هزینه نگهداری سالیانه آن کمان"، به دست می‌آید.

معیار اهمیت جایگزینی: در شرایط اضطراری، راههایی که مسیر جایگزین مناسب ندارند، اهمیت بیشتری می‌یابند، زیرا انسداد آنها، منجر به افزایش زمانهای سفر در شبکه می‌شود و از این رو بایستی مورد توجه قرار گیرند. اهمیت جایگزینی برای یک کمان به صورت "میزان تأثیر عدم وجود آن کمان در شبکه بر مجموع زمان افزایش یافته کلیه مبدأ- مقصدها به نسبت حالت وجود آن کمان در شبکه" تعریف شده است:

$$I_k = \left(\frac{T_k^0 - T^0}{T^0} \right) \qquad (٤)$$

که در آن:

I_k مقدار اهمیت جایگزینی کمان k، T^0 مجموع زمانهای طی‌شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه درحالت وجود کمان k و T_k^0 مجموع زمانهای طی شده میان کلیه مبدأ- مقصدهای شبکه در حالت بدون وجود کمان k است.

معیار اهمیت امنیتی- دفاعی: مسیرهای دسترسی به تأسیسات مهم نظامی و نقاط استراتژیک دفاعی، از نظر امنیتی- دفاعی دارای اهمیت ویژه‌ای هستند. این مسیرها بایستی در هنگام وقوع حوادث تا حد امکان ایمن نگه داشته شوند. اهمیت امنیتی- دفاعی با زیرمعیارهای پاسگاه انتظامی، تأسیسات امنیتی- دفاعی، پادگان نظامی و منطقه مرزی تعریف شده است.

نحوه محاسبه اهمیت جزئی کمانها، بر مبنای نزدیکی این زیر معیارها به کمانهای شبکه درنظرگرفته شده است، به این صورت که "نسبت عکس فاصله شعاعی هر یک از این زیر معیارها تا وسط کمان مورد نظر به مجموع عکس فواصل شعاعی هریک از زیر معیارها تا وسط هریک از کمانهای شبکه" به عنوان اهمیت جزئی‌آن کمان برای آن زیر معیار، منظور می‌شود. لازم به ذکر است که دلیل انتخاب فاصله شعاعی، امکان ارزیابی نسبی در تمام گستره شبکه است.

$$S_k = \frac{\sum_i \frac{1}{r_{ik}}}{\sum_{i,k} \frac{1}{r_{ik}}} \qquad (۵)$$

که در آن:

S_k معیار اهمیت امنیتی- دفاعی کمان k و r_k فاصله شعاعی هر زیرمعیار امنیتی- دفاعی i تا وسط کمان k است.

معیار اهمیت اجتماعی: راههایی‌که از نظر اجتماعی، اهمیت بیشتری دارند، درصورت آسیب دیدن، خسارات بیشتری در پی خواهند داشت. این اهمیت می‌تواند بر اساس تقاضای عبور از مسیر، تعداد ساکنین مناطق حوزه نفوذ مسیر مورد مطالعه و یا اهمیت نقاط مبدأ و مقصد از نظر سیاسی تعیین شود. اهمیت اجتماعی با زیر معیارهای جمعیت و جریانهای سیاسی مراکز در نظرگرفته شده است. برای محاسبه اهمیت جزئی کمانها بر مبنای زیر معیارهای تعریف شده، ابتدا مقادیر وزنهای نسبی گره‌های اصلی شبکه از نظر هر یک از این زیر معیارها تعیین می‌شود. سپس به تفکیک هر زیر معیار، برای هر زوج مبدأ- مقصد، میانگین وزن مربوط به گره مبدأ و گره مقصد محاسبه می‌شود و این مقدار میانگین به عنوان نمره مسیر ارتباطی میان آن زوج مبدأ- مقصد در نظر گرفته می‌شود.

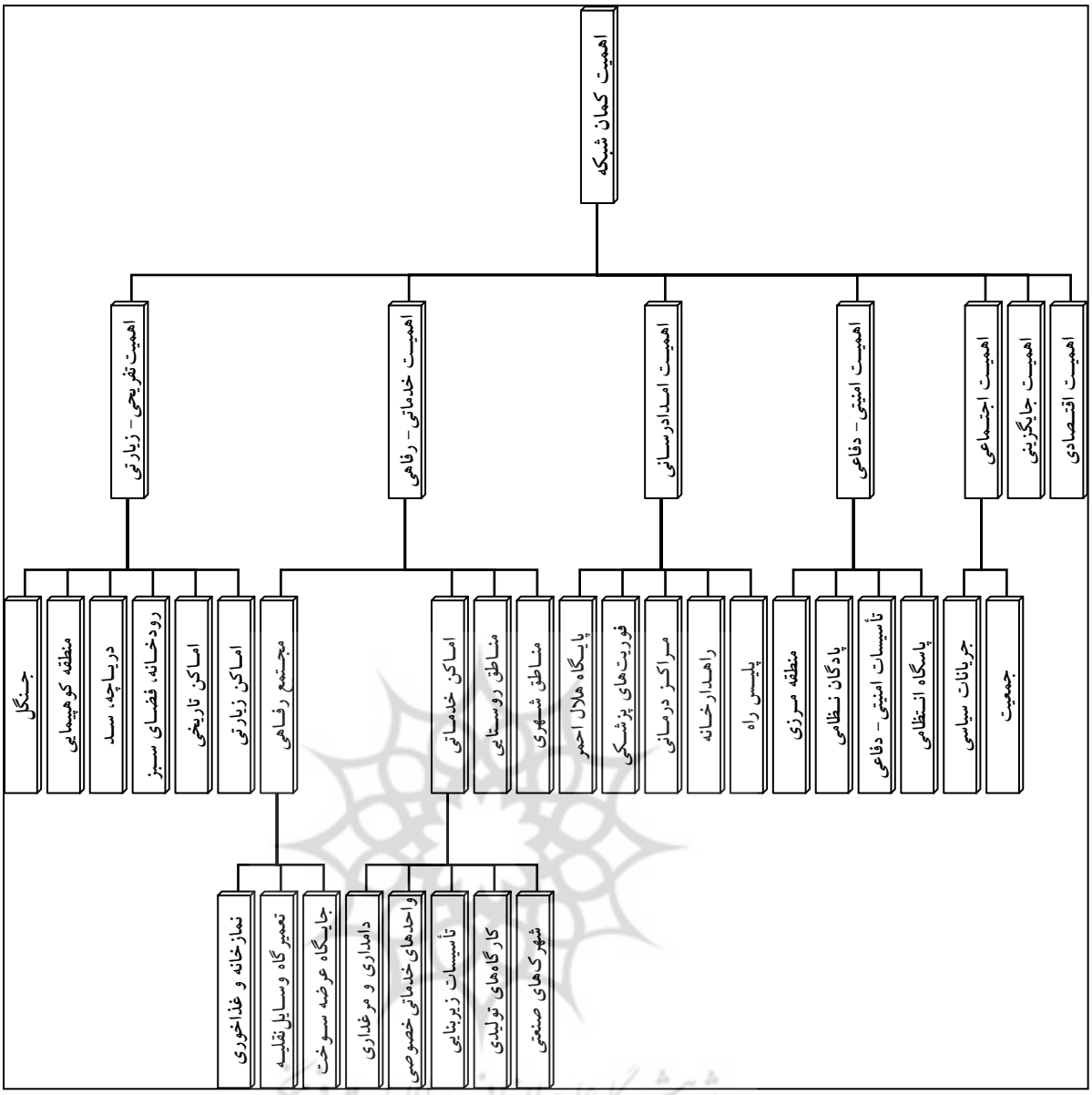
بدیهی است هر مسیر از چند کمان ارتباطی تشکیل شده است. بنابراین نمره هر مسیر برای کمانهای واقع بر آن مسیر نیز منظور می‌شود. این کار برای تمامی مسیرهای مبدأ- مقصد شبکه انجام شده و مجموع میانگین نمرات تخصیص داده شده به هر کمان، برای هر یک از زیر معیارها، میزان اهمیت جزیی آن کمان از نظر آن زیر معیار خواهد بود.

معیار اهمیت امدادرسانی: قابلیت دسترسی به مراکز امدادرسانی با توجه به اهمیت وجود آنها در شرایط اضطراری، بسیار حیاتی است. بنابراین مسیرهای منتهی به مراکز امدادرسانی از اهمیت بیشتری برخوردارند.

اهمیت امدادرسانی با زیر معیارهای پاسگاه پلیس راه، راهدارخانه، مرکز درمانی، فوریتهای پزشکی و پایگاه هلال احمر تعریف شده است. نحوه محاسبه این معیار نیز مشابه روش استفاده شده در معیار اهمیت امنیتی- دفاعی بر مبنای میزان نزدیکی زیر معیارها به کمانهای شبکه است.

