

# اثرسنجی پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای بر ارزیابی حوادث ریزشی محورهای کوهستانی (موردکاوی: محور کرج - چالوس)

محمود صفارزاده، دانشیار، دانشکده فنی - مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران  
مرتضی اسد امرجی، کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران

E-mail:saffar\_m@modares.ac.ir

## چکیده

ریزش سنگ از حوادثی است که در جاده‌های کوهستانی باعث تلفات جانی و خسارات مالی فراوان می‌شود در سالهای گذشته جاده‌های کوهستانی ایران نیز در معرض این بلایای طبیعی بوده‌اند. عوامل بسیاری در بروز این وقایع مؤثرند که از آن میان می‌توان زلزله، وجود گسل فعال، شرایط جوی و آب و هوایی، هوازدگی و موارد دیگر را نام برد. از نظر پتانسیل ریزشی تمام نقاط یک محور کوهستانی دارای استعداد یکسان نیستند و تفاوت‌هایی از لحاظ میزان خطر و وقوع این بلای طبیعی وجود دارد که با استفاده از پارامترهای مختلفی قابل ارزیابی است. این پارامترها معمولاً به سه دسته اصلی قابل تقسیم هستند که عبارتند از: پارامترهای زمین‌شناسی و مکانیک سنگ، پارامترهای آب و هوایی و پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای. شرایط ساختاری و وضعیت تداخل لایه‌های بین دامنه‌ها همه مسائلی هستند که در ریزش سنگ در جاده‌ها مؤثرند، اما پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای نیز به عنوان موارد تأثیرگذار در ارزیابی حوادث ریزشی در جاده‌های کوهستانی دارای اهمیت‌اند. از جمله پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای تأثیرگذار در ارزیابی حوادث جاده‌ای می‌توان به عرض جاده، فاصله در تصمیم‌گیری (در فاصله دید)، درصد خطر وسیله نقلیه و لزوم وجود جوی ضربه‌گیر کناره جاده اشاره کرد که میزان ترافیک و سرعت وسایل نقلیه در آنها نقش دارند. در ارزیابی خطرات ریزشی بخصوص ریزش سنگ در جاده‌ها، نادیده گرفتن و یا کوچک جلوه دادن این عوامل ترافیکی، موجب بی‌دقتی در ارزیابی حوادث ریزشی جاده‌های کوهستانی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: پارامتر ترافیکی و جاده‌ای، ارزیابی، حوادث ریزشی

## ۱. مقدمه

ژاپن که امکان بروز سیل و زلزله در آنها فراوان است تا کشورهای جهان سوم مانند کشور ایران که بلایای طبیعی فراوانی آن را مورد تهدید قرار می‌دهد. شیوه‌های مختلفی از مدیریت طبیعی و بحرانها در نقاط مختلف اجرا می‌شوند که موجب پیشگیری یا کاهش حوادث ناشی از بلایای طبیعی هستند و این امر برای ایران با توجه به قرار داشتن

خطرات ناشی از حوادث و بلایای طبیعی در کشورهای دنیا روز به روز در حال افزایش‌اند، در نتیجه ارایه برنامه مناسب دولتها و بکارگیری روشهای مناسب مدیریتی و پیشگیرانه برای کاهش تلفات انسانی و خسارات مالی در هنگام وقوع چنین حوادثی ضروری است. بیشتر کشورهای دنیا در معرض چنین خطراتی قرار دارند، از کشورهای صنعتی و پیشرفته نظیر آمریکا و

تأثیری که بر فعالیتهای بشری، ترافیک جاده و سازه‌های اطراف محور دارند، تشخیص و مورد بررسی قرار داد. ریسک گسیختگی بر مبنای تأثیرات ریزش به حالت‌های بدون ریسک، ریسک کم، ریسک متوسط، ریسک زیاد و ریسک بسیار زیاد درجه‌بندی می‌شود [۱۰، ۵].

در مورد ریزش‌ها، خطر ریزش سنگ بیشتر از دیگر موارد، در مطالعات، مدنظر قرار می‌گیرد به این علت که تلفات ناشی از حوادث ریزش سنگ بیش از سایر ریزش‌هاست. روش‌های خطرسنجی مختلفی در نقاط مختلف دنیا در مورد ریزش وجود دارد که در ادامه به طور خلاصه به آنها اشاره می‌شود.

## ۲-۱ خطر سنجی با استفاده از بررسی‌های چشمی

بر اساس مطالعات حاصل از تحلیل بر روی صدها کیلومتر از جاده‌های کوهستانی غرب ایالات متحده و کانادا، موضوع طبقه‌بندی ریزش‌ها با بررسی چشمی، و محاسبات ساده مطرح شد که هدف از این طبقه‌بندی تشخیص شبیهایی بود که به سبب خطر نیازمند تمهیدات پیشگیرانه و مطالعات جامع‌ترند [۷، ۶].

معایب:

- این روش هرگز دقیق نیست،
- با توجه به بررسی چشمی، احتمال خطا بسیار است،
- فقط پارامترهای ریزشی و ناپایداری دامنه مد نظر قرار می‌گیرد،
- مسایل ترافیکی و شرایط جاده در نظر گرفته نمی‌شود.

## ۲-۲ خطر سنجی با استفاده از سیستم GIS

یکی از روش‌های تحلیل ریزش‌های دامنه‌ای که بیشتر در کشورهای اسپانیا و ایتالیا مورد استفاده قرار می‌گیرد روش دقیق استفاده از داده‌های GIS است که در آن با استفاده از بررسی‌های میدانی و عکس‌های هوایی کلیه نقاط ریزشی اعم از مناطق تحت تأثیر ریزش سنگ، مناطق لغزشی و دیگر ریزش‌های دامنه‌ای را شناسایی و با تعریف لایه‌های جداگانه بر روی نقشه‌های مخصوص سازمان‌های نقشه‌برداری و زمین‌شناسی با مقیاس‌های دقیق تعریف می‌شوند [۴]. تنها مشکل این روش این است که فقط به ناپایداری‌های دامنه‌ای می‌پردازد و برای پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای اهمیتی قایل نمی‌شود. از مزایای آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

در معرض بلایایی چون سیل، زلزله، بهمن و دیگر بلایا لازم و ضروری است. در اغلب مواقع، دولتها و سازمان‌ها به دلیل نداشتن یک راهکار و برنامه نظام‌مند برای روبروی با حوادث و بلایای طبیعی در هنگام روی دادن بلا، دچار مشکلات بسیاری می‌شوند. معمولاً برنامه‌های مدیریت بحران در حوادث طبیعی شامل موارد و قسمت‌های مختلفی است که قبل از وقوع بحران آغاز و تا هنگام وقوع آن و بعد از آن نیز ادامه پیدا می‌کند.