معیاراهمیت خدماتی رفاهی: با توجه به نیاز مردم به آب، برق، سوخت و ارتباطات، تأمین دسترسی مسیرهایی که تأسیسات زیربنایی و اماکن خدماتی در آنها وجود دارد، از اهمیت فراوانی برخوردار است. اهمیت خدماتی- رفاهی با زیر معیارهای مناطق شهری و روستایی، اماکن خدماتی و مجتمعهای رفاهی بین راهی تعریف شده است. نحوه محاسبه این معیار نیز مشابه روشهای پیشین است.

معیار اهمیت تفریحی- زیارتی: شناسایی مکانهای تفریحی و زیارتی و مسیرهای منتهی به این نقاط دارای اهمیت بوده و مسیرهایی که اماکن مذهبی و تاریخی و همچنین جاذبه‌های تفریحی و گردشگری بیشتری داشته باشند، از نظر معیار اهمیت تفریحی- زیارتی از اهمیت بیشتری برخوردارند.



شکل۲. معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در تعیین اهمیت کمانهای شبکه

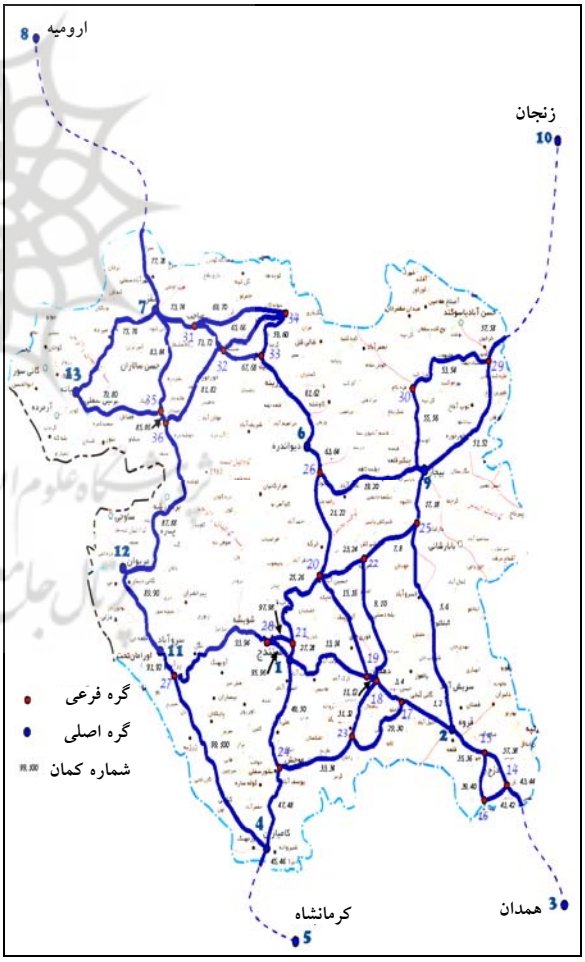
۲-٤ بکارگیری شاخص ریسک برای شبکه راههای استان کردستان

در این پژوهش، عملکرد شبکه راههای استان کردستان با استفاده از شاخص ریسک ارائه شده، مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفته است. مراکز شهرستانها و مراکز استانهای همجوار به عنوان گره‌های اصلی و تقاطعها به عنوان گره‌های فرعی انتخاب شده‌اند. در مجموع، این شبکه شامل۱۳ گره اصلی و ۲۳ گره فرعی است و در آن علاوه بر مسیرهای اصلی و فرعی، مسیرهای اصلی منتهی به مراکز استانهای همجوار نیز به عنوان کمانهای شبکه در نظرگرفته شده و از سایر مسیرهای کم اهمیت‌تر چشم پوشی شده است.

مطابق شکل۳، شبکه راههای این پروژه شامل۵۰ کمان ارتباطی است که با احتساب مسیرهای رفت و برگشت، تعداد کمانهای این شبکه ۱۰۰ کمان است. برای تعیین مشخصات این کمانها، برابر مشاهدات و مطالعات میدانی انجام گرفته، کل شبکه در ساعات کم ترافیک و همچنین در ساعات پر ترافیک، به طور دقیق پیمایش گردیده و متوسط زمان سفر هر کمان از میانگین زمانهای پیموده شده، به دست آمده است و بر مبنای آن متوسط

سرعت سفر در هر کمان محاسبه شده است. متوسط سرعت جریان آزاد نیز براساس حداقل زمان پیمودن آن کمان، تعیین شده است.

ازسوی دیگر برای برآورد ظرفیت هر یک از کمانهای شبکه، پارامترهایی شامل عرض خطوط، فاصله موانع کناری، شیب قطعه، طول شیب و وضعیت توپوگرافی منطقه با بازدید از محورهای استان برای هر قطعه راه تعیین و ضرایب مربوط برآورد شده است. علاوه بر آن، با توجه به نیاز به دانستن درصد وسایل نقلیه سنگین عبوری از کمان برای برآورد ظرفیت، از اطلاعات تردد شماری سالهای ۷٤ تا ۸۱ دفتر فنآوری اطلاعات سازمان راهداری و حمل و نقل جادهای [وزارت راه و ترابری، سازمان راهداری و حمل و نقل] استفاده شده است که به طور میانگین در محورهای استان، ٦۰ درصد سواری، ۱۰ درصد اتوبوس و ۳۰ درصد کامیون وجود داشته است.



شکل۳. شبکه راههای پروژه

۲-٤-۱ حوادث طبیعی و برآورد احتمال وقوع آنها در استان کردستان

زلزله: طراحی لرزهای سازهها براساس شتابی صورت میگیرد که در طول عمر مفید سازه، با پذیرش درصد ریسک مشخصی، امکان رخداد زلزلهای با شتابی بیشتر از آن وجود داشته باشد که برای تعیین درصد احتمال وقوع این زلزله، از رابطه (٦) [Taranath, 2004] استفاده میشود:

$$p_E = 1-(1-q)^{\frac{1}{n}} \quad و \quad (T_r)_E = \frac{1}{p_E} \qquad (٦)$$

که در آن:

$(T_r)_E$ دوره بازگشت زلزله، p_E درصد احتمال وقوع زلزله در سال، q درصد پذیرش خطر(۵، ۱۰، ۵۰ و یا ٦٤ درصد) و n عمر مفید سازه (۵۰ سال) است.

سیل: تعیین سطح مقطع پلها نیازمند انجام مطالعات هیدرولوژیکی است. دبی اوج رودخانه، عامل مهمی در تعیین عرض دهانه پل است. از جمله عوامل مؤثر در محاسبه دبی اوج رودخانه میتوان به مقدار و شدت بارشهای جوی اشاره کرد. برای تعیین شدت بارندگی هر حوزه، اطلاعات آماری درخصوص تداوم بارندگی و دوره بازگشت این تداوم لازم است. دوره بازگشت نیز، با توجه به اندازه دهانه پل و میزان اهمیت آن انتخاب میشود و معمولاً در طراحی پلهای با دهانه کلی ۱۰ تا ۱۵ متر استان کردستان، برای محاسبه دبی سیلاب طرح، دوره بازگشت پنجاه سال و برای پلهای با دهانه کلی بزرگتر از ۱۵ متر، دوره بازگشت صد سال در نظرگرفته شده است[کاظمی، ۱۳۸۷]. احتمال وقوع دبیهای بزرگتر از دبی سیلاب طرح، با توجه به نوع پلها، از رابطه (۷) محاسبه میشود:

$$p_F = \frac{1}{(T_r)_F} \qquad (۷)$$

که در آن:

$(T_r)_F$ دوره بازگشت سیل و p_F درصد احتمال وقوع سیل در سال است.

زمینلغزش: زمینلغزشهای رویداده در محورهای ارتباطی استان کردستان، به طور متوسط سه مرتبه در سال و به تناوب در هجده مقطع از راههای استان به طول ٤۱ کیلومتر و عمدتاً در

ماههای اسفند و فروردین، بعد از وقوع بارندگی‌های شدید و یا پس از ذوب برف رخ می‌دهند [شرکت فنی و مهندسی نیوار، ۱۳۸۰] و [ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه، ۱۳۸۷].