معمولاً مراحل مدیریت حوادث شامل آمادگی، پیشگیری، واکنش و بازسازی است که هر یک از بخش‌ها قابل گسترش بوده و می‌توان زیربخش‌های مختلف را به آن افزود. یکی از مهم‌ترین مراحل مدیریت حوادث که موجب کاهش یا عدم وقوع حوادث مرگبار همراه با خسارات فراوان مالی می‌شود شناسایی حوادث ناشی از بلایای طبیعی و پیشگیری از آنهاست. اقدامات پیشگیرانه به مجموعه فعالیتهایی اطلاق می‌شود که احتمال وقوع یک حادثه را کاهش داده و یا از بین می‌برند و یا اثرات یک حادثه غیرقابل انتظار را محدود می‌کنند. یکی از حوادثی که جاده‌های کوهستانی را بسیار مورد تهدید قرار می‌دهد و ممکن است موجب وارد آمدن خسارات مالی و جانی فراوانی شود، ریزش‌های دامنه‌ای است. برای ارزیابی یک روش پیشگیرانه مناسب در مورد ریزش‌های دامنه‌ای، باید ابتدا ارزیابی مناسبی از حوادث ریزشی محور کوهستانی صورت پذیرد. پارامترهای اصلی مؤثر بر این ارزیابی عبارتند از: پارامترهای زمین‌شناسی، آب و هوایی و ترافیکی و جاده‌ای که در این گزارش سعی بر آن است که اثر پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای بر ارزیابی حوادث ریزشی بررسی شود.

## ۲. روش‌های ارزیابی و تحلیل خطر حوادث

### ریزشی در جاده‌ها

در زمان بررسی دامنه‌ها و حوادث ریزشی که بر اثر عوامل مختلف اتفاق می‌افتند باید قبل از هر چیز پتانسیل یا قابلیت گسیختگی و یا ریزش دامنه، مورد بررسی قرار گیرد. این بررسی و به عبارتی ارزیابی، شامل دو مفهوم خطر و ریسک است که خطر گسیختگی یا ریزش دامنه بر حسب بزرگی بالقوه و احتمال وقوع آن برآورد می‌شود و بر حسب امکان گسیختگی، دارای درجه بندی بدون خطر، کم خطر، خطر متوسط و زیاد است. در مورد ریسک گسیختگی، ریزش و گسیختگی دامنه و حوادث ریزشی را صرف‌نظر از خطر و احتمال وقوع آنها می‌توان بر مبنای

موضوع و رخدادی در سلسله مراتبی که منجر به کشته شدن ناشی از ریزش دامنه می‌شود یک احتمال وقوع معین تخصیص داده می‌شود مثلاً در تحلیل دامنه‌ای در بزرگراه بریتیش کلمبیا موارد زیر به عنوان فرض در نظر گرفته شدند:

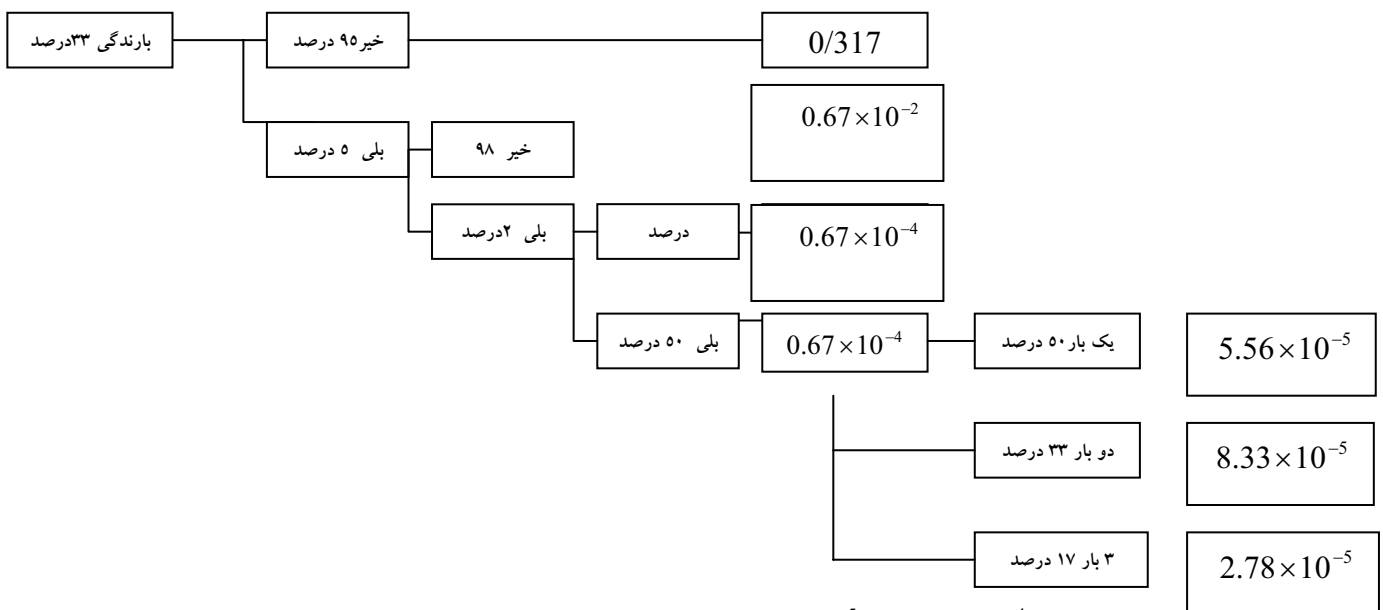
- در ۳۳ درصد زمان، باران می‌بارد،
- ریزش دامنه در ۵ درصد از روزهای بارانی رخ می‌دهد،
- وسایل نقلیه در ۲ درصد از ریزش‌های دامنه‌ای تحت تأثیر قرار می‌گیرند،
- حدود ۵۰ درصد از این تأثیرات مهم هستند، به این معنا که حداقل یک مرگ و میر را در پی دارند. در شکل ۱ نمونه تحلیل روش درختی نشان داده شده است.