احتمال وقوع زمین‌لغزش در سال، برای مناطق مستعد زمین‌لغزش به طور متوسط به صورت نسبت "متوسط تعداد زمین‌لغزش‌های سالیانه به تعداد مناطق مستعد زمین‌لغزش" محاسبه می‌شود. بنابراین احتمال وقوع زمین‌لغزش در سال برابر است با :

$$p_L = \frac{3}{18} = 0.17$$

ریزش‌کوه: ریزش‌کوه از حوادثی است که به طور متوسط، ۱۵ مرتبه در سال و در طول ۵۳ کیلومتر از محورهای کوهستانی اتفاق می‌افتد [شرکت فنی و مهندسی نیوار، ۱۳۸۰] و [ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه، ۱۳۸۷]. احتمال وقوع ریزش کوه در سال، به صورت نسبت "متوسط تعداد ریزشهای سالیانه به تعداد مناطق مستعد ریزش" محاسبه می‌شود.

$$p_P = \frac{15}{n}$$

بهمن: حادثه بهمن به طور متوسط، پنج مرتبه در سال و به تناوب در هفت مقطع از راههای استان به طول ۱۳ کیلومتر و عمدتاً در ماههای اسفند و فروردین با گرم شدن هوا و همزمان با ذوب برف در برخی از نقاط مرتفع و کوهستانی استان روی می‌دهد [شرکت فنی و مهندسی نیوار، ۱۳۸۰] و [ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه، ۱۳۸۷].

احتمال وقوع بهمن در سال، به صورت نسبت "متوسط تعداد بهمن‌های سالیانه به تعداد مناطقی که احتمال وقوع بهمن دارند"، محاسبه می‌شود.

$$p_A = \frac{5}{5} = 1$$

کولاک: در محورهای ارتباطی استان کردستان کولاک به طور میانگین، ٤٠ روز از سال روی می‌دهد. در مجموع، ٤٨٣ کیلومتر از راههای استان کردستان در معرض خطر وقوع کولاک قرار دارند. بنابراین احتمال وقوع برای نقاط مستعد در هر سال برابر یک است.

$$p_R = 1$$

برف و یخبندان: درمجموع، ۷۲۰ کیلومتر از راههای استان کردستان در معرض خطر برف و یخبندان قرار دارد. بنابراین احتمال وقوع برای نقاط مستعد در هر سال برابر یک است.

$$p_S = 1$$

۲-٤-۲ تعیین میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه راههای استان کردستان

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز زلزله و آسیب تونل‌ها: نظر به این که حوادث ریزش کوه و زمین‌لغزش برای مقاطع جاده‌ها در نظرگرفته شده است، بنابراین آسیب‌پذیری تونلها تنها دربرابر زلزله مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از احتمال برآورد شده برای وقوع زلزله و در نظرگرفتن تعداد روزهای انسداد مسیر در صورت آسیب تونلها، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به دست آورد.

تعداد روزهای انسداد مسیر و مدت زمان بازگشایی تونل نیز، بستگی به طول و عمق روباره تونل دارد که با فرض شروع عملیات بازگشایی، بلافاصله پس از وقوع حادثه و با فرض انجام کار در دو جبهه، میزان پیشروی به طور متوسط، ۸ متر در شبانه‌روز در نظر گرفته شده است [کاظمی، ۱۳۸۷]. لازم به ذکر است که احتمال انسداد کمان درصورت بروز زلزله و سایر حوادث برابر ۱ فرض شده است.

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز زلزله و سیل و آسیب پلها: بررسی حوادث گذشته نشان می‌دهد که تقریباً تمامی پلهای واقع در شبکه راههای استان کردستان در معرض خطر سیل قرار دارند. به علاوه، با توجه به اینکه پلهای بزرگ در معرض بیشترین آسیبهای ناشی از زلزله قرار دارند و درصورت آسیب، عملکرد شبکه را به شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند آسیب‌پذیری پلهای با دهانه۱۰ متر و بالاتر در برابر زلزله و سیل بررسی شده است.

با استفاده از احتمال برآورد شده برای وقوع زلزله و سیل و در نظر گرفتن تعداد روزهای انسداد مسیر در صورت آسیب پلها، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به دست آورد. تعداد روزهای انسداد مسیر، بستگی به طول کلی دهانه پل دارد که برای احداث مجدد پل، ۳ شبانه‌روز به ازای هر متر عرض دهانه پل در نظرگرفته شده است [کاظمی، ۱۳۸۷].

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز زمین‌لغزش: باتوجه به احتمال برآورد شده برای وقوع زمین‌لغزش در طول سال و نیز در نظرگرفتن مدت زمان لازم برای بازگشایی مسیرهایی که در صورت بروز زمین‌لغزش مسدود خواهند شد، می‌توان میزان آسیب‌پذیری کمان را به دست آورد. مدت زمان بازگشایی مسیر بستگی به حجم مصالح رانشی و میزان آسیبهای وارده به جسم و ابنیه جاده دارد. به طور متوسط، مدت زمان رفع انسداد مسیر در هر مرتبه وقوع زمین‌لغزش در محورهای استان با احتساب زمان لازم برای انتقال ماشین‌آلات به محل وقوع حادثه، بین ۱۲ تا ۲٤ ساعت است [کاظمی، ۱۳۸۷].

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز ریزش‌کوه: معمولاً ریزش کوه با انسداد کامل مسیر همراه نیست، اما در اغلب موارد موجب کاهش حداقل ۵۰ درصدی ظرفیت مسیر خواهد شد. در این موارد به طور متوسط، مدت زمان رفع انسداد مسیر در هر مرتبه وقوع ریزش در محورهای استان با احتساب زمان لازم برای انتقال ماشین‌آلات به محل وقوع حادثه، بین ۵ تا ۱۰ ساعت است [کاظمی،۱۳۸۷].

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز بهمن: مدت زمان بازگشایی مسیر بستگی به حجم بهمن دارد. به طور متوسط، زمان لازم برای رفع انسداد مسیر در هر مرتبه وقوع بهمن در محورهای استان، بین ۱۰ تا ۲۰ ساعت است [کاظمی،۱۳۸۷].

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر بروز کولاک: کولاک به طور متوسط، ٤۰ روز از سال در محورهای ارتباطی استان کردستان روی می‌دهد [شرکت فنی و مهندسی نیوار، ۱۳۸۰] و [ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه، ۱۳۸۷]. هر بار وقوع این حادثه به طور متوسط، ٦ ساعت در شبانه‌روز تداوم می‌یابد، بنابراین تعداد روزهای محتمل برای وقوع کولاک در سال برای محورهایی‌که درمعرض کولاک هستند، برابراست با: $n_R = 40 \times \frac{6}{24} = 10$. بروز پدیده کولاک در برخی از موارد در محورهای کم تردد استان با انسداد مسیر همراه است، اما در اغلب موارد موجب کاهش ۲۰ تا ٤۰ درصدی ظرفیت جاده می‌شود. بنابراین در صورت بروز کولاک، میزان آسیب‌پذیری یک کمان، از ضرب احتمال وقوع کولاک در مقدار کاهش ظرفیت آن کمان تعیین خواهد شد [کاظمی،۱۳۸۷] .

محاسبه میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه در اثر برف و یخبندان: در محورهای ارتباطی استان، به طور میانگین ٦۰ روز از سال، برف و یخبندان وجود دارد. وقوع کولاک، یخبندان را نیز در پی دارد. بنابراین با درنظرگرفتن ٤۰ روز کولاک همراه با یخبندان، به طور متوسط ۲۰ روز از سال در محورهای ارتباطی استان کردستان، یخبندان وجود دارد. هر بار وقوع این حادثه به طور متوسط ۱۲ ساعت در شبانه‌روز تداوم می‌یابد. بنابراین تعداد روزهای معادل محتمل وقوع برف و یخبندان مستقل از وقوع کولاک در سال برای محورهایی که در معرض برف و یخبندان قرار دارند، برابراست با: $n_S = (60 - 40) \times \frac{12}{24} = 10$. وقوع برف و یخبندان در محورهای استان، موجب کاهش ۱۰ تا ۲۰ درصدی ظرفیت جاده می‌شود. بنابراین در صورت بروز برف و یخبندان، میزان آسیب‌پذیری یک کمان، از ضرب احتمال وقوع برف و یخبندان در مقدار کاهش ظرفیت آن کمان تعیین خواهد شد [کاظمی، ۱۳۸۷].

۲-٤-۳ تعیین میزان اهمیت کمانهای شبکه راههای استان کردستان

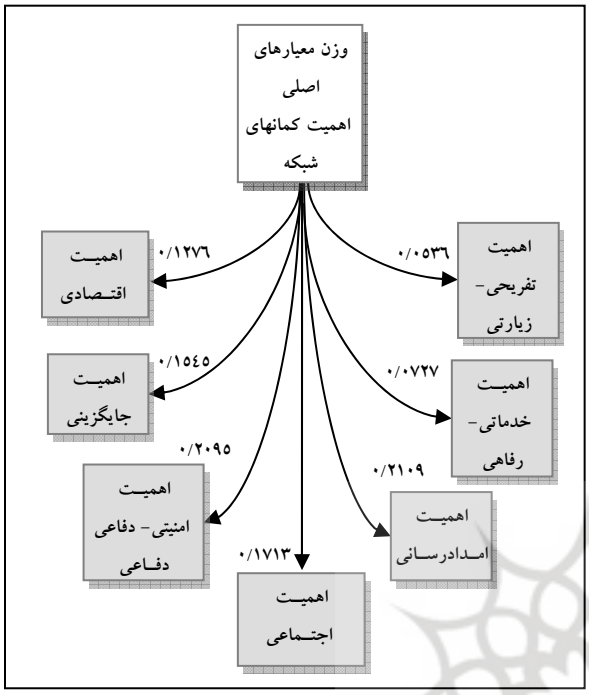
به منظور محاسبه اهمیت کمانهای شبکه برای تمام معیارها و زیرمعیارهای تعریف شده در بخش ۲-۳، بازدید میدانی انجام شده و حجم وسیعی از اطلاعات شامل: موقعیت پاسگاههای انتظامی، تأسیسات امنیتی- دفاعی، پادگانهای نظامی و مناطق مرزی، همچنین جمعیت، سابقه فرهنگی- تاریخی و جریانات سیاسی مراکز، موقعیت پاسگاههای پلیس راه، راهدارخانه‌ها، مراکز درمانی، فوریتهای پزشکی و پایگاههای هلال‌احمر، مناطق شهری و روستایی، اماکن خدماتی مانند شهرکهای صنعتی، کارگاههای تولید مواد خوراکی و لبنی، کارگاههای دانه‌بندی شن و ماسه، کارگاههای تولید آسفالت، آهک و گچ، کوره‌های آجرپزی، تأسیسات زیربنایی مانند تأسیسات مخابراتی، نیروگاههای برق، مخازن و خطوط نفت و گاز، سیلوهای ذخیره، واحدهای خدماتی خصوصی، مراکز خرید و فروش، دامداری‌ها و مرغداری‌ها، مجتمعهای رفاهی مانند جایگاههای عرضه

سوخت، تعمیرگاه وسایل نقلیه، غذاخوری و نمازخانه، همچنین موقعیت اماکن مذهبی، اماکن تاریخی، رودخانه، فضای سبز، دریاچه، سد، مناطق کوه‌پیمایی و جنگلی جمع‌آوری شد.

با استفاده از این اطلاعات و براساس تعاریف منظور شده برای معیارهای مؤثر در تعیین اهمیت اجزای شبکه در بخش ۲-۳، مقادیر اهمیت جزیی کمانهای شبکه محاسبه شد. جدول ۱، نمونه‌ای از این اطلاعات را که در ارتباط با تعیین موقعیت کاربریهای مختلف در محورهای ارتباطی استان کردستان است، ارائه می‌کند.

پس از محاسبه اهمیت جزیی کمانها، به منظور سنجش تأثیر معیارها در شبکه، وزن آنها محاسبه شد. تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، با استفاده از روش سلسله مراتبی و با بهره‌گیری از نظرات کارشناسان خبره انجام شد. در شکل ۲، نمودار سلسله مراتبی اهمیت اجزای شبکه نشان داده شده است. در این نمودار، هدف در سطح اول، معیارهای اصلی در سطح دوم، و زیرمعیارها در سطح سوم قرار دارند.

در فرآیند سلسله مراتبی، معیارهای اصلی نسبت به هم، و زیر معیارها نیز نسبت به هم، به صورت زوجی مقایسه می‌شوند که برای انجام آن، فرمهایی در اختیار ۱۷ نفر از کارشناسان با تجربه قرار گرفت. انتخاب این کارشناسان با توجه به مرتبط بودن فعالیت شغلی آنها با معیارها و زیرمعیارهای مورد بحث بوده است.

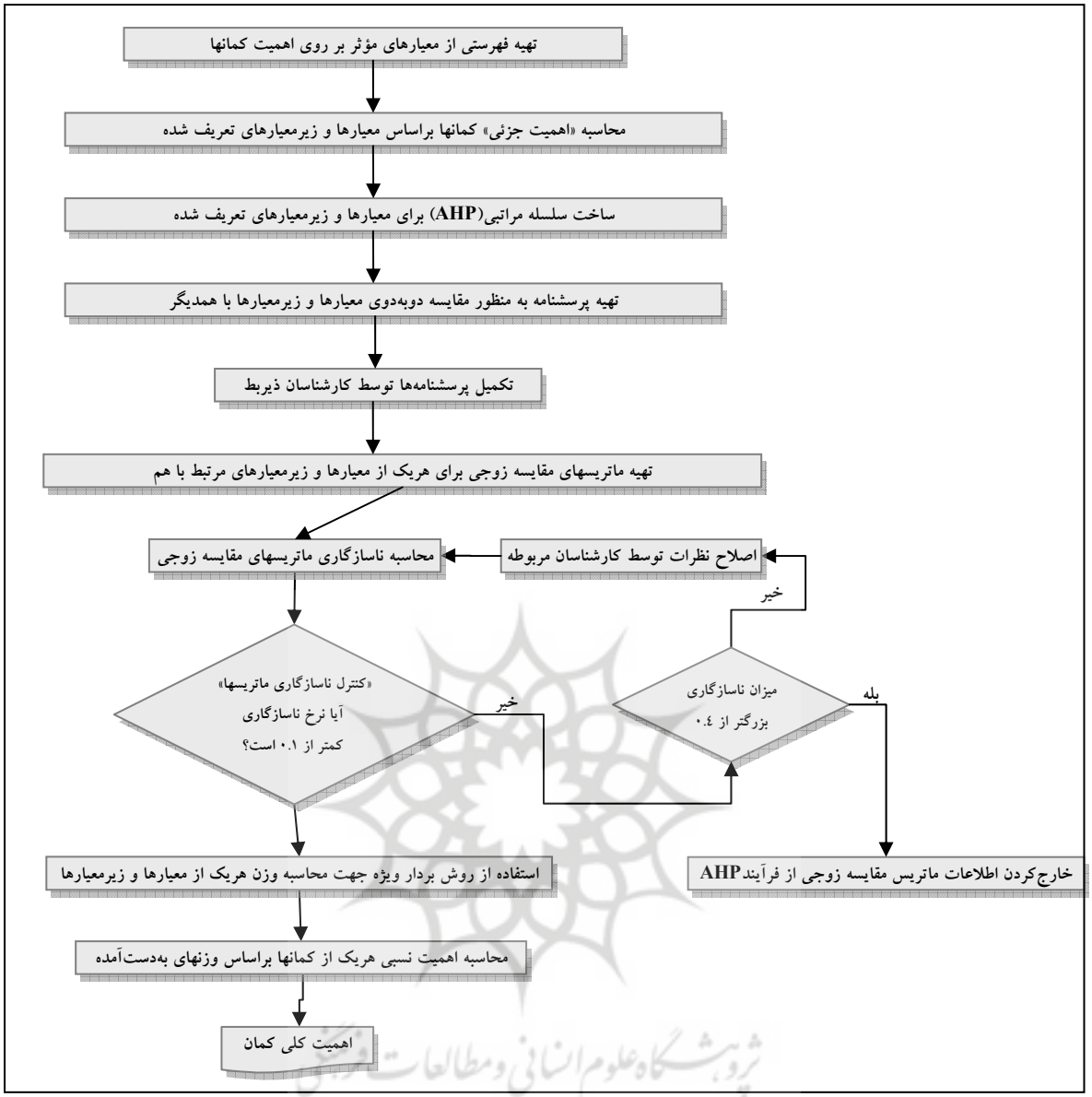


شکل ٤. وزن معیارهای اصلی اهمیت کمانهای شبکه

جدول ۱. نمونه اطلاعات جمع‌آوری شده از موقعیت کاربریهای مختلف (مثال موردی: محور سنندج- دیواندره)

نوع کاربری	پادگان نظامی	پاسگاه انتظامی	پلیس راه	راهدارخانه	مرکز درمان	پایگاه هلال احمر	فوریتهای پزشکی	مناطق روستایی	مناطق شهری	کارخانجات و کارگاههای تولیدی	تأسیسات زیربنایی	واحدهای خدماتی خصوصی	دامداری و مرغداری	جایگاه عرضه سوخت	تعمیرگاه وسایل نقلیه	نمازخانه و غذاخوری	رودخانه، فضای سبز	دریاچه، سد	منطقه کوهپیمایی
کیلومتر از مبدأ (سنندج)	۱/۷	٤٤/۱	۵۹/۳	۲۱/۹	٤٤	٤٤/۱	۲۱/۹	۱۲/٤	۰	۳	۰/٦	٤۳/۳	۱٦/۹	۱	٤۳/۵	۰/۸	٦۵	٦	۱۳/۱
	٦/۳	۵۹/۳		۵۰/٤	۵۰/۳	۵۰/٤	٤٤	۳۸/۹		۳/٦	۱۱/٤	٤۳/٤	۵۱/۹	۵۰/۸	۵۰/۸	۱۰/٦	۷۰	۱۲/۳	۵۷/۱
	٤۳/۵	۷٤/۸					٤٤/۱	٤۳/۲		۳/۹	٤۳/۷	٤۳/٦	۵۲/۸		٦٤	٤۵/۱	۷٤	۱٦	
	۷٤/۵	۸۲					۵۰/٤	٤۹/۸		٤/۲	۵۰/٤	٤۳/۸	۵۹/۵			٤۹/۹	۸۰	۳۲/۵	
								۵٤/۱		۳۰	۵٦	۵٤/۸				۵۰/۸			
								۵۷/۱		۳۲/۱	۵۹/۲	۵۹/۵				۵٤/۱			
								٦٤		۳۸/۷	۵۹/٤	٦۰/۷				٦٤			
								۷۰/۵		۳۹/٦	۸۱/۸					۷٤/٦			
								۷٤/۵		٦۰/۷						۷٤/۸			
										۷۲/۷						۸۱/۹			
										۷۸/٦									

در شکل ۵ مراحل محاسبه اهمیت کمانهای شبکه دیده می‌شود.