- وجود یک بانک اطلاعاتی در زمینه نقاط ریزشی و پرخطر یک محور کوهستانی،
- روش کاملاً "دقیق است،
- لایه‌های اطلاعاتی به عنوان مرجعی برای مواقع مورد نیاز و حتی ملاحظات امداد رسانی در هنگام روبرویی با بحران به شمار می‌آیند.

### ۲-۳ خطر سنجی با استفاده از روش تحلیل درختی

روش درخت وقایع راهکاری است مناسب که به عقیده بسیاری از کارشناسان قابل تعدیل بوده و می‌تواند با توجه به شرایط، تغییراتی در آن ایجاد کرد. در تحلیلهای درخت وقایع به هر

احتمال وقوع سالانه	تعداد مرگ و میرهای بالقوه	احتمال وقوع سالانه	اهمیت اصابت ریزشها دامنه	وسیله نقلیه زیر گسیختگی	ریزش سنگ	شکل گیری واقعه سالیانه
--------------------	---------------------------	--------------------	--------------------------	-------------------------	----------	------------------------



$$\text{احتمال یک مرگ و میر در سال} = (8.33 + 5.56) \times 10^{-5} = 1.67 \times 10^{-4}$$

$$\text{احتمال دو مرگ و میر در سال} = (5.56 + 2.78) \times 10^{-5} = 8.34 \times 10^{-5}$$

$$\text{احتمال سه مرگ و میر در سال} = 2.78 \times 10^{-5}$$

شکل ۱. محاسبه خطر ریزش سنگ و احتمال وقوع برای ترانسه آرژلیت در بریتیش کلمبیا [۳]

- برداشت‌های آن با استفاده از ابزارها و تجهیزات ساده انجام پذیر است.

- در روند آن و سیستم امتیازدهی از روش سلسله مراتبی استفاده شده است.

- این روش در بسیاری از کشورهای دنیا پذیرفته شده که برخی از آنها محورهای کوهستانی مانند ایران هستند.

در ارزیابی و خطرسنجی حوادثی مانند بهمین نیز روشهای تجربی رایج شده که در آنها مسایل ترافیکی به صورت بسیار کم‌رنگ دیده شده است و بیشتر به شیب دامنه، مسایل دامنه‌ای، پوشش گیاهی، وجود سازه‌های نگهدار و آمار تکرار آنها توجه شده است که این موارد در مورد جاده‌های اختصاصی برای پیستهای اسکی و راههای فرعی مناسب به نظر می‌رسند اما در مورد محورهای کوهستانی با تردد زیاد، دقیق نیستند [۵].

### ۳. انتخاب روش ارزیابی برای جاده‌های کوهستانی

#### کشور و اثرسنجی پارامترهای ترافیکی

همان‌گونه که اشاره شد یکی از مرسوم‌ترین و فراگیرترین روشهایی که در روند بررسی‌های خطرات ناشی از مخاطرات ریزشی مورد پذیرش قرار گرفته سیستم امتیازدهی RHRS است که با توجه به شرایط جاده‌های کوهستانی کشور و اینکه این روش اکثر عوامل زمین‌شناسی، آب و هوایی، منطقه‌ای، ترافیکی و جاده‌ای را در نظر می‌گیرد به عنوان الگو مناسب است. این روش یکی از بهترین روشها برای پهنه بندی خطر در مورد جاده‌های کوهستانی است و برای ارزیابی خطر جاده‌های کوهستانی کشور نیز پیشنهاد می‌شود. یادآوری می‌شود که روش استفاده از داده‌های درختی و در نظر گرفتن احتمال وقوع حوادث و میزان مرگ و میر سالانه بر اثر ریزش سنگ نیز با بالا بردن شرایط ترافیکی و تأثیر دادن بیشتر پارامترهای آب و هوایی، با توجه به متغیر بودن این عامل در جاده‌های کوهستانی نتایج خوبی در پی دارد. امتیازدهی به پارامترهای مختلف منطقه‌ای یک نوع ارزیابی کمی محسوب می‌شود و دید بهتری در مورد وضعیت خطرات ریزشی محور می‌دهد. روشهای کیفی یا شبه کیفی و یا ترکیبی از آنها برای تحلیل و ارزیابی خطرات جاده از جمله ریزش‌های دامنه‌ای می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد با این وجود در نهایت برای ارایه روش‌های پیشگیرانه بهتر است که خطرات به صورت کمی تحلیل شوند.

با تعمیم درخت وقایع مزبور احتمال وقوع سالانه تعداد بیشتری مرگ و میر را نیز می‌توان محاسبه کرد [۳].

مزایا:

- قابل اتکا بودن، با توجه به سلسله مراتبی بودن آنها

- قابلیت تعدیل،

- سادگی و قابلیت اجرا برای تمامی پروژه‌های اجرایی مهندسی عمران

معایب:

- در مورد ریزش سنگ باید پارامترهای جاده‌ای را بیشتر در نظر گرفت.

- روشی است که با توجه به شرایط کشورهای مختلف تفاوت دارد، چون مرز خطر پذیری متغیر است.

#### ۲-۴ خطر سنجی با استفاده از روش RHRS<sup>۱</sup>

یکی از فراوان‌ترین روشها سیستم امتیازدهی RHRS است که توسط اداره بزرگراه اورگون گسترش یافته است. در این روش پارامترهای اصلی عبارتند از: ارتفاع شیب، سودمندی و بازدهی جوی ضربه‌گیر، میانگین خطر وسیله نقلیه، درصد تصمیم‌گیری در مورد فاصله دید، عرض جاده، مشخصات زمین‌شناسی، اندازه بلوک یا تعداد ریزش در هر واقعه، شرایط اقلیمی، تاریخچه ریزش و ارتفاع شیب هر یک از مناطق شیب دار و ریزشی با توجه به فرمول ریاضی و یا درجه‌بندی مختلف امتیازدهی و در نهایت امتیازبندی کلی به هریک از مناطق ریزشی داده می‌شود. همان‌طور که دیده می‌شود علاوه بر مسایل زمین‌شناسی، پارامترهای ترافیکی، جاده‌ای و آب و هوایی نیز مورد تحلیل و امتیازدهی در مورد ریزش‌های دامنه‌ای قرار گرفته که امتیازات مناسب و قابل قبولی به آنها داده می‌شود [۳].

مزایا:

- این روش در مورد خطرات ریزشی پارامترهای ترافیکی را بسیار مهم در نظر گرفته است.

- این روش سه فاکتور مهم میانگین خطر وسیله نقلیه، درصد تصمیم‌گیری در مورد فاصله دید و عرض جاده را مد نظر قرار داده است.