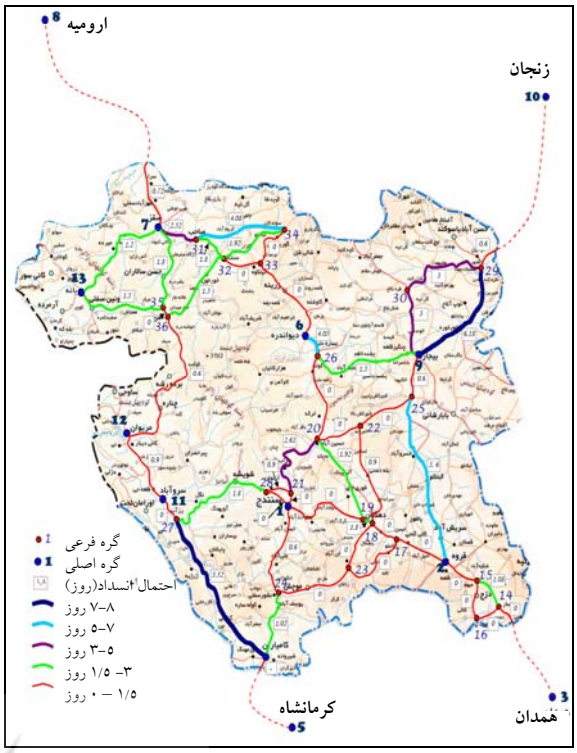
شکل۵. مراحل محاسبه اهمیت کلی کمانهای شبکه

۳. نتایج

با استفاده از شاخص ریسک ارائه شده و تحلیل صورت گرفته بر روی شبکه جاده‌های استان کردستان، نتایج مختلفی به دست آمده است که در ادامه به آن اشاره می‌شود.

۳-۱ اولویت‌بندی کمانهای شبکه جاده‌ای استان کردستان از نظر آسیب‌پذیری

تعیین موقعیت اجزای آسیب‌پذیر شبکه و همچنین مقاطعی از کمانهای شبکه که در معرض خطر وقوع حوادث طبیعی قرار دارند و نیز مقایسه آنها از نظر شدت آسیب‌پذیری، با انجام بررسیهای میدانی صورت پذیرفته که برای این کار، کل شبکه به طول ۳۱۱۱ کیلومتر پیمایش و مقادیر آسیب‌پذیری کمانهای شبکه برای هریک از حوادث برآورد شده است. به عنوان نمونه، آسیب‌پذیری کمانهای شبکه، در صورت بروز سیل، در شکل ٦ نشان داده شده است. میزان آسیب‌پذیری کلی کمانهای شبکه در طول سال نیز، از مجموع مقادیر محاسبه شده برای آسیب‌پذیری کمانها در اثر بروز هر یک از حوادث تعیین و براساس آن کمانهای شبکه از نظر آسیب‌پذیری اولویت‌بندی شدند.



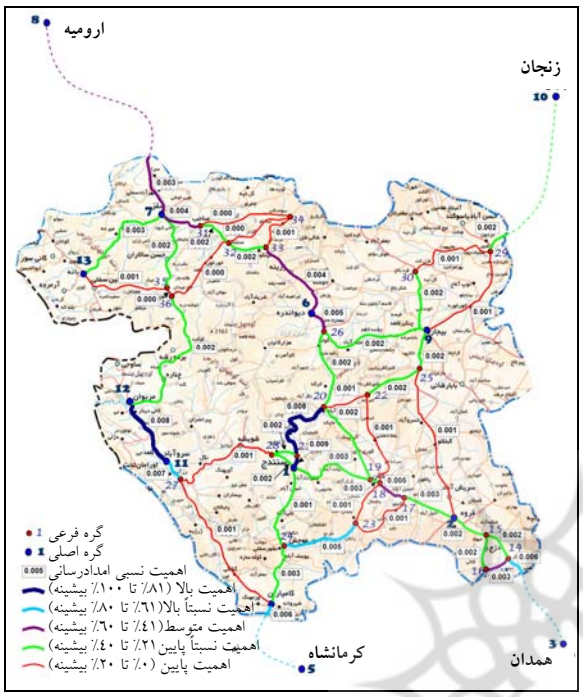
شکل٦. میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه درصورت بروز سیل

۳-۲ اولویت‌بندی کمانهای شبکه جاده‌ای استان کردستان از نظر اهمیت

مقادیر اهمیت نسبی کمانهای شبکه از نظر هریک از معیارهای اصلی، بر مبنای وزنهای نسبی به دست آمده برای معیارها و زیرمعیارهای تعریف شده، تعیین گردید و بر اساس آن، کمانهای شبکه اولویت‌بندی شد. به عنوان نمونه در شکل ۷، اولویت‌بندی کمانهای شبکه از نظر اهمیت نسبی امدادرسانی نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، اهمیت امدادرسانی کمانها به نسبت بیشترین مقدار به دست آمده برای اهمیت امدادرسانی، به پنج دسته اهمیت بالا، اهمیت نسبتاً بالا، اهمیت متوسط، اهمیت نسبتاً پایین و اهمیت پایین تقسیم‌بندی شده است. اهمیت کلی کمانهای شبکه نیز، از مجموع مقادیر اهمیت‌های نسبی کمانها به دست می‌آید.

۳-۳ اولویت‌بندی کمانهای ارتباطی شبکه جاده‌ای استان کردستان بر مبنای ریسک

میزان ریسک کمانهای شبکه راههای استان کردستان، بر مبنای آسیب‌پذیری کلی و اهمیت کلی این کمانها بر طبق رابطه (۳) تعیین و براساس آن، کمانهای شبکه اولویت‌بندی شد. نتایج این اولویت‌بندی برای ده کمان با ریسک بالا در جدول ۲ نشان داده شده است. این اولویت‌بندی می‌تواند مبنایی برای تصمیم‌گیران در جهت انتخاب کمانها به منظور افزایش قابلیت اطمینان و کاهش ریسک کمانها باشد.



شکل۷. اهمیت نسبی امدادرسانی کمانهای شبکه راههای استان کردستان

۳-٤ اولویت‌بندی مسیرهای با ریسک پایین در شبکه راههای استان کردستان

با در نظر گرفتن بیشترین مقدار ریسک کمانهای تشکیل دهنده هریک از مسیرهای مبدأ- مقصد، به عنوان میزان ریسک آن مسیر، می‌توان مسیرهای دارای ریسک پایین را مشخص کرد. نتایج این اولویت‌بندی برای پنج مسیر با ریسک پایین در جدول ۳ آمده است.

۳-۵ اولویت‌بندی مسیرهای با ریسک پایین مابین مرکز استان کردستان و سایر استانهای همجوار

با مشخص کردن مسیرهای دارای ریسک پایین، می‌توان از آنها در فعالیتهای مربوط به امداد و نجات استفاده کرد. به عنوان مثال، اولویت برنامه‌های مربوط به امداد و نجات از سایر مراکز استانی به مرکز استان کردستان، در جدول ٤ آورده شده است.

جدول۲. ده کمان با ریسک بالای شبکه راههای استان کردستان

اولویت برمبنای ریسک	نام کمان	شماره کمان	طول کمان(کیلومتر)	میزان ریسک
۱	دیواندره – سه‌راهی غیبی‌سور	٦٣ و٦٤	۸	۰/۳۹٤
۲	بیجار– هشتادجفت	۵۱ و۵۲	٤۵/۵	۰/۳۰۸
۳	حسین‌آباد– سه‌راهی مریوان	۲۵ و۲٦	٤۱	۰/۳۰۰
٤	صاحب – سقز	۷۳ و۷٤	۱٤/۵	۰/۲۹۵
۵	سقز– بانه	۷۵ و۷٦	۵۱/۵	۰/۲٦۸
٦	سه‌راهی تکاب – دیواندره	٦۱ و٦۲	۳۵	۰/۲٤۷
۷	کامیاران– سه‌راهی فقیه‌سلیمان	٤۷ و٤۸	۲۸/۵	۰/۲۲۹
۸	قروه – ناظم‌آباد	۳۵ و۳٦	۱۳	۰/۲۲٦
۹	وینسار– همدان	٤۳ و٤٤	۷	۰/۲۲۲
۱۰	سقز– ارومیه	۷۷ و۷۸	۱۵	۰/۲۱۹

جدول۳. پنج مسیر با ریسک پایین شبکه راههای استان کردستان

اولویت	مبدأ– مقصد	میزان ریسک
۱	کامیاران– کرمانشاه	۰/۰٤۲
۲	قروه– بیجار	۰/۱۲۰
۳	مریوان– بانه	۰/۱٤۷
٤	سقز– مریوان	۰/۱٤۷
۵	کامیاران– سروآباد	۰/۱۵۹

جدول٤. اولویت‌بندی مسیرهای با ریسک پایین مابین مرکز استان کردستان و سایر استانهای همجوار

اولویت	مبدأ– مقصد	میزان ریسک
۱	سنندج– همدان	۰/۲۲٦
۲	سنندج– کرمانشاه	۰/۲۲۹
۳	سنندج– زنجان	۰/۳۰۸
٤	سنندج– ارومیه	۰/۳۹٤

جدول ۵. اولویت سرمایه‌گذاری در کمانهای ارتباطی شبکه راههای استان کردستان

اولویت سرمایه‌گذاری	نام کمان	طول کمان (کیلومتر)	ریسک	نسبت ریسک به طول کمان
۱	دیواندره– سه‌راهی غیبی‌سور	۸	۰/۳۹٤	۰/۰٤۹
۲	وینسار– همدان	۷	۰/۲۲۲	۰/۰۳۲
۳	دهگلان – کروندان	٦/۵	۰/۱۸۳	۰/۰۲۸
٤	سروآباد – سه‌راهی رزاب	۵/۵	۰/۱۲۸	۰/۰۲۳
۵	صاحب – سقز	۱٤/۵	۰/۲۹۵	۰/۰۲۰

۳-۶ اولویت سرمایه‌گذاری در کمانهای ارتباطی شبکه راههای استان کردستان

به منظور بازدهی بیشتر، می‌توان کمانهایی از شبکه را که دارای طول کمتر و میزان ریسک بالاتری هستند، برای سرمایه‌گذاری اولویت‌بندی کرد. نتایج این اولویت‌بندی برای پنج کمان برتر در جدول ۵ آورده شده است.

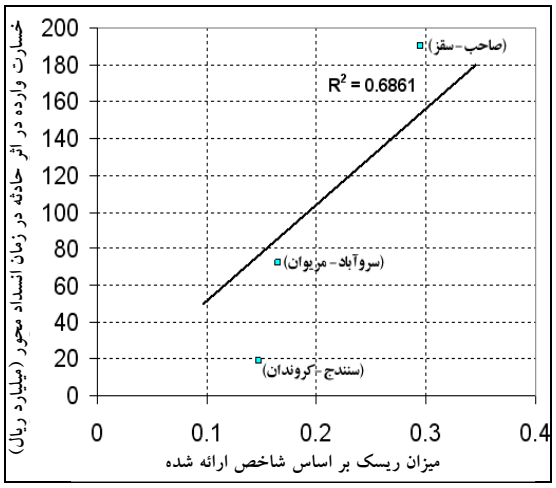
۳-۷ اعتبارسنجی شاخص ارائه شده

برای ارزیابی شاخص ارائه شده، نتایج این شاخص با آن‌چه که در واقعیت رویداده است، مطابقت داده شده است، به این ترتیب که با بررسی رخدادهای مهم جاده‌های استان و مقایسه آن با نتایج شاخص ارائه شده، این شاخص بررسی شده است. برای این کار، سه حادثه زمین‌لغزش رویداده در کمان ارتباطی سروآباد- مریوان در سال ۱۳۸۱ [وزارت راه و ترابری. معاونت راهداری،۱۳۸۱]، ریزش‌کوه در کمان ارتباطی سنندج- کروندان در اثر بروز سیل در سال ۱۳۸٤[وزارت راه و ترابری، معاونت راهداری، ۱۳۸٤] و نشست پایه پل آدینان در کمان صاحب- سقز در اثر بروز سیل در سال ۱۳۸۳[وزارت راه و ترابری، اداره کل راه و ترابری استان کردستان، ۱۳۸۳] مورد بررسی قرار گرفت و براساس برآوردهای صورت گرفته درباره میزان خسارات وارد شده به شبکه در اثر بروز این حوادث، کمانهای آسیب‌دیده رتبه‌بندی شدند.

نتایج مقایسه میان رتبه‌بندی واقعی و اولویت‌بندی انجام شده براساس شاخص ارائه شده، در شکل ۸ نمایش داده شده است که نشان از تناسب قابل قبول میان مقادیر به دست آمده برای ریسک کمانها با میزان خسارات کلی وارده دارد. مطابق این شکل، باتوجه به آن‌که در صورت عدم وقوع حادثه، مقدار ریسک صفر می‌شود، عدد ۰/٦۹ برای ضریب همبستگی به دست می‌آید.

۳-۸ تحلیل حساسیت

درروش ارائه شده برای تعیین میزان اهمیت کمانها، هر چند از داده‌های واقعی استفاده شده است. اما وزن‌دهی به معیارهای تعیین‌کننده اهمیت کمانها، بر مبنای روشAHP صورت گرفته است که برای تعیین تأثیر تغییرات این معیارها، بررسی تغییرات در نتایج رتبه‌بندی کمانها در صورت حذف معیارها و ارزیابی پایداری شاخص نسبت به تغییر وزن معیارها، تحلیل حساسیت در دو حالت انجام شده است.



شکل۸. مقایسه نتایج رتبه‌بندی واقعی بر مبنای میزان خسارات کلی وارده در اثر رخدادهای طبیعی
با اولویت‌بندی انجام شده از نظر ریسک براساس شاخص ارائه شده

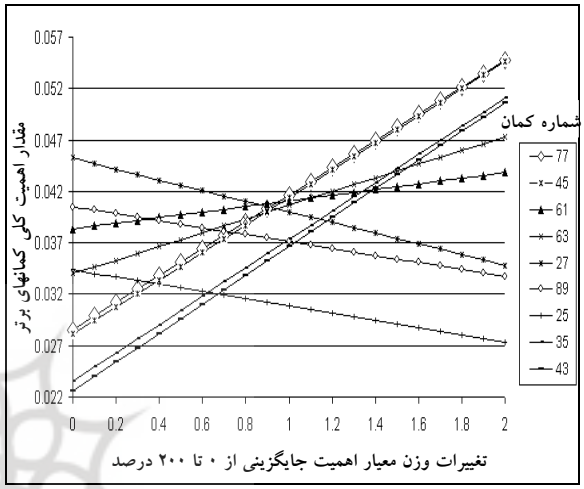
الف) تغییر در وزن معیارهای اصلی به صورت جداگانه

در این حالت، تغییرات رتبه‌بندی کمانهای برتر در صورت تغییر وزن معیارهای اصلی بررسی شده است. به این ترتیب که وزن هریک از معیارها از صفر تا دو برابر تغییر داده شده است، به نحوی که در هر حالت، وزن سایر معیارها متناسباً به گونه‌ای تغییر یافته که مجموع وزن معیارها برابر۱ شود و براساس آن، مقادیر جدید اهمیت‌های نسبی کمانها محاسبه شده است.