- با استفاده از برداشت‌های این روش و قضاوت مهندسی می‌توان روش پیشگیری را نیز ارایه کرد.

جدول ۱. سیستم امتیازدهی به ریزش دامنه‌ای

معیار امتیازدهی				پارامتر	
درجه ۸۱	درجه ۲۷	درجه ۹	درجه ۳		
۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	ارتفاع شیب (فوت)	
عدم گیرایی	گیرایی محدود	گیرایی متوسط	گیرایی خوب	بازدهی و سودمندی جوی	
۴۰	۶۰	۸۰	۱۰۰	درصد تصمیم‌گیری در فاصله دید	
۲۰	۲۸	۳۶	۴۴	عرض جاده (فوت)	
۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	میانگین خطر وسیله نقلیه (درصد)	
درزه با جهت معکوس	درزه با جهت معکوس	درزه با جهت تصادفی	درزه با جهت مناسب	شرایط ساختاری	مشخصات زمین‌شناسی
مواد پرکننده رسی با سطوح لغزش پله ای	صفحه ای	ناهموار	زبر، نامنظم	اصطکاک سنگ	
مشخصات فرسایشی بزرگ	مشخصات فرسایشی زیاد	مشخصات فرسایشی فرعی	مشخصات فرسایشی با کمی اختلاف	شرایط ساختاری	
بی نهایت زیاد	زیاد	متوسط	کم	اختلاف در نرخ فرسایش	
۴/۱۲	۳/۹	۲/۶	۱/۳	اندازه بلوک به اندازه سنگهای ریزشی (فوت به یارد مکعب)	
نزولات جوی زیاد و دوره یخزدگی طولانی با حضور ممتد و مداوم آب در شیب همراه دوره‌های طولانی یخزدگی	نزولات جوی زیاد با دوره یخزدگی طولانی با وجود ممتد آب در شیب	نزولات جوی متوسط با دوره یخزدگی کوتاه به حضور متوسط در شیب	نزولات جوی کم تا متوسط بدون دوره یخزدگی در شیب	وضعیت اقلیمی	
ریزش‌های ثابت	ریزش زیاد	ریزش‌ها تصادفی	ریزش‌های کم	تاریخ سنگ افت	

### ۳-۱ بازدهی و سودمندی جوی ضربه‌گیر

این پارامتر که معمولاً به صورت درصد سودمندی جوی ضربه‌گیر محاسبه می‌شود، عوامل گوناگونی را در نظر می‌گیرد که برخی از این عوامل عبارتند از:

- ارتفاع شیب
- عرض و عمق جوی
- اندازه بلوک مورد نظر
- اثر ناهمواری شیب [۱۱]

پارامترها و امتیازهایی که در تحلیل خطر حوادث ریزشی در جاده‌ها مد نظر قرار می‌گیرد در جدول ۱ گردآوری شده است. در این روش تحلیل خطر ریزشی ۴ پارامتر ترافیکی و جاده‌ای وجود دارد که عبارتند از:

- بازدهی و سودمندی جوی ضربه‌گیر
- درصد تصمیم‌گیری در مورد فاصله دید
- عرض جاده
- میانگین خطر وسیله نقلیه

در نهایت این مقادیر را می توان در رابطه (۲) قرار داد:  

$$= \text{تصمیم گیری در فاصله دید} / 100 \times \text{فاصله واقعی تا محل حادثه}$$
  
 درصد تصمیم گیری در فاصله دید

### ۳-۴ عرض جاده

عرض جاده نیز به فاصله آسفالته عمود بر جهت حرکت وسایل نقلیه اطلاق می شود.

در نتیجه از بین ۱۰ عامل برای امتیازدهی و تحلیل خطر حوادث ریزشی محور کوهستانی، ۴ پارامتر که ۴۰ درصد کل پارامترها را تشکیل می دهند مربوط به شرایط جاده ای و ترافیکی هستند. امتیازدهی و تحلیل خطر حوادث ریزشی در حدود ۲۰ کیلومتر از محور کوهستانی کرج - چالوس و در ایستگاههای مختلف انجام شد که نتایج به دست آمده در ادامه ارائه می شوند.

### ۴. اثرسنجی پارامترهای ترافیکی در ارزیابی حوادث

#### ریزشی بخشی از محور کرج - چالوس

در راستای اثرسنجی پارامترهای ترافیکی در ارزیابی حوادث ریزشی در یکی از جاده های کوهستانی، محور کرج - چالوس که یکی از محورهای مهم ارتباطی کشور در حمل و نقل سراسری و منطقه ای محسوب می شود برای مطالعه موردی انتخاب شد.

این محور به واسطه وجود مراکز تفریحی در شهرهای شمالی و جاذبه های واقع در طول محور، متغیر بودن ترافیک آن در اوقات مختلف سال (به طوری که در طول فصل بهار و تابستان از پرتعدادترین محورهای کشور است)، تغییرات ژئومورفولوژیکی زیاد و معضلات زمین شناسی در طول آن، تعدد گسل ها و ناپیوستگی های زمین در اطراف آن، وجود نقاط ریزشی و تراکم ابنیه فنی در نقاط مختلف محور و موارد دیگر به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد.

پس از زلزله بلده، بررسی حوادث تصادفات ثبت شده بر اثر ریزش سنگ در دفاتر ثبت تصادفات پلیس راه، بررسی فهرست نقاط ریزشی محور (جدول ۳) و مقایسه تردد بخشهای مختلف ریزشی محور، نشان داد که منطقه پل زنگوله واقع در ۱۰ کیلومتری تونل کندوان به طرف چالوس تا مرزن آباد پرخطرترین منطقه ریزشی محور است که آزمایش های صحرائی در ۲۰ کیلومتر ابتدایی آن (بین کیلومتر ۸۵ تا ۱۰۵ محور) به عنوان نمونه یکی از پر ریزش ترین نقاط محور انجام پذیرفت.

که درجه بندی با توجه به موارد بالا صورت می گیرد. با توجه به فضای کافی مورد نیاز برای احداث جوی های ضربه گیر کناره راه در فاصله شانه راه تا لبه دامنه، به علت قدیمی بودن بافت محورهای کوهستانی کشور و کم بودن فاصله مذکور، امکان ساخت این خندقها به صورتی که تأثیر مثبتی از لحاظ نگهداری تحت سنگهای ریزشی داشته باشد، در بخشهای محدودی از محورهای کوهستانی کشور وجود دارد و در آینده در ساخت بزرگراههای کوهستانی باید مورد نظر قرار گیرد.

### ۲-۳ میانگین خطر وسیله نقلیه

یکی از پارامترهای مهم در تحلیل خطر و میزان ریسک ریزشی درصد زمانی است که یک وسیله نقلیه در محل بروز خطر ریزش سنگ حضور خواهد داشت: این عامل با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$(1) = \text{میانگین خطر وسیله نقلیه}$$

$$= \frac{100\% \times \text{طول شیب} \times \text{ADT}}{\text{حد مجاز سرعت ماشین}}$$

حد مجاز سرعت ماشین

که در آن:

$$\text{ADT} = \text{میانگین ترافیک سالانه}$$

### ۳-۳ درصد تصمیم گیری در مورد فاصله دید

این پارامتر که به صورت درصد بیان می شود نسبت فاصله واقعی تا محل حادثه به مسافت تصمیم گیری کامل یا آنی راننده به فاصله است، اگر نتوان موانع موجود در جاده را به خوبی مشاهده کرد، یا در شرایطی که به علت مسایل جاده، احتیاج به مانور خودرو باشد، مقدار آن بحرانی تر می شود. این پارامتر از طریق جدول ۲ تعیین می شود:

جدول ۲. مقدار فاصله تصمیم گیری (در فاصله دید)

با توجه به سرعت وسایل نقلیه [۳]

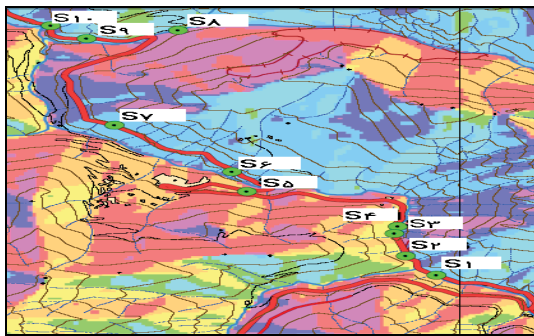
فاصله در (متر در ثانیه)	حد مجاز سرعت خودرو (تصمیم گیری فوت)
۳۰	۴۵۰
۴۰	۶۰۰
۵۰	۷۵۰
۶۰	۱۰۰۰
۷۰	۱۱۰۰

جدول ۳. محدوده‌های تحت تأثیر ریزش‌های دامنه‌ای در محور

کرج - چالوس [۱]

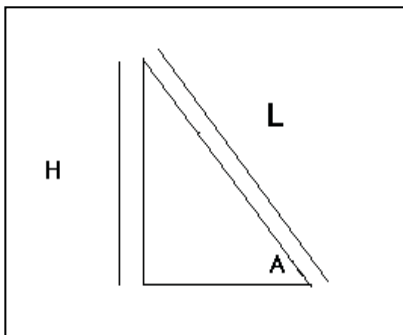
ردیف	محل‌های ریزش کیلومتر	محل‌های سقوط سنگ کیلومتر
۱	۲۰	۳۴
۲	۲۵	۳۷/۵
۳	۲۶	۶۱
۴	۶۵	۶۲
۵	۸۵	۸۴
۶	۸۸	۱۰۰ تا ۱۰۵
۷	۹۳	
۸	۱۰۵	
۹	۱۰۸	

قرار داده شده و پس از آن زاویه از قطب‌نما خوانده می‌شود. در گام بعدی با توجه به شکل ۳ و رابطه مثلثاتی ذیل ارتفاع شیب محاسبه می‌شود. تاریخ و سابقه ریزش سنگ با توجه به پرسش‌های محلی از عوامل مختلفی همچون پلیس راه، اداره راه‌ها و مردم منطقه و با بررسی آمار تصادفات تعیین شد. وضعیت زمین‌شناسی با توجه به تعداد درزه‌ها بر روی سنگ‌های دامنه و خطر ساز بودن آنها تعیین می‌شود که اگر دو درزه در سنگ دامنه موجود باشد، آنگاه امتیاز ۸۱ و در صورت وجود ۳ درزه پرخطر، امتیاز ۱۰۰ که بیانگر بدترین شرایط است در نظر گرفته می‌شود. در مورد وضعیت آب و هوایی هریک از ایستگاهها فقط ارتفاع آنها از سطح دریا موجود بود. البته شرایط نزولات جوی و یخ‌زدگی در مورد ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سیاه‌بیشه وجود داشت که این امکان وجود داشت که در مورد همه ایستگاهها می‌شد تقریباً همان شرایط را در نظر گرفت، اما در مورد هر ایستگاه با توجه به ارتفاع و نسبت آن به ارتفاع ایستگاه سیاه‌بیشه وضعیت نزولات جوی و یخ‌زدگی تخمین زده شد.



شکل ۲. ایستگاههای مورد نظر در محدوده‌هایی از محور کرج-چالوس جهت برداشت اطلاعات ارزیابی خطر

$$H=L\sin A$$



شکل ۳. وضعیت ارتفاع و طول شیب در یک دامنه (به صورت قائم الزاویه)

در محدوده ۲۰ کیلومتری مذکور، ۱۰ ایستگاه اصلی (شکل ۲) تعریف شد که در منظور کردن این ایستگاهها با مشاورت بخش زمین‌شناسی مهندسی سازمان زمین‌شناسی، ۳ معیار اصلی در نظر گرفته شد:

- ابتدا با استفاده از بازدید میدانی نقاطی از جاده که ریزش‌های دامنه‌ای در کنار محور آن به وقوع پیوسته بود یادداشت شد و با بخش‌های ریزشی که از مطالعات میدانی مرحله شناخت جمع‌آوری شده بود مقایسه به عمل آمد.
- مناطقی که خصوصیات زمین‌شناسی و ژئوتکنیک و پارامترهای ویژگی‌های سنگ دامنه کناره راه تغییر می‌کرد مد نظر قرار گرفتند.
- سعی بر آن بود که فواصل بین ایستگاهها از روندی منطقی پیروی کنند.