سپس با بررسی تغییرات مقادیر اهمیت نسبی کمانها، تأثیر این تغییرات در نتایج رتبه‌بندی کمانهای برتر برای هر یک از این معیارها مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. به عنوان مثال، نمودار تغییرات اهمیت کلی این کمانها نسبت به تغییر وزن معیار اهمیت جایگزینی در شکل ۹ ترسیم شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در حالت عادی که هیچ تغییری در وزن معیار اهمیت جایگزینی داده نشده است و ضرایب برابر یک است. (عدد ۱ در محور افقی)، تغییری در رتبه‌بندی کمانهای مهم به وجود نمی‌آید. این مجموعه با تغییر وزن معیار اهمیت جایگزینی، در بازه ۱۰۰٪ + مقدار عادی آن، بدون تغییر باقی می‌ماند. به این ترتیب که با افزایش وزن معیار اهمیت جایگزینی، مقدار اهمیت کلی این کمانها که از نظر جایگزینی، اهمیت بیشتری نسبت به سایر کمانها دارند، افزایش می‌یابد و فقط، مقدار اهمیت کلی کمان سه‌راهی مریوان- سنندج به شماره (۲۸-۲۷) که از نظر جایگزینی، اهمیت کمتری نسبت به سایر

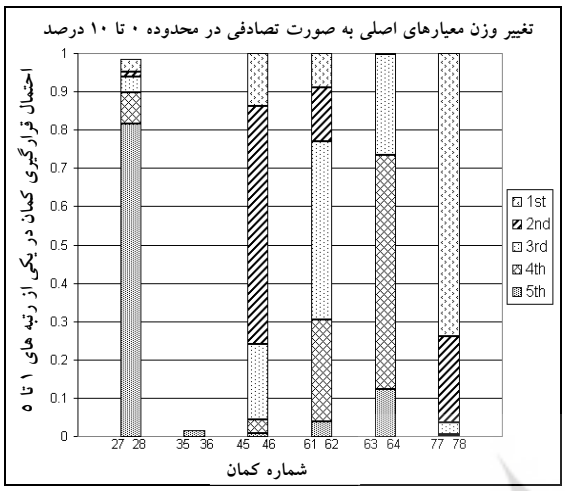
کمانها دارد، کاهش می‌یابد. در بازه ۱۰۰٪- مقدار عادی آن نیز، علاوه بر تغییر در رتبه‌بندی این کمانها، کمانهای مریوان- سروآباد و حسین آباد- سه‌راهی مریوان به شماره‌های (۹۰-۸۹)، (۲۶-۲۵) به مجموعه کمانهای برتر اضافه می‌شوند. این تحلیل برای وزن سایر معیارهای اصلی انجام شده و نتایج مشابه به دست آمده است. به این ترتیب که مشخص شده بعضی از محورها دارای آن چنان اهمیتی هستند که در بازه قابل توجهی از تغییر در ضرایب معیارها، در رتبه آنها تفاوت چندانی ایجاد نخواهد شد.



شکل۹. تحلیل حساسیت معیار اهمیت جایگزینی کمانهای برتر شبکه راههای استان کردستان

ب) تغییر در وزن همهٔ معیارهای اصلی به صورت تصادفی

در روش دوم، مقادیر وزنهای مختلف، به صورت تصادفی در یک محدوده مشخص، تغییر داده می‌شود. در هر مرحله، ۷ ضریب تصادفی در محدوده $(1+\alpha)$ و $(1-\alpha)$ تولید می‌شود که α میزان درصد تغییر در ضرایب است. این ۷ ضریب، در مقادیر وزنهای مربوطه ضرب شده و پس از نرمالیزه‌کردن ضرایب، میزان اهمیت نسبی کمانها محاسبه می‌شود. پس از آن اولویت‌بندی کمانها انجام می‌گیرد و در انتها، نموداری که نشان‌دهندهٔ احتمال قرارگیری یک کمان مشخص در یکی از جایگاههای اهمیت اول تا پنجم است، ترسیم می‌شود. شکل۱۰، تحلیل حساسیت کلیه معیارهای اصلی برای رتبه‌بندی پنج کمان اول شبکه راههای استان کردستان را در محدوده (۰ تا ۱۰) درصد نشان می‌دهد که می‌توان از کمان سقز- ارومیه به شماره (۷۸-۷۷) به عنوان کمان اول نام برد. کمانهای کرمانشاه- کامیاران به شماره (٤٦-٤٥)، سه‌راهی تکاب- دیواندره به شماره(٦٢-٦١)، دیواندره- سه‌راهی غیبی‌سور به شماره(٦٤-٦٣) و سه‌راهی مریوان- سنندج به شماره (۲۸-۲۷) نیز به ترتیب در مکانهای دوم تا پنجم قرار دارند. در سایر محدوده‌ها نیز نتایج مشابهی به دست آمده است و تغییرات قابل ملاحظه‌ای در رتبه‌بندی پنج کمان اول مشاهده نشد.



شکل۱۰. تحلیل حساسیت کلیه معیارهای اصلی برای رتبه‌بندی پنج کمان اول شبکه راههای استان کردستان

٤. خلاصه و نتیجه‌گیری

نظر به اهمیت و ضرورت بررسی عملکرد شبکه حمل و نقل جاده‌ای در شرایط اضطراری، یک شاخص ریسک بر مبنای دسترسی ارائه شد. این شاخص علاوه بر سنجش اثرات بروز انواع حوادث طبیعی بر اجزای مختلف شبکه، میزان تأثیر هر یک از اجزاء بر عملکرد شبکه را با توجه به اهمیت آنها ارزیابی می‌کند. در این شاخص، برای تعیین اهمیت کمانهای شبکه، انواع معیارهای تأثیرگذار بر عملکرد شبکه حمل و نقل تعریف شده است. این معیارها به همراه زیر معیارهای مرتبط با هر یک، برای مقایسه دو به دو به کارشناسان ذیربط ارائه و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و نظرات اخذ شده از کارشناسان، وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها تعیین شد. این شاخص برای شبکه راههای استان کردستان به کار گرفته شد و با استفاده از معیارهای تعریف شده و وزنهای به دست آمده برای این معیارها، میزان اهمیت هر یک از کمانها تعیین و کمانهای شبکه به ترتیب اهمیت اولویت‌بندی شدند. بر این اساس،

کمانهای ارتباطی سقز- ارومیه، کرمانشاه- کامیاران، سه‌راهی تکاب- دیواندره، دیواندره- سه‌راهی غیبی‌سور و سه‌راهی مریوان- سنندج، به عنوان با اهمیت‌ترین کمانهای شبکه معرفی شدند. از سوی دیگر، با استفاده از آمار رخدادهای طبیعی استان کردستان، احتمال بروز انواع حوادث طبیعی پیش‌بینی و برآورد شد. بررسی این حوادث و اثرات تخریبی آن، یکی از اهداف این پژوهش بود که با شناسایی اجزای آسیب‌پذیر مانند تونلها، پلها و قطعاتی از راه که در معرض خطر وقوع حوادث قرار دارند و همچنین تعیین میزان آسیب‌پذیری کمانهای شبکه، در صورت تخریب این اجزاء، صورت گرفت. نتایج این مرحله از پروژه منجر به شناسایی کمانهای بیجار- هشتادجفت، قروه- صادق‌آباد، قره بلاغ میانکوه- بیجار، سه‌راهی رزاب- کامیاران و سه‌راهی غارکرفتو- صاحب، به‌عنوان کمانهای با میزان آسیب‌پذیری بالا در اثر بروز انواع حوادث طبیعی شامل زلزله، سیل، زمین‌لغزش، ریزش‌کوه، بهمن، کولاک، برف و یخبندان شد. در ادامه، شاخصی ارائه شد که براساس آن می‌توان میزان ریسک شبکه و اجزای آن را تعیین کرد. براساس نتایج به دست آمده، کمانهای ارتباطی دیواندره- سه‌راهی غیبی‌سور، بیجار- هشتادجفت، حسین‌آباد- سه‌راهی مریوان، صاحب- سقز، سقز- بانه، سه‌راهی تکاب- دیواندره، کامیاران- سه‌راهی فقیه‌سلیمان، قروه- ناظم‌آباد، وینسار- همدان و سقز- ارومیه به عنوان کمانهای ارتباطی دارای ریسک بالا در شبکه مشخص شدند. تحلیل این شاخص و مقایسه نتایج آن با سوابق خسارتهای ناشی از حوادث گذشته نشان می‌دهد که می‌توان از این شاخص برای تعیین ریسک اجزای شبکه استفاده کرد.

این مطالعه نشان داد که می‌توان به کمک این شاخص در جهت افزایش قابلیت اطمینان شبکه و کاهش ریسک شبکه اقدام کرده و به اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری پرداخت. برای تخصیص بهینه منابع و بازدهی بیشتر، با سرمایه‌گذاری در کمانهای دارای طول کمتر و مقدار آسیب‌پذیری بیشتر، می‌توان کمانهای ارتباطی شبکه را اولویت بندی کرد. براساس نتایج به دست آمده، سرمایه‌گذاری در کمان دیواندره- سه‌راهی غیبی‌سور، بیشترین بازدهی را خواهد داشت و پس از آن، کمانهای ارتباطی وینسار- همدان، دهگلان- کروندان، سروآباد- سه‌راهی رزاب، صاحب- سقز، هشتادجفت- زنجان و قروه- ناظم‌آباد در اولویت‌های دیگر سرمایه‌گذاری قرار خواهند گرفت.