پس از انتخاب ایستگاهها، در گام بعد می‌بایست پارامترهای مورد نظر در خطر سنجی ایستگاههای مختلف محور برداشت می‌شدند که نحوه برداشت پارامترهای مختلف در ادامه توضیح داده خواهد شد. محاسبه طول شیب با استفاده از روش لیزری تعیین می‌شود. در این روش با استفاده از طول سنج لیزری اشعه‌ای به منتهی‌الیه دامنه و قله آن فرستاده و طول آن ثبت شود. برای محاسبه ارتفاع شیب ابتدا باید زاویه شیب محاسبه می‌شد. در این راستا از دستگاه کمپاس (قطب‌نما) استفاده شد که همزمان با ارسال اشعه به صورت مماس با شیب

الف- با افزایش میزان پارامترهای ترافیکی چه تغییری در میزان خطر ریزشی ایجاد می‌شود؟

ب- چه مقدار از امتیازات خطر ریزشی در محور کوهستانی به پارامترهای ترافیکی مربوط می‌شود؟

برای بررسی مورد اول، مجموع امتیازهای پارامترهای برداشت‌شده در ده ایستگاه و مجموع امتیازهای پارامترهای ترافیکی برداشت‌شده در آنها محاسبه و در جدول ۵ گردآوری شد. در جدول ۵ مشاهده می‌شود که تقریباً با افزایش امتیازات مربوط به مجموع پارامترهای ترافیکی میزان خطر ریزشی در ایستگاههای مختلف افزایش می‌یابد. البته یادآوری می‌شود که افزایش مجموع امتیازها لزوماً با افزایش مجموع پارامترهای ترافیکی همراه نیست، اما چون میزان خطر، مجموع چندین پارامتر است، در نتیجه افزایش مجموع پارامترهای ترافیکی امتیاز کلی خطر ریزشی در ایستگاه مورد بررسی را بیشتر می‌کند.

نتیجه ابتدایی که می‌توان از بررسی امتیازهای پارامترهای ترافیکی موجود در تحلیل خطر ریزشی در این بخش محور گرفت این است که افزایش امتیازهای هر یک از ۴ پارامتر ترافیکی، علاوه بر افزایش مجموع امتیازهای ترافیکی، مجموع امتیازهای کل نقطه مورد نظر را افزایش می‌دهد و در نتیجه بیانگر بالاتر بودن خطر ریزشی آن نیز هست. توضیح این که در صورت بالا بودن میانگین خطر وسیله نقلیه، پایین بودن درصد تصمیم‌گیری در فاصله دید، کم‌بودن عرض جاده و فاصله کم کناره جاده به طوری که جوی ضربه‌گیری در کنار جاده وجود نداشته باشد و یا نتوان آنرا در آینده احداث کرد، موجب افزایش مجموع امتیاز پارامترهای ترافیکی و کل امتیاز ریزشی نقطه مورد بررسی می‌شود و نشان‌دهنده بالاتر بودن خطر ریزش در آن محل است. همچنین بررسی‌های مذکور نشان می‌دهند که تقریباً به طور میانگین، ۵۰ درصد از امتیازهای مربوط به خطر ریزش در این بخش محور و با استفاده از روش تحلیل خطر امتیازدهی مذکور، مربوط به پارامترهای ترافیکی است و نیمی دیگر از امتیازهای خطر ریزشی، زمین‌شناسی، منطقه‌ای و آب و هوایی بوده است.

این نتیجه بیانگر اهمیت این پارامترها در تحلیل خطر ریزشی بخشهای مختلف یک محور کوهستانی و تعیین‌کننده بودن آنها در ارزیابی بهتر این تحلیل‌ها است. برای ارزیابی دقیق‌تر و صحیح‌تر میزان خطر ریزش، می‌توان پارامترهای دیگری اعم از ترافیکی، زمین‌شناسی و آب و هوایی، را نیز به این نظام امتیازدهی افزود.

وضعیت اصطکاک دامنه‌ها معمولاً به دو صورت چشمی و یا لمسی محاسبه می‌شود که کارشناسان سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی در ایستگاههای مورد نظر، با استفاده از لمس کردن دامنه وضعیت اصطکاک را تعیین کردند. برای تعیین میانگین خطر وسایل نقلیه در ایستگاههای گزیده، آمار تردد شماری مقطع سیاه‌پیشه- مرزن‌آباد که در سال گذشته توسط سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای و با بکارگیری دستگاههای تردد شمار سیار NC-97 انجام شده بود که در این راستا آمار تردد روزهای مختلف هفته جمع‌آوری و میانگین تردد آنها به عنوان میانگین تردد روزانه در رابطه محاسبه میانگین خطر وسایل نقلیه بکار برده شد.

میانگین تردد روزانه این مقطع از محور کرج - چالوس، ۷۵۰۸ خودرو است که در محاسبات ایستگاهها منظور شد [۲]. توضیح این که چون این عامل در محدوده مورد بررسی تغییر نمی‌کند تنها عوامل تأثیرگذار در محاسبه میانگین خطر وسایل نقلیه، طول شیب و سرعت مجاز خودروهاست که مورد سرعت مجاز در محاسبه فاصله در تصمیم‌گیری نیز مورد استفاده قرار گرفت. عرض جاده با استفاده از ابزار اندازه‌گیری ساده نظیر متر اندازه‌گیری شد. پارامترهای برداشت‌شده از ایستگاه ۱ و امتیازات مربوط به هر یک از آنها در جدول ۴ گردآوری شده است. این ایستگاه در ۳۶ درجه و ۱۲ دقیقه و ۴۸ ثانیه عرض شمالی و ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه و ۵۵.۵ ثانیه طول شرقی قرار دارد. میانگین خطر وسیله نقلیه در این ایستگاه و با استفاده از فرمول شماره ۱ و به صورت زیر محاسبه شد:

$$ADT=7508 \quad \text{و} \quad \text{طول شیب}=110 \text{ متر}$$

و سرعت مجاز=۳۰ کیلومتر بر ساعت

$$114.4 = 110 * 312 / 30 = \text{میانگین خطر وسیله نقلیه}$$

درصد فاصله در تصمیم‌گیری با استفاده از اطلاعات جدول ۴ و با توجه به سرعت مجاز ۳۰ کیلومتر در ساعت محاسبه می‌شود. در این ایستگاه با توجه به عرض جاده و محدودیت آن جوی ضربه‌گیر جواب نمی‌دهد. به همین ترتیب در ایستگاههای دیگر نیز اطلاعات مشابهی گردآوری شد و با جمع‌بندی پارامترهای جمع‌آوری شده می‌توان میزان خطر ریزشی محدوده ایستگاه تعیین شده را محاسبه کرد. با این عملیات در نهایت کارهایی از جمله الویت‌بندی ایمن‌سازی نقاط مختلف و ارائه روشهایی پیشگیرانه تسهیل می‌شود. تأثیرات پارامترهای ترافیکی در میزان خطر ریزشی را می‌توان در دو حالت مورد بررسی قرار داد:



جدول ۴: پارامترهای برداشت شده در ایستگاه S1 و امتیازهای داده شده به هریک از آنها برای ارزیابی خطر ریزش

امتیاز	نام ایستگاه: S1	
۱۰۰	۴۸	ارتفاع شیب (m)
۱۰۰	N/A	شرایط جوی ضربه گیر
-	۱۱۰	طول شیب (m)
۱۰۰	۱۱۴/۴	میانگین خطر وسایل نقلیه
-	۳۲	مسافت دید (m)
-	۳۰	حد مجاز سرعت (km/h)
۱۰۰	۳۵/۱۶	درصد تصمیم‌گیری در فاصله دید
۳۶	۸	عرض جاده (m)
۸۱	۲J	شرایط زمین شناسی
۱۶	(۸-۱۲)	اصطکاک
۲۷	۵۰	اندازه بلوکها (cm)
۲۷	۲۲۰۰	ارتفاع از سطح دریا (شرایط آب و هوا) (m)
۲۷	ریزش زیاد (۱۲)	تاریخ و سابقه سنگ اف
۵۹۲/۷	امتیازکل	

جدول ۵: مجموع امتیازهای ترافیکی و نسبت آن به کل خطر ریزش در جاده‌های کوهستانی

شماره ایستگاه	مجموع امتیازات ترافیکی	مجموع امتیازات کلیه پارامترها	درصد پارامترهای ترافیکی نسبت به مجموع امتیازات
S3	۳۵۲	۶۶۳	۰/۵۳
S4	۳۴۲	۶۱۷	۰/۵۵
S1	۳۳۶	۵۹۲/۷	۰/۵۷
S10	۲۶۲	۵۵۰/۵	۰/۴۸
S9	۲۶۴	۵۴۹	۰/۴۸
S8	۲۷۲	۵۴۶	۰/۵۰
S5	۲۴۴	۵۳۴	۰/۴۶
S7	۱۸۵	۴۷۴	۰/۳۹
S6	۲۱۹/۵	۴۶۸/۵	۰/۴۷
S2	۲۲۸	۴۵۱	۰/۵۱
میانگین امتیازات	۲۷۰/۴۵	۵۴۴/۵۷	۰/۵

## ۵. نتیجه گیری

مجموع پارامترهای ترافیکی امتیاز کلی خطر ریزشی در ایستگاه مورد بررسی را افزایش می‌دهد.

با بررسی و مقایسه امتیاز کلی مربوط به ایستگاهها و همچنین مجموع امتیازهای ترافیکی مورد نظر در این روش امتیازدهی مشخص شد که به طور میانگین نیمی از امتیازهای مربوط به خطر ریزش در جاده‌های کوهستانی مربوط به پارامترهای ترافیکی بود و باقیمانده امتیازها مربوط به پارامترهای زمین‌شناسی و منطقه‌ای و آب و هوایی بوده است که این موضوع بیانگر اهمیت بسیار این پارامترها در خطرسنجی ریزش محورهای کوهستانی است.

با توجه به عرض کم جاده و همچنین فاصله محدود کوههایی که محور از بین آنها می‌گذشت، در اکثر مناطق، اجرای جوی ضربه‌گیر غیر ممکن بود به همین دلیل امتیاز این پارامتر در خطرسنجی به صورت بدترین شرایط (امتیاز ۱۰۰) منظور شد (عرض کم در بسیاری از محورهای کوهستانی کشور نظیر محور کرج - چالوس جزو ویژگیهای آنها است).

بررسی شرایط آب‌وهوایی بخشهای مختلف محور کرج - چالوس نشان داد که وضعیت این پارامتر در قسمتهای مختلف با فاصله‌ای بسیار کم نیز تغییر می‌کند، بنابراین در تعیین میزان خطر حوادث ریزشی در محورهای کوهستانی علاوه بر پارامترهای زمین‌شناسی، مکانیک سنگ و پارامترهای ترافیکی و جاده‌ای، باید مسایل آب و هوایی را در نظر گرفت.

در امتیاز بندی خطر ریزش می‌توان مواردی همچون وجود راههای جایگزین، فاصله تا مراکز امداد رسانی، هوازگی و غیره را در نظر گرفت تا بررسی دقیق‌تری از شرایط منطقه و ایستگاههای گزیده به عمل آید.

یادآوری می‌شود که روش امتیازدهی و خطر سنجی در محورهای کوهستانی می‌تواند در صورت اجرای صحیح و مدنظر قرار دادن همه پارامترها به عنوان روشی برای اولویت‌بندی ایمن‌سازی محورها نیز در نظر گرفته شود. در این راه و در جهت شناسایی دقیق‌تر کل نقاط ریزشی محورهای کوهستانی کشور، استفاده از تشکیل گروههای کارشناسی از سازمانهای زمین‌شناسی و وزارت راه و ترابری و اقدام و همفکری مناسب بین آنها گامی مناسب به شمار می‌آید.

روشهای مختلفی از تحلیل خطر در مورد جاده در نقاط مختلف اجرا می‌شوند که اثرات ناشی از بلایای طبیعی را پیشگیری کرده و یا آنها را کاهش می‌دهند.

این امر برای ایران با توجه به قرار داشتن در معرض بلایای مختلف (سیل، زلزله، ریزشهای دامنه‌ای)، تراکم جمعیتی و منابع طبیعی لازم و ضروری است.

از مهم‌ترین حوادث طبیعی در جاده‌های کوهستانی ریزشهای دامنه‌ای است که شناسایی نوع و پتانسیل آن مقدمه‌ای در جهت پیشگیری از آن به شمار می‌آید. به این منظور روشهای خطرسنجی گوناگونی در نقاط مختلف اجرا می‌شوند که از آن جمله می‌توان به روشهای خطرسنجی چشمی، خطرسنجی با استفاده از داده‌های GIS، روش تحلیل خطر درختی و روش RHRS (امتیازدهی) اشاره کرد. پس از بررسی روشها و مقایسه آنها، روش امتیازدهی به عنوان جامع‌ترین و دقیق‌ترین روش برای جاده‌های کوهستانی کشور مدنظر قرار گرفت و در مطالعه موردی (محور کرج - چالوس) بکار برده شد. در این روش در گام اول اطلاعات گوناگون منطقه‌ای، زمین‌شناسی، آب و هوایی و ترافیکی و جاده‌ای از ایستگاههای گزیده در محدوده مطالعه موردی برداشت و جمع‌آوری شد. در گام بعدی پارامترهایی که در سیستم امتیازدهی خطرسنجی حوادث ریزشی مورد نیازند، محاسبه و امتیاز مربوط به آنها داده شد و در انتها مجموع پارامترها، به عنوان امتیاز کل آن ایستگاه و محدوده در نظر گرفته شد که بالاتر بودن مجموع امتیازها، نشانگر بیشتر بودن خطر ریزشی دامنه مورد بررسی بود. نتایجی که از امتیازبندی خطر ریزش در ۲۰ کیلومتر پرخاطر محور کرج - چالوس حاصل شد به شرح زیرند:

پارامترهای ترافیکی حتماً باید در آنالیز و خطرسنجی حوادث ریزشی در جاده‌های کوهستانی نظیر محور کرج - چالوس منظور شوند. مواردی مانند مسافت دید، سرعت، حجم تردد، عرض جاده که همه به عنوان پارامترهای جاده‌ای و ترافیکی محسوب می‌شوند، در تعیین میزان خطر ریزشی تأثیر دارند.

معمولاً با افزایش پارامترهای ترافیکی، میزان خطر ریزشی در ایستگاههای مختلف افزایش می‌یابد. توضیح این که چون خطر ریزشی مجموع چندین پارامتر است، در نتیجه افزایش

## ۶. مراجع

9. Japan Road Association (1988) "Guidelines for earthquake disaster measures of roads", Tokyo, Japan Road Association.
10. Hudson, John A. (1993) "Comprehensive rock engineering", London: Imperial College of Science, Technology and Medicine, UK.
11. Pierson, Lawrence A.C.E.G. Senior (2001) "Engineering geologist landslide technology, rockfall catchments area Design Guide.
۱. سازمان هواشناسی کشور (۱۳۷۸). "بررسی لغزندگی و حدود آب و هوای راههای کندوان و هراز"، ۳ جلد.
۲. وزارت راه و ترابری، شورای اصلاحات (۱۳۸۴) "مطالعات مقدماتی سیستمهای هوشمند حمل و نقل در محور کرج\_چالوس"، تهران، وزارت راه و ترابری.
3. Hock, R. (2000) "Rock engineering", Chapter 9. [n.p., n.p.].

## پانویس‌ها

### 1. Rockfall Hazard Rating System

۲. توضیح اینکه در امتیازبندی جدول شماره ۲ و وضعیت‌های مختلف ترافیکی و زمین‌شناسی، علاوه بر در نظر گرفتن روش کلی RHRS، در مشورت با کارشناسان سازمان زمین‌شناسی، هواشناسی و بهره‌گیری بسیار از نظرات کارشناسان ترافیکی و حمل و نقلی مد نظر قرار گرفته است. در امتیازبندی از منابع ۳ و ۹ و ۱۱ و ۸ استفاده شده است.

4. Preliminary assessment of rock fall hazards based on GIS Data, - Universidad polytechnic Valencia, Spain -2001.
5. PIARC Working Group G2 (1995) "Comprehensive report on natural disaster reduction for roads, Paris, PIARC.
6. Yu, Y.F., Siu, C.K. and Pun, W.K. (2005) "Guidelines on the use of prescriptive measures for rock cut slopes", pp. 31-55.
7. FHWA (1993) "Rock fall hazard rating system", FHWA , SA-93-057, USA.
8. Vybiral, V., Kuznetsov, I.V. and Osykin, M. K. (1995) "Method of pulsed electromagnetic emission (PEE) - Mapping of slope failures in the Carpathian Mts.

# Effects of Road and Traffic Parameters on the Evaluation of Rockfall Accidents in Mountainous Areas

*M. Saffarzadeh, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.*

*M. Asad Amraji, M.Sc. Department of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran*

*E-mail: saffar\_m@modares.ac.ir*

## ABSTRACT

Rock falls cause extensive damage in mountainous areas. Many factors are responsible for this natural phenomenon amongst which earthquakes, active faults, atmospheric and climatic conditions, weathering etc...are the most important ones. From the falling potential point of view, all mountainous areas are not the same and there are differences in risk factors. These factors are evaluated using various parameters that are divided into three main categories; geological and rock mechanics, climatological, and traffic parameters. There are various methods for risk analysis of roads. Applying these methods may prevent or reduce the effects of natural disasters. Due to the fact that Iran is located on a risk prone zone from natural disasters point of view, also because of its population density and natural disasters high risk, prevention and mitigation of risk is of great importance.

Knowing the types and potential of the rockfall at slopes is the main step for preventing hazards. The risk evaluation methods are divided into optical risk evaluation, risk evaluation by GIS data, tree risk analysis and RHRS method. Having studied all the methods and their comparisons, the RHRS is considered as the most comprehensive and accurate method for mountainous roads in Iran and used in this case study ( Karaj – Chalous Route). In this method initially the various regional, geological and traffic data were gathered and then those parameters required for rating of risk evaluation of rockfall incidents were calculated and rated. Finally the total parameters were considered as the total rating of the terminals where the higher the rate, the higher is the risk of slopes rockfall. Results obtained from the rating of rockfall risk within the 20 Km danger zone of the mentioned route were as follows: Traffic parameters must certainly be considered in risk analysis and evaluation of rockfall accidents in mountainous areas. Aspects such as sight destination, speed of the vehicle, traffic volume and the road width have great influences on determination of rockfall risks.

Usually by increasing the traffic parameters, the rockfall risk is also increased in various terminals. As long as the rockfall risk is the result of combination of many parameters, therefore, the increasing of traffic parameters adds to the total rating of rockfall risk at different terminals. By studying and comparing the total rating of various terminals, also considering the total traffic rating, it became clear for the researchers that half of the ratings related to rockfall risk in mountainous roads were due to traffic parameters, and the remaining half was related to geological and climatological parameters which shows the significance of these parameters in risk analysis of rockfall accidents in mountainous roads. Due to the low width of the road and the limited spacing between mountains that the road passes through, installation and construction of guardrail ditches was not possible in most locations of the road, therefore the rating of this parameter was considered as the worst (100) among others. In rating of rockfall risk, some other aspects like the existence of substitute roads, routes to the relief centers, weathering etc... were considered so that a more accurate investigation could be carried out for the area and the selected terminals.

**Keywords:** Rockfall risk, risk evaluation, rockfall accidents, traffic parameters, geological parameters, climatological parameters