از دیگر نتایج این پژوهش، کاربرد آن در برنامه‌ریزیهای مدیریت بحران حوادث است، به این ترتیب که با مشخص کردن مسیرهای دارای ریسک پایین، می‌توان از آنها در فعالیت‌های مربوط به امداد و نجات استفاده کرد. به عنوان مثال، برای اولویت‌بندی مسیرهای با ریسک پایین مابین مرکز استان و سایر مراکز استانی همجوار، مسیرهای میان مراکز استانهای کرمانشاه، همدان، زنجان و ارومیه با سنندج، به عنوان مرکز استان کردستان، به ترتیب دارای ریسک پایین‌تری بوده، بنابراین با توجه به این مسئله، می‌توان اولویت برنامه‌های مربوط به امداد و نجات را از سایر مراکز استانی به مرکز استان مشخص کرد.

همچنین می‌توان با حذف یا کاهش خطرات احتمالی در برخی از محورها، میزان ریسک آن محورها را کاهش داد. به عنوان نمونه، با صرف هزینه اندک و تأمین عرض کافی در طول مقطع بهمن‌گیر در محور کروندان- حسین‌آباد که جنس مصالح ترانشه‌های آن نیز رسی است، می‌توان احتمال خطر وقوع بهمن را از بین برد و میزان ریسک آن محور را به میزان ٦ درصد کاهش داد و یا در محورهایی که احتمال بروز ریزش کوه در آنها وجود دارد، بدون استفاده از تجهیزات ویژه و با صرف هزینه اندک، می‌توان با لق‌گیری مناطق ریزشی، میزان ریسک محور را تا حد قابل قبولی کاهش داد. به عنوان نمونه، در محور کروندان- سنندج با انجام اقدامات پیشگیرانه، می‌توان ضمن کاهش ریسک محور به میزان ۸ درصد، اولویت محور را به لحاظ ریسک از ۲۲ به ۲۵ تغییر داد. بررسی حوادث طبیعی و میزان احتمال انسداد کمانهای شبکه، بیانگر این مطلب است که حدود ۵۷/٤ درصد از تعداد روزهای انسداد کمانهای شبکه راههای استان کردستان، به علت بروز کولاک و بارش برف و یخبندان است، بنابراین با انجام اقدامات به موقع نگهداری زمستانی در محورهای ارتباطی استان، می‌توان ریسک شبکه را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

مکانیابی کاربری‌های مختلف بر روی محورهای ارتباطی شبکه به منظور تأمین اهداف مورد نظر، از دیگر نتایج این پژوهش است. به عنوان مثال، با جانمایی مناسب پاسگاه پلیس راه، راهدارخانه، مرکز فوریتهای پزشکی، مرکز بهداشتی- درمانی و پایگاه هلال‌احمر، می‌توان میزان توان امدادرسانی محور را افزایش داد و یا با شناسایی محورهای با امکانات خدماتی- رفاهی کمتر،

نسبت به جانمایی صحیح این اماکن در این محورها، به نحوی که بیشترین تأثیر و بازدهی را داشته باشند، اقدام کرد.

۵. پی‌نوشت

۱. عملکرد مطلوب شبکه به معنی فراهم کردن امکان جابجایی بار و مسافر به نقاط مورد نظر و در مقدار مورد نیاز، با زمان، هزینه، کیفیت و قابلیت اطمینان قابل قبول است[شریعت‌مهیمنی،۱۳۸۵].

٦. مراجع

- ایران، وزارت راه و ترابری، اداره کل راه و ترابری استان کردستان (۱۳۸۳) "گزارش پل آسیب‌دیده و احداث راه انحرافی در آدینان در محور سقز- دیواندره"، سنندج، اداره کل راه و ترابری، وزارت راه و ترابری، سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای، دفتر فناوری اطلاعات، "داده‌های تردد شماری بصری ۱۳۸۱-۱۳۷٤"، پایگاه اینترنتی:www.rmto.ir.

- ایران، وزارت راه و ترابری، معاونت راهداری (۱۳۸۱) "گزارش وقوع زمین‌لغزش در محور سروآباد- مریوان"، سنندج، اداره کل راه و ترابری استان کردستان.

- ایران، وزارت راه و ترابری، معاونت راهداری (۱۳۸٤) "گزارش ریزش کوه گردنه صلوات‌آباد در محور سنندج- همدان"، اداره کل راه و ترابری استان کردستان.

- ایران، وزارت کشور، ستاد حوادث و سوانح غیرمترقبه(۱۳۸۷) "گزارش خسارتهای ناشی از حوادث غیرمترقبه از سال۸۱ الی ۸٦ "، استانداری کردستان.

- شرکت فنی و مهندسی نیوار (۱۳۸۰) "گزارش مطالعات اقلیم و گردشگری در استان کردستان"، اداره کل هواشناسی استان کردستان.

- شریعت‌مهیمنی، افشین(۱۳۸۵) "امکان‌سنجی به کارگیری مدیریت بحران در شبکه حمل و نقل جاده‌ای کشور"، پروژه تحقیقاتی، پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و ترابری، ایران.

- شریعت‌مهیمنی، افشین، منصورخاکی، علی و بابایی، محسن(۱۳۸٦) "روشی ابتکاری برای محاسبه قابلیت اطمینان ظرفیت و دسترسی(اتصال) در شبکه‌های حمل و نقلی آسیب‌پذیر درون شهری"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال چهارم، شماره اول، بهار ۱۳۸٦، ص. ۱۵-۲۳.

- قدسی‌پور، سیدحسن (۱۳۸۵) "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP)"، چاپ پنجم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- کاظمی، علی‌اصغر (۱۳۸۷) "تحلیل و ارزیابی شاخص دسترسی در شبکه راههای استان کردستان برای شرایط اضطراری"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- کلانتری، نوید (۱۳۸٤) "ارائه متدولوژی تعیین شاخص ریسک شبکه حمل و نقل جاده‌ای بر مبنای دسترسی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

- یعقوبی وایقان، فریبرز و حسینی، محمود (۱۳۸۸) " ارائه یک روش ارزیابی سریع خطرپذیری لرزه‌ای برای سامانه‌های حمل و نقل برون‌شهری"، پژوهشنامه حمل و نقل، سال ششم، شماره اول، بهار ۱۳۸۸، ص. ٦۵- ۸۵ .

- Bell, M. G. H. (1999) "Measuring network reliability: A game theoretic approach", Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, No. 2, pp. 135-146.

- Berdica, K. and Eliasson, J. (2004) "Regional accessibility analysis from a vulnerability perspective", The Second International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), Christchurch, New Zealand, pp. 89-94.

- Bhat, C., Handi, S., Kocelman, K., Mahmassani, H., Chen, Q. and Weston, L. (2000) "Development of an urban accessibility index: Literature review", Texas Department of Transportation, Research Report , Number 7-4938-1.

- Brabhaharan, P., Fleming, M. J. and Lynch, R. (2001) "Natural hazard risk management for road networks, Part I: Risk management strategies", Transfund New Zealand Research Report, No. 2001.

- Brabhaharan, P. and Moynihan, S. (2002) "Natural hazard risk management for road networks, Part II:

12th. World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper No.1927.

- Qiang, Q. and Nagurney, A. (2008) "A unified network performance measure with importance identification and the ranking of network components", Optimization Letters, Vol. 2, pp. 127-142.

- Sohn, J. (2006) "Evaluating the significance of highway network links under the flood damage : An accessibility approach", Transportation Research Part A, Vol. 40, pp. 491-506.

- Taranath, B.S. (2004) "Wind and earthquake resistant building: structural analysis and design", Published by CRC Press.

- Taylor, M.A.P. and D'Este, G.M. (2004) "Critical infrastructure and transport network vulnerability: developing a method for diagnosis and assessment", Proceedings of the Second International Symposium on Transportation Network Reliability (INSTR), Christchurch, New Zealand, pp. 96-103.

Implementation strategies", Transfund New Zealand Research Report , No. 2002.

- Chang, S.E. (2003) "Transportation planning for disasters: an accessibility approach", Environment and Planning A, Vol. 35, pp. 1051-1072.

- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H. (1999) "A capacity related reliability for transportation networks", Journal of Advanced Transportation, Vol. 33, No. 2, pp.183-200.

- Chen, A., Yang, H., Lo, H.K. and Tang, W.H. (2002) "Capacity reliability of a road network: An assessment methodology and numerical results", Transportation Research Part B,Vol. 36, pp. 225-252.

- Iida, Y. (1999) "Basic concepts and future directions of road network relibility analysis", Journal of Advanced Transportation,Vol. 33, No. 2, pp. 125-134.

- Nojima, N. and Sugito, M. (2000) "Simulation and evaluation of post - earthquake functional performance of transportation network", Proc. of the

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی