

## ارزیابی و مقایسه کارایی مدل های ضریب نسبت فراوانی و تحلیل شبکه در پهنه بندی

### ریزش سنگ (مطالعه موردی جاده زنجان-تهم-طارم)

صیاد اصغری سراسکانرود،<sup>۱</sup> دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

حسن مظفری، دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.

دریافت مقاله : ۱۳۹۶/۱۰/۲۵ پذیرش نهایی: ۱۳۹۸/۰۴/۰۴

#### چکیده

یکی از انواع مخاطرات طبیعی ریزش سنگ از دامنه کوه ها است که خسارت های فراوان مالی و جانی به بار می آورد. بخصوص اگر در مسیر راه های ارتباطی روی دهد. راه ارتباطی زنجان به تهم و طارم یکی از خطرناکترین جاده ها از نظر ریزش سنگ محسوب می شود. بنابراین هدف از انجام این تحقیق شناسایی پهنه های خطر در مسیر این جاده می باشد. برای انجام این تحقیق ضمن بازدید میدانی از محدوده مورد نظر و استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست سنجنده OI سال ۲۰۱۷، لایه ها و نقشه های مؤثر در ریزش سنگ، مانند لیتولوژی، شیب، سطوح ارتفاعی، جهات شیب، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، سطوح همبارش، همدم، هم یخبندان استفاده گردید. نقاط ریزشی برداشت شده با GPS در محیط نرم افزار ARCGIS روی نقشه و لایه های مؤثر توزیع شد. سپس با استفاده از روش آماری ضریب نسبت فراوانی و روش تحلیل شبکه اقدام به پهنه بندی خطر ریزش از طریق تلفیق و جمع جبری نقشه ها در پنج طبقه خطر خیلی کم تا خیلی زیاد گردید. طبق نتایج بدست آمده در روش تحلیل شبکه ۶۹ درصد مساحت به پهنه های خطر متوسط تا خیلی زیاد تعلق گرفت. در صورتی که برای روش ضریب نسبت فراوانی این عدد ۴۵/۶۰ درصد حاصل شد. جهت ارزیابی و دقت پهنه بندی روش های مذکور از دو شاخص مجموع کیفیت و شاخص دقت (احتمال تجربی) استفاده گردید. ارزیابی مدل ها نشان داد، در مدل تحلیل شبکه شاخص های مذکور به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۸۸ بدست آمد که نسبت مدل ضریب نسبت فراوانی از کیفیت و دقت بالاتری برخوردار است.

واژه های کلیدی: نسبت فراوانی، تحلیل شبکه، جاده زنجان-تهم-طارم.

## مقدمه

زمین لغزش اصطلاحی است که انواع حرکات دامنه ای را در بر می گیرد و سبب جابه جایی توده ای از مواد در دامنه ها می شود این اصطلاح کلیه فرایندهایی که منجر به حرکت توده ای مواد بر روی دامنه ها می شود را در بر گرفته و بر حسب نوع حرکت به حرکات لغزشی، جریان، ریزشی، خزشی و گسترش جانبی طبقه بندی می شود (رامشت و سادات، ۱۳۹۰، ص ۱۸۶). موضوع زمین لغزش همانند دیگر بلاای طبیعی از عوامل تهدید کننده انسانی به شمار آمده و خسارات زیادی را به جنگل ها، خطوط انتقال نیرو، سازه های مهندسی و غیره وارد می سازد لذا محققین در پی آن هستند که با شناخت متغیرها و عوامل اصلی در ایجاد چنین پدیده ای امکان دستیابی به روش های جلوگیری از خطرات و خسارات ناشی از گسترش آنها را فراهم سازند (رامشت، سادات، ۱۳۹۰، ص ۱۸۷) سنگ ریزش ها و رانش زمین در مقیاس بزرگ به عنوان یک خطر اقتصادی مطرح هستند، درعین حال آنها مسئول تعداد مشابهی از حوادث و مرگ و میر می باشند فراری و همکاران (Ferrari et al., ۲۰۱۶). ریزش ها غیرقابل پیش بینی و ناگهانی هستند و می توانند آسیب گسترده ای بسته به حجم و شدت جرم در حال سقوط ایجاد کنند. سینگ و همکاران (Singh et al., ۲۰۱۶) سنگ ریزش یک فاجعه طبیعی جدی در مناطق کوهستانی می باشد فانوس و همکاران (Fanos et al., ۲۰۱۶) سنگ ریزش یک نوع جنبش توده ای سریع رایج مناطق کوهستانی در سراسر جهان است. سنگ ریزش توسط علل مختلف طبیعی و انسانی ناشی از جمله زلزله، چرخه یخ-ذوب آب، ذوب برف و یا یخبندان دائمی، تغییرات دما، بارش شدید، رهایی از فشار زیر یخ زدایی، فعالیت های آتشفشانی، و نفوذ ریشه و جدایی آن می باشد پالما و همکاران (Palma et al., ۲۰۱۱) عوامل انسانی ناشی از سنگ ریزش شامل تضعیف دامنه سنگ، فعالیت های معدنی، نشت لوله، زهکشی ناکارآمد، و ارتعاشات ناشی از حفاری، انفجار، و یا ترافیک است که این بلوک های بریده شده سنگ تکی یا چند تایی با حجم های مختلف از چند دسی متر مکعب تا هزاران متر مکعب با سرعت بسیار سریع به پایین دست حرکت می کنند. کوردن و وارنر (Cruden & Varnes, ۱۹۹۶) سنگ ریزش، حرکت سریع یک توده بدون چسبندگی در خرده سنگ یا مخلوطی از خاک و سنگ است، به نحوی که ساخت اولیه قابل تشخیص نیست سطحی که در امتداد آن گسیختگی صورت گرفته، غالباً غیر مشخص است (رامشت و همکاران ۱۳۹۰، ۱۹۰) ریزش سنگ ها شکل معمول حرکت روی دامنه هایی است که شیب آنها زیاد بوده و مواد نمی توانند در سطح باقی بمانند سنگ ممکن است مستقیماً به کف دامنه خود سقوط کند و یا از روی سنگهای دیگر در امتداد مسیر خود حرکت نماید. ادواردجی و همکاران (Edwardji et al., ۲۰۰۷) به طور کلی اگر طبقات سخت و نرم به طور متناوب قرار گرفته باشند در نتیجه از بین رفتن طبقه نرم قسمت زیرین طبقه سخت خالی شده و ریزش توده را فراهم می سازد در آب و هوای بیابانی و خشک درجه حرارت موجب تخریب سنگ ها و در نتیجه ریزش گردیده و در مناطق کوهستانی یخبندان عامل اصلی می باشد (احمدی، ۱۳۸۷). ریزش سنگ های یک کوهستان به عوامل گوناگونی بستگی دارد که یا منشأ طبیعی دارد و یا منشأ آن انسانی است. از عوامل طبیعی مؤثر در ریزش می توان به عوامل جنس سنگ ها، شیب و سطوح ارتفاعی، ساختار زمین شناسی، گسل و شیب لایه های زمین شناسی، میزان بارندگی و تغییرات دمایی فاصله از رودخانه و ... اشاره نمود. از عوامل انسانی نیز می توان به احداث جاده، نوع کاربری اراضی و استخراج معدن، تخریب پوشش گیاهی و غیره ... اشاره نمود.

به طور کلی عوامل ایجاد کننده حرکات توده ای شامل عوامل درونی و بیرونی هستند:

الف: عوامل درونی عواملی هستند که موجب کاهش متوسط مقاومت برشی و افزایش تنش برشی در سازنده های مختلف منطقه می شوند. عوامل درونی شامل وضعیت تکتونیک، لیتولوژی، نوع سازنده های سطحی و ویژگی های آنها پلاستیسیته، هدایت الکتریکی، عمق و درصد سیلت و رس و غیره است (عابدینی، ۱۳۹۵)

ب: عوامل بیرونی عواملی هستند که باعث افزایش متوسط سطح تنش برشی در طول سطوح گسیختگی بالقوه یا سطوح ضعیف موجود در تشکیلات خاکی سنگی می شوند. این عوامل شامل بریدگی های پای دامنه، ایجاد ترانشه در اثر جاده سازی، انفجارات حاصل از معدن کاری و بالاخره شامل هر گونه ایجاد تغییرات در شیب سطوح و پای دامنه ها است که در ارتباط با عوامل اقلیمی، باعث افزایش تنش برشی می شوند. در کنار سایر عوامل موثر در زمین لرزه نقش توپوگرافی، لیتولوژی، تکتونیک و میزان بارندگی بسیار مهم هستند (عابدینی، ۱۳۹۵، ۵۳) در ایران، جاده های کوهستانی ریزش قطعات سنگی باعث خسارات جانی و مالی فراوان می شود بنابر این لازم است این جاده ها شناسایی و از لحاظ میزان خطر با روش های مناسب پهنه بندی شود (جوکار و علیزاده، ۱۳۹۲، ۱۵۲). نواحی شمال غربی ایران در مجموع دارای توپوگرافی کوهستانی بوده و با توجه به وضعیت زمین ساختی و لرزه خیزی بالا و شرایط زمین شناسی و اقلیمی آن شرایط مناسب برای ایجاد زمین لغزش در برخی دامنه ها فراهم است (اصغری کلجاهی و همکاران، ۱۳۹۵). لذا با توجه به واقع شدن منطقه مورد مطالعه در ناحیه کوهستانی شمال غرب و دارا بودن تمام شرایط ریزش بسیار مستعد ریزش بوده و نیاز به مشخص نمودن پهنه های خطر و اقدامات حفاظتی جهت جلوگیری از خسارت های مالی و جانی می باشد. مطالعات زیادی در کشورهای مختلف و ایران در زمینه زمین لغزش و سنگ ریزش انواع آن صورت گرفته است. خطر سنگ ریزش یکی از انواع اشکال حرکات توده ای، توجه محققین زیادی را در راستای شناسایی و پهنه بندی آنها جلب نموده است. از جمله شارما و ماهاجان (Sharma & Mahajan, ۲۰۱۸) یک ارزیابی تطبیقی از ارزش اطلاعات، نسبت فراوانی و مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای داده های ریزش کوه دامنه رشته کوه های هیمالیا، در هند انجام دادند. آنها در حوضه ای به وسعت ۱۴/۶۳ کیلومتر مربع ۱۹۰ نقطه دارای ریزش سنگ پیدا کردند. عوامل مؤثر مورد استفاده برای ریزش سنگ ناحیه مورد مطالعه شیب، جهت شیب، سنگ شناسی، انحنا، پوشش زمین و فاصله از آبراهه در نظر گرفته شدند. نتایج اعتبارسنجی با استفاده از روش منحنی نرخ پیش بینی به ترتیب ۸۹.۶۱٪، ۸۷.۱۲٪ و ۸۸.۲۶٪ برای مدل های  $FR^1$ ، AHP و  $INV^2$  بدست آمد. و مدل نسبت فراوانی مدل مورد قبول در این ناحیه تعیین گردید. ادیتیان و همکاران (Aditian, et al., ۲۰۱۸) با استفاده از مقایسه مدل های  $FR$ ،  $LR^3$ ،  $ANN^4$  حساسیت ریزش سنگ را در منطقه شهری آمبون اندونزی انجام دادند آن ها با استفاده از هشت عامل در محیط ARCGIS نسبت به پهنه بندی ریزش کوه در پنج طبقه اقدام کرده و بین سه روش نسبت فراوانی و رگرسیون لجستیک و شبکه عصبی مصنوعی، از نظر مدل های صحت سنجی ریزش سنگ، مدل شبکه عصبی مصنوعی را برتر تشخیص دادند. در مطالعه دیگری چن و همکاران (Chen, et al, ۲۰۱۷) با استفاده از ۹ عامل و سه مدل  $FR$ ،  $CF^5$ ،  $EBF^6$  پهنه های حساس به زمین لغزش در حوضه آبریز باکسی در شمال غربی چین را مشخص کردند. نرخ موفقیت و نرخ پیش بینی هر سه روش را به صورت کمی تعیین

<sup>۱</sup> - frequency ratio

<sup>۲</sup> - Information value

<sup>۳</sup> - logistic regression

<sup>۴</sup> - artificial neural network

<sup>۵</sup> - evidential belief function

<sup>۶</sup> - certainty factor

نمودند. وراپان و همکاران (Veerappan, et al., ۲۰۱۷) حساسیت ریزش کوه در بخشی از مسیر جاده ملی NH-۵۸ واقع در محدوده اوتاراکنند هند با روش نسبت فراوانی و AHP انجام دادند. آن ها با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و یازده پارامتر اثر گذار در ریزش سنگ به پهنه بندی خطر پرداختند. ارزیابی نهایی با استفاده از شاخص منحنی (AUC) برتری مدل FR را نسبت به AHP نشان داد. چینخایی و همکاران (Chingkhei et al., ۲۰۱۳) ریزش های سنگی مسیر جاده NH-۱A کشمیر هیمالیا را با استفاده از روش AHP و بکار بردن لایه های مؤثر در زمین لغزش و تصاویر ماهواره ای در شش کلاس خطر شدید تا خطر خیلی کم پهنه بندی نمودند در تحقیقی دیگر در جاده ای در شبه جزیره سورنتو در ناپل ایتالیا (Palma et al., ۲۰۱۱) با استفاده از روش تجربی و مدل سازی رایانه ای دو بعدی و سه بعدی انجام داده اند و پهنه های خطر را مشخص نمودند جابویدف و لابیوس (Jaboyedoff & Labiouse, ۲۰۱۱) با استفاده از مدل رایانه ای کانفال و محاسبات ریاضی و مدل DTM به برآورد و حرکت سنگ ریزش در منطقه ورد دکانتون سوئیس پرداختند. در مطالعه دیگری پاپات هان سیو و همکاران (Papathanassiou et al., ۲۰۰۵) به ارزیابی و پهنه بندی سنگ ریزش در کوههای اورلگس یونان به روش زاویه حداقل سایه و شبیه سازی با نرم افزار راک فال<sup>۱</sup> و GIS پرداختند بایلی فرد و همکارانش از تلفیق و وزن دهی داده های توپوگرافی و ژئومورفولوژی با پنج عامل فاصله از گسل، شیب سنگ ریزش ها در یک فاصله کوتاه، فاصله از پرتگاه سنگی، جهت شیب و فاصله از جاده اقدام به پهنه بندی سنگ ریزش در جاده ای در امتداد کوه های سوئیس کردند ساها و گوپتا (Saha & Gupta, ۲۰۰۲). پهنه بندی خطر سنگ ریزش را با استفاده از شاخص LHI)) و GIS در دره بهاگیراتی (گانگا<sup>۲</sup>) کوههای هیمالیا انجام داده اند. ایشان با استفاده از شاخص های مختلف مانند فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و غیره پهنه های با خطر خیلی زیاد تا خیلی کم مشخص نموده اند. در تحقیق دیگری جوکار سرهنگی و همکاران، (۱۳۹۶) خطر ریزش سنگ را با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در جاده فیروز کوه حداقل پل سفید تا گدوک را انجام دادند. ایشان با استفاده از ۱۰ لایه مؤثر و ۳۰ پهنه برداشت شده ریزش سنگ با GPS ضریب لایه ها را با نرم افزار SPSS برآورد کردند و سپس با اجرای معادله رگرسیون در محیط نرم افزار ARCGIS و همپوشانی لایه نقشه خطر ریزش را ترسیم نمودند. برای صحت سنجی از منحنی ROC بهره گرفتند. (مددی و همکاران، ۱۳۹۴) پهنه بندی خطر ریزش را در حوضه آبریز آق لاقان چای با روش ویکور در محیط ARCGIS انجام داده اند. ایشان پس تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز و تأیید دادن دوازده عامل پهنه بندی خطر ریزش را در پنج طبقه از خطر بسیار کم تا خطر خیلی زیاد انجام داده اند. در پژوهشی دیگر (رضانی و همکاران ۱۳۹۴) پهنه بندی سنگ ریزش ارتفاعات شمال شهر شاهرود را با دو روش استریوگرافیک و شبیه سازی تعادل حدی انجام دادند. همچنین با شبیه سازی ریزش در نرم افزار Rockfall و وارد کردن داده های حاصل از آن در ArcGIS اقدام به تشخیص پهنه های خطر ریزش در ارتفاعات مذکور و اطراف شهر شاهرود نمودند. (مدلل و همکاران، ۱۳۹۲) با استفاده از تلفیق مدل های سه بعدی سازی سنگ ریزش با مدل سازی توزیعی GIS به پهنه بندی ارتفاعات محور هراز و دامنه های امام زاده علی آمل پرداختند و نتیجه گیری کردند تنها پانزده درصد ارتفاعات مذکور و شیب های بالای ۶۰ درصد از خطر ریزش سنگی بیشتری دارند (جوکار سرهنگی و همکاران، ۱۳۹۲) در پژوهشی با استفاده از روش AHP و ارزش اطلاعات و با کمک لایه های اطلاعاتی دخیل در ریزش به اولویت بندی عوامل مؤثر در ریزش کوه در ارتفاعات دره هراز استان مازندران کردند. نتیجه ارزیابی مدل های مذکور

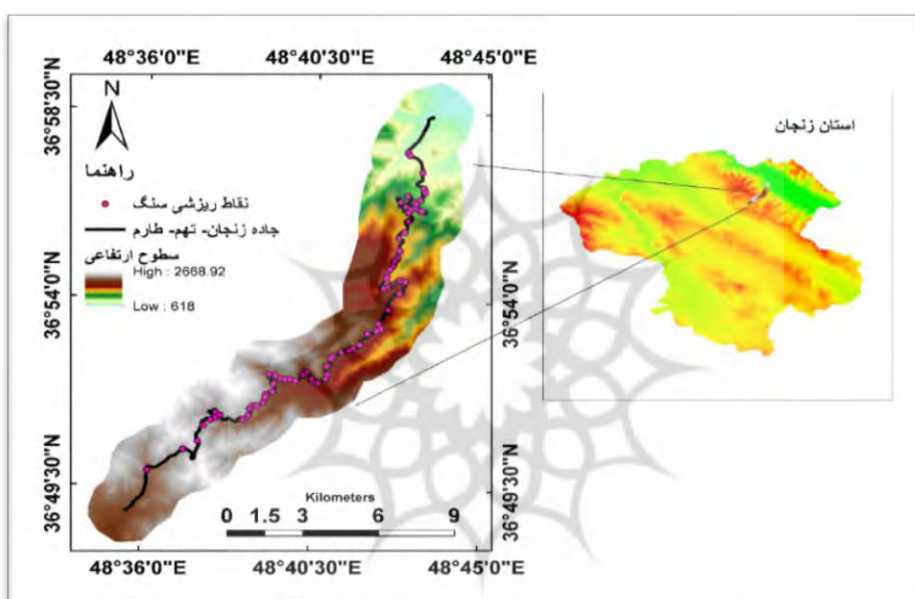
<sup>۱</sup> - Rockfall

به ترتیب با احتمال تجربی ۰/۸۴۲ و ۰/۷۳۷ بدست آمد. در مقاله دیگری (شیرزادی و همکاران ۱۳۸۹) ضمن مقایسه دو مدل رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی با استفاده از هشت عامل طبیعی و انسانی اقدام به پهنه بندی خطر سنگ ریزش در گردنه صلوات اباد واقع در شرق سنندج کردند. و نتیجه گرفتند دقت مدل رگرسیون لجستیک در منطقه مذکور بیشتر از مدل نسبت فراوانی است. لذا در راستای اهمیت شناسایی و مقابله با خطر طبیعی ریزش سنگ در جاده مورد مطالعه تلاش گردید با بهره گیری از تجربیات سایر محققین پهنه های خطر شناسایی شود و پیشنهادات لازم ارائه شود.

## داده ها و روش کار

### • منطقه مورد مطالعه

جاده زنجان- تهم- طارم در شمال شرقی استان زنجان قرار گرفته است. موقعیت ریاضی آن ۳۶ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۴ دقیقه طول شرقی است.



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی و پراکنش ریزش های سنگی منطقه مورد مطالعه

مرتفع ترین قسمت محدوده مورد مطالعه ۲۷۰۰ و میانگین ارتفاع آن ۱۸۹۴ متر از سطح دریا، میانگین شیب منطقه ۶۷/۱۷ برآورد شد. میانگین دما و بارش سالیانه منطقه به ترتیب ۱۰ درجه سانتیگراد و ۴۸۷/۵ میلیمتر می باشد. از لحاظ زمین شناسی بخشی از رشته کوههای شمالی استان زنجان می باشد که مورفولوژی کوهستانی دارد بیشتر رخنمون های آن از مجموعه های پیروکلاستیک ائوسن (سازند کرج) است. لیتولوژی چیره ردیفهای آذرین آواری بخش شمالی استان زنجان، همانند سایر نواحی البرز، از نوع توفهای سبز به همراه میان لایه های شیلی و گاهی آهکی است. جدا از ردیفهای آذرین آواری، در این مجموعه همراهانی از گدازه های آندزیتی، آندزی - بازالتی، ریو داسیت پورفیری و غیر پورفیری وجود دارد که هم به صورت زیر دریایی و هم در سطح خشکی تشکیل شده اند. اشکال رسوبی موجود در پیروکلاستیکها و ولکانی کلاستیکها نظیر لایه بندی، دانه بندی تدریجی، لامیناسون خمیده، فلوت کست، لغزش های ثقلی نه تنها حکایت از انباشتگی در محیط دریایی دارد بلکه به نوعی جریانهای آشفته و نا آرامی های تکتونیکی زمان رسوبگذاری را تداعی می کند. از ویژگی های بارز زمین شناسی ارتفاعات ماگمایی شمال استان زنجان توده های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی درشت دانه است که به مجموعه های ولکانی کلاستیک ائوسن (سازند کرج) تزریق شده اند به همین لحاظ این توده

ها سن بعد از ائوسن دارند و با توجه به شواهد منطقه ای بخشی از توده های نفوذی فاز کوهزایی پیرنئن هستند که در امتداد ساختار و گسلهای طولی و عمیق بلندبهای طارم تزریق شده اند (توضیحات نقشه زمین شناسی طارم یکصد هزار)



شکل ۲: پاک سازی جاده زنجان - تهم - طارم و رفع انسداد ناشی از سنگ ریزش مواد و روش ها

#### • روش کار

روش تحقیق از نظر هدف کاربردی و فرایند انجام کار بر مبنای تلفیقی از روش کتابخانه ای و میدانی است. در این پژوهش برای تعیین مناطق مستعد ریزش و پهنه بندی از مدل های ANP<sup>۱</sup> و نسبت فراوانی استفاده شده است. دو مدلی که از نظر فرایند انجام و مکانیسم کاملا با هم تفاوت دارند. به منظور سازماندهی چهارچوب تحقیق ابتدا به صورت میدانی از محدوده مورد مطالعه بازدید به عمل آمد و موقعیت ریاضی نقاط مستعد ریزش با GPS ثبت گردید. سپس متناسب با مدل های مذکور لایه های GIS مورد نیاز به شکل زمین مرجع و رقومی آماده شد. جهت تهیه لایه های پهنه بندی از لایه های زمین شناسی، شیب و جهات شیب، سطوح ارتفاعی، کاربری زمین و پوشش گیاهی، گسل، نقشه های خطوط هم یخبندان، هم دمای سالانه و بارش، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه استفاده گردید. ابتدا خطوط میزان ۲۰ متر با اندازه پیکسلی ۲۰×۲۰ متری با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ در محیط ARCGIS تهیه شد سپس منحنی های میزان و Dem<sup>۲</sup> منطقه ساخته شد. نقشه های شیب و جهت شیب، سطوح ارتفاعی، همبارش، همدم، یخبندان سالانه و شبکه آبراهه از طریق Dem و داده های هواشناسی ایجاد شد. نقشه زمین شناسی و گسل از طریق رقومی کردن نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زنجان و نقشه کاربری و پوشش گیاهی و فاصله جاده با استفاده از تصاویر لندست ۸ ۲۰۱۷ OLI و ARCGIS ایجاد گردید. برای لایه های خطی از تابع Distance جهت تولید نقشه های فاصله استفاده گردید.

**روش نسبت فراوانی:** پس از تهیه لایه های مورد نیاز طبقات مؤثر هریک از آنها در محیط Arcgis مشخص گردید. تعدادی از نقاط ریزشی برداشت شده با GPS با استفاده از توابع و جدول لایه های اطلاعاتی بر روی طبقات توزیع شد. سپس با استفاده از مدل ضریب نسبت فراوانی هر طبقه محاسبه گردید. این ضریب از طریق رابطه زیر بیان می شود.

$$FR = \frac{A}{B} \quad (۱)$$

<sup>۱</sup> - analytic network process

<sup>۲</sup> - digital elevation model

که در آن A درصد تعداد ریزش در هر طبقه، B درصد مساحت همان طبقه از لایه و  $FR^1$  نسبت فراوانی است. اگر این ضریب برای هر طبقه بیشتر از یک باشد، حساسیت آن طبقه برای ریزش بالا است (لی و پرادهان، ۲۰۰۷). در نهایت ضریب نسبت فراوانی هر طبقه از عوامل در محیط ArcGIS با هم جمع و بر پایه رابطه (۲) نقشه پهنه بندی خطر ریزش در منطقه با بهره گیری از مدل نسبت فراوانی به دست آمد (جوکارسرهنگی و علیزاده، ۱۳۹۳).

$$\text{رابطه (۲)} \quad (\text{ضریب نسبت فراوانی} \times \text{هر لایه اطلاعاتی}) = \sum \text{شاخص پهنه بندی}$$

تمامی محاسبات ضریب مذکور در جدول اطلاعاتی نقشه های مؤثر از طریق فیلد محاسباتی نرم افزار Arcmap انجام گرفت.

#### • روش تحلیل شبکه (ANP)

فرایند تحلیل شبکه ای یکی از تکنیکهای تصمیم گیری چند معیاره است و در مجموعه مدلهای جبرانی قرار می گیرد. این مدل بر مبنای فرایند تحلیل سلسله مراتبی طراحی شده است و شبکه را جایگزین سلسله مراتب کرده است مدل (ANP) از سلسله مراتب کنترل، خوشه ها، عناصر، روابط متقابل بین خوشه ها و عناصر تشکیل میشود (فرجی سبکبار و همکاران، ۱۳۸۷) در فرایند تحلیل سلسله مراتبی<sup>۲</sup> (AHP) وابستگی ها به صورت خطی (از بالا به پایین) و یا برعکس است. حال اگر وابستگی ها دو طرفه باشد یعنی شاخص ها به گزینه ها و وزن گزینه ها به شاخص ها وابسته باشند مسئله از حالت سلسله مراتبی خارج شده تشکیل یک شبکه یا سیستم غیر خطی را می دهد در این صورت نمی توان از قوانین و فرمولهای AHP استفاده کرد در این حالت برای محاسبه وزن عناصر باید از ANP استفاده کرد که توسط ساعتی در سال ۱۹۹۴ ارائه شد. تکنیک ANP با چارچوب جامع و فراگیر تمامی تعاملات و روابط میان سطوح تصمیم گیری را که تشکیل یک ساختار شبکه ای می دهند، می تواند در نظر بگیرد (عظیمی حسینی و همکاران، ۱۳۸۹) برای انجام پهنه بندی به روش ANP با استفاده از بازدید میدانی و برداشت مختصات تعدادی از نقاطی که دچار ریزش سنگ شده بودن و توزیع نقاط نمونه، بر روی طبقات و کلاس لایه های مؤثر بر ریزش سنگ با استفاده از توابع جداول اطلاعاتی نرم افزار ArcMap، لایه ها و طبقات مؤثر آنها مشخص شد و نتایج حاصل با نظر کارشناسی اساتید برتر ژئومورفولوژی تلفیق گردید. به این ترتیب عوامل و لایه های تاثیر گذار جهت مقایسه زوجی و تحلیل شبکه مشخص گردید. مراحل کلی فرایند تحلیل شبکه در شکل ۴ آورده شده است.

<sup>۱</sup> - Frequency ratio

<sup>۲</sup> - Analytical Hierarchy Process

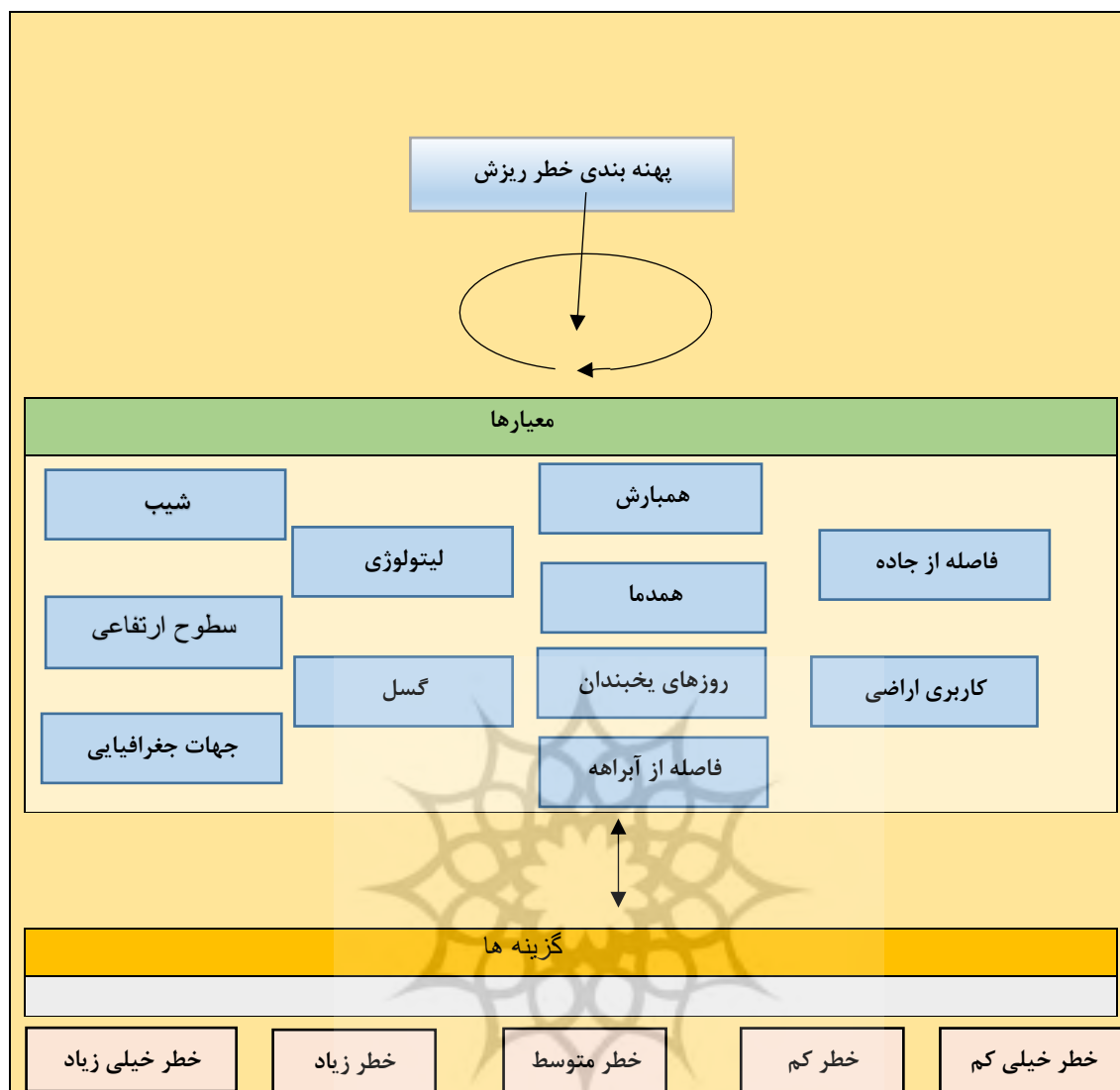


شکل ۳: مراحل کلی فرایند تحلیل شبکه ای

برای انجام مقایسه ها و تحلیل شبکه از نرم افزار سوپر دسیژن<sup>۱</sup> استفاده گردید. نرم افزار سوپر دسیژن یکی از نرم افزارهای بسیار مهم و پرکاربرد برای تحلیل فرآیند شبکه ای و سلسله مراتبی به شمار می رود. پژوهشگران پس از ترسیم شبکه مسأله و دستیابی به نظرات خبرگان از طریق مقایسات زوجی می توانند این تحلیل و نتایج مربوطه و تحلیل حساسیت ها را با استفاده از نرم افزار سوپر دسیژن انجام دهند. ابتدا طبق تصویر ذیل درخت تصمیم گیری در محیط نرم افزار سوپر دسیژن ترسیم شد و فرایند پیچیده مقایسه بین خوشه ها و معیارها و گزینه ها انجام گرفت.

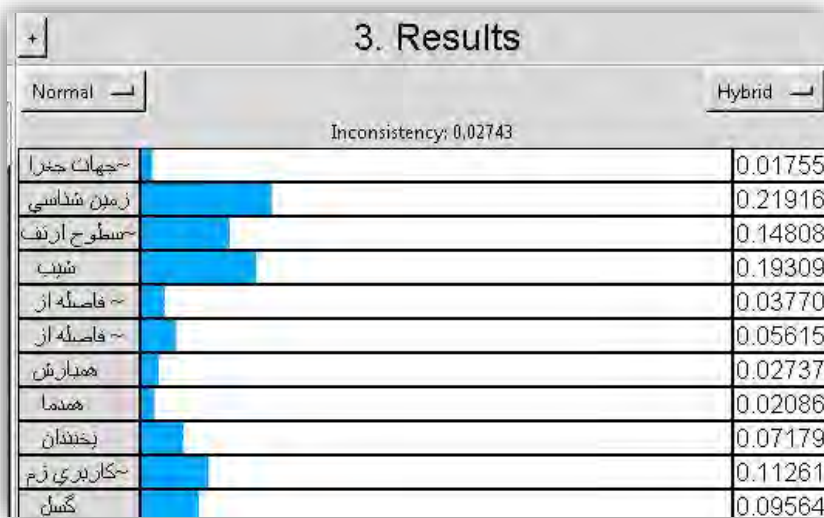
پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی





شکل ۴: درخت تصمیم گیری با روش ANP در نرم افزار سوپر دسیژن

در گام بعدی مطابق با مطالعات و اطلاعات میدانی و نظر کارشناسی، مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه ها و تاثیرات متقابل آنها با یکدیگر، در نرم افزار سوپر دسیژن انجام شد (اشکال ۵ و ۶). ده ها مقایسه زوجی مانند شکل زیر بین معیارها و گزینه ها صورت گرفت و در پایان ضمن بدست آوردن وزن معیارها نرخ ناسازگاری ماتریس ها ۰/۰۲۷ به دست آمد که نشان از کم بودن خطاها و مقایسه ها زوجی بین معیارها است. در این روش نرخ ناسازگاری نباید از ۰/۱ بیشتر باشد؛ که این میزان خطا با توجه به تعداد زیاد قضاوت ها قابل قبول است. در هیچ کدام از مقایسات نرخ ناسازگاری از حداقل مجاز بیشتر نبود.



شکل ۵: نمونه ای از محاسبه وزن معیارها و میزان نرخ ناسازگاری در محیط نرم افزار سوپر دسیژن

در آخرین گام برای رسیدن به وزن نرمال وزن های هر معیار در گزینه های آن ضرب می گردد سپس جمع تمامی این اعداد را به دست می آید و تک تک این اعداد را بر مجموعه آنها تقسیم می گردد اعداد به دست آمده وزن های نرمال بوده و آماده ورود به بانک اطلاعات GIS به منظور تهیه نقشه می باشند (عظیمی حسینی و همکاران، ۱۳۸۹). سپس وزن های نرمال شده در محیط ARCGIS در نقشه های مؤثر ضرب و با یکدیگر جمع گردید و نقشه پهنه بندی نهایی بدست آمد.

#### • ارزیابی مدل

در این تحقیق برای وزن دهی به لایه ها از داده های مکانی ریزش و نظر کارشناسی استفاده گردید. لذا برای ارزیابی صحت پهنه های خروجی نقشه ها باید حداقل از یکی از مدل های ارزیابی استفاده نمود. برای این کار ۴۲ نقطه پراکنش ریزش روی نقشه های پهنه بندی نهایی توزیع شد. این نقاط قبلاً در پهنه بندی استفاده نشده بودند. برای ارزیابی از فرمول های زیر استفاده گردید.

$$p = \frac{ks}{s} \quad (1)$$

که در آن P احتمال تجربی، KS تعداد ریزش در طبقه بالا به خیلی بالا و S تعداد کل ریزش های منطقه است. مدلی که هر چه میزان P بیشتر باشد، برای پهنه بندی مناسب تر است (جوکارسرهنگی و علیزاده، ۱۳۹۲)

برای محاسبه شاخص QS<sup>۱</sup> ابتدا نسبت تراکمی (Dr) طبق فرمول زیر محاسبه می گردد. در این رابطه Si مجموع مساحت زمین لغزش های واقع در هر رده خطر، Ai مساحت آیین رده خطر در یک نقشه پهنه بندی و n تعداد رده های خطر است. شاخص QS نشان دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش بینی خطر زمین لغزش است. معمولاً مقدار این شاخص برای روش های مختلف در گستره صفر و ۷ قرار می گیرد (هرچند از بعد نظری

<sup>۱</sup> - quality sum

حدی برای آن وجود ندارد.) در ارزیابی روش ها هر چه QS بیشتر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیشتری دارد. مقدار مجموع کیفیت از رابطه ۳ به دست می آید (رجبی و خسروی، ۱۳۹۵).

$$D_r = \frac{S_i}{A_i} / \frac{\sum_i^n S_i}{\sum_i^n A_i} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در رابطه (۳) QS؛ مجموع کیفیت،  $D_r$ ؛ نسبت تراکم،  $S$ ؛ نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه و  $n$ ؛ تعداد کلاس خطر می باشد.

$$\times S \quad Q_s = \sum_{i=1}^n ((D_r - 1)^2) \quad \text{رابطه (۳)}$$

## شرح و تفسیر نتایج

### • عوامل مؤثر در وقوع ریزش سنگ

فاصله از گسل: وجود گسل عامل ثانویه و متغیر مستقل، در ایجاد حرکات توده ای بسیار قابل توجه است. با توجه به اینکه مسیر گسل های بالقوه بر نقاط پایدار زمین می باشند و همچنین به دلیل گسیختگی در دامنه ها و ایجاد شکستگی در لایه ها و خرد شدن توده های سنگی عموماً در مسیر سیستمی از درزها و شکافها ایجاد میشود و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می گردد (روزبهبانی و همکاران، ۱۳۸۹). از آن نظر که میان فاصله از گسل و تأثیر آن در وقوع زمین لغزش، رابطه معکوسی وجود دارد. لذا با افزایش فاصله از گسل، دامنه ارزش اختصاص داده شده به این معیار کاهش داده می شود و برعکس با نزدیک شدن به گسل دامنه ارزش اختصاص داده شده به تدریج افزایش داده می شود. کمترین فاصله گسل از جاده مورد مطالعه ۵۰۰ متر و بیشترین فاصله حدود ۵۰۰۰ متر در نظر گرفته شد (شکل ۶). مدل نسبت فراوانی جدول (۱) بیشترین خطر ریزش به فاصله هزار متر و بیشتر از خطوط گسلی تعلق دارد. در صورتی که در مدل ANP بیشترین خطر ریزش به فاصله کمتر از ۵۰۰ متر از خطوط گسلی مربوط است. در این بخش نتایج مدل FR با توجه به استفاده از مدل آماری منطقی تر به نظر می رسد.

شیب: وجود شیب در دامنه ها، اساس حرکت های توده ای مطرح است. وجود این عامل به صورت بحرانی، نقش تأثیرگذار عوامل دیگر، در حرکت های توده ای را تشدید می نماید (صفاری و هاشمی، ۲۰۱۷). مطابق شکل (۶) و جدول (۱) طبقات شیب ۶۰-۴۰ و ۶۰-۸۰ بیشترین خطر ریزش را در هر دو مدل نشان می دهند که نشان از پیوند اساسی عوامل اقلیمی، جنس سنگ و نوع کاربری و پوشش گیاهی با عامل تأثیرگذار شیب است.

لیتولوژی: جنس سنگ یکی از عوامل بسیار مؤثر در وقوع ریزش سنگ از ارتفاعات محسوب می شود. جنس سنگ های اطراف جاده زنجان-تهم-طارم از سازندهای منفصل و نامقاوم رسوبی مانند ماسه سنگ، سیلتستون، گل سنگ، همراه با میان لایه هایی از توف است که به شدت هوازده شده اند و مستعد ریزش هستند. طبقه پنجم نقشه جنس سنگ یعنی کوارتز، توف، ماسه سنگ توفی، سیلتستون، گل سنگ همراه با میان لایه های توفی به ترتیب با رقم های ۱/۶۵ و ۰/۰۸۹ در هر دو مدل بالاترین ریزش را نشان می دهد که حاکی از نقش سنگ های منفصل به همراه سایر عوامل تقویت کننده مانند سطوح ارتفاعی، شیب، فاصله از جاده و عوامل اقلیمی است (جدول ۱).

کاربری اراضی: منظور از کاربری نوع و نحوه استفاده از زمین در حال حاضر است به طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین کننده ای در تغییرات محیطی، به ویژه ایجاد و تشدید حرکت های دامنه ای ایفا می کند و انواع مختلف کاربری ها عملکردهای متفاوتی در ناپایداری دامنه ها دارند (صفاری و هاشمی، ۲۰۱۷). نتایج جدول (۱) و شکل

(۶) نشان می دهد، انواع مراتع به علت افزایش دادن نفوذ آب بارندگی ها بخصوص ذوب برف، یکی از عوامل اثرگذار در وقوع ریزش سنگ در این جاده کوهستانی است. بنابراین مراتع مترکم به ترتیب با رقم های ۱/۷۲ و ۰/۸۰ برای روش های FR و ANP بیشترین نقش را در ریزش سنگ در جاده تهم - چورزق داشتند.

**سطوح ارتفاعی:** ارتفاع از سطح دریا معرف تغییرات و نوسانات اقلیمی است. به دلیل اختلاف میزان انرژی که هر نقطه زمین از خورشید دریافت می کند، متفاوت است. تغییرات ارتفاع می تواند تأثیر بسزایی بر سه عامل دما، بارش و رطوبت بگذارد (خضری و همکاران، ۱۳۸۵). سطوح ارتفاعی ۲۰۰۰-۱۵۰۰ و ۲۳۰۰-۲۰۰۰ جدول (۱) به ترتیب در هر دو روش پهنه بندی ریزش کوه بالاترین نرخ خطر را به خود اختصاص داده اند که انطباق کامل جنس سنگ ها و شیب بین ۴۰ تا ۸۰ درصد و همچنین نقشه های اقلیمی را نشان می دهد.

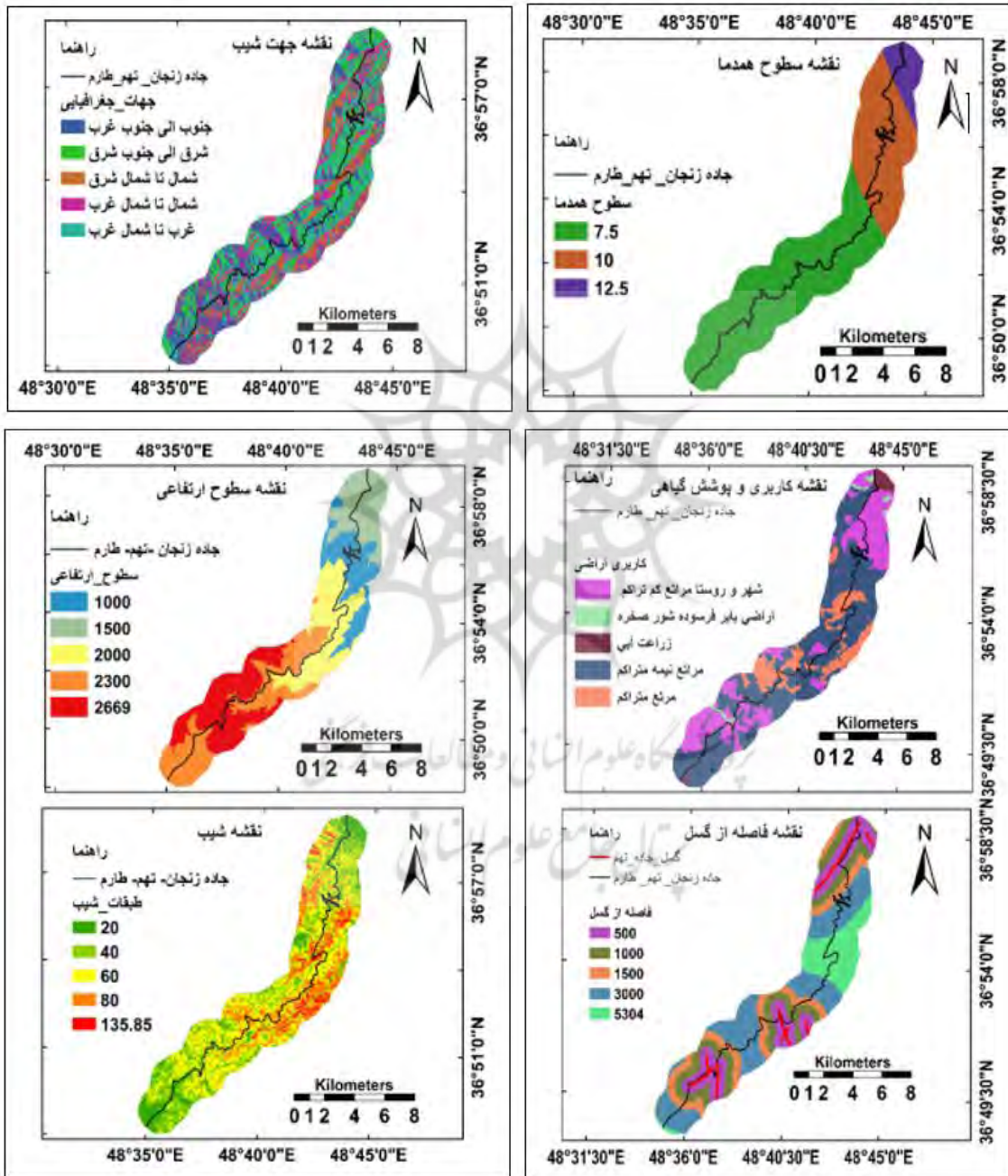
**عوامل اقلیمی:** (همباران، همدما، روزهای یخبندان) عوامل اقلیمی از طریق ایجاد هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، نفوذ به لایه های خاک و سنگ دامنه و کاهش سطح اصطحکاک سازندهای منفصل زمینه حرکات توده ای را فراهم می کنند. یخبندان با مکانیسم کریو کلاستی تخته سنگ های دامنه های پرشیب را تخریب کرده و شرایط را برای حرکات توده ای فراهم می نماید. با نگاهی عمیق به نتایج جدول (۱)، شکل (۶) و درصد فراوانی ریزش هر طبقه، به وضوح همبستگی عمیق داده های اقلیمی نقشه های سالیانه هم یخبندان، همبارش و همدما با سایر عوامل تأثیر گذار در ریزش کوه قابل درک خواهد بود. خطوط هم یخبندان سالیانه ۸۰-۴۰، همبارش ۴۰۰-۲۵۰ و همدمای سالانه ۱۰-۷/۵ در هر دو روش پهنه بندی ارزش بالایی را کسب کرده اند.

**فاصله از جاده:** در حالت کلی بررسی عامل فاصله از جاده، به دلیل از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر در شیب دامنه ها در مطالعه وقوع حرکت های دامنه ای نقش بسیار مهمی دارد (صفاری و هاشمی، ۲۰۱۷). به علت کوهستان های مرتفع مسیر جاده زنجان - تهم - طارم و صعب العبوری آن در زمان ساخت جاده شیب های تندی ایجاد کرده اند و از طرف دیگر از مواد منفجره جهت بازگشایی اولیه استفاده گردیده است. این کار باعث از هم پاشیدگی انسجام و استحکام سنگ های نچندان مقاوم مسیر جاده شده است. بنابراین به علت اثر مستقیم فعالیت های عمرانی ساخت جاده، فاصله ۲۰۰-۰ از جاده در مدل FR با امتیاز ۲/۸۱ و ANP ۰/۴۴ امتیاز نرخ بالای ریزش سنگ را به خود اختصاص داده اند جدول (۱) و شکل (۶).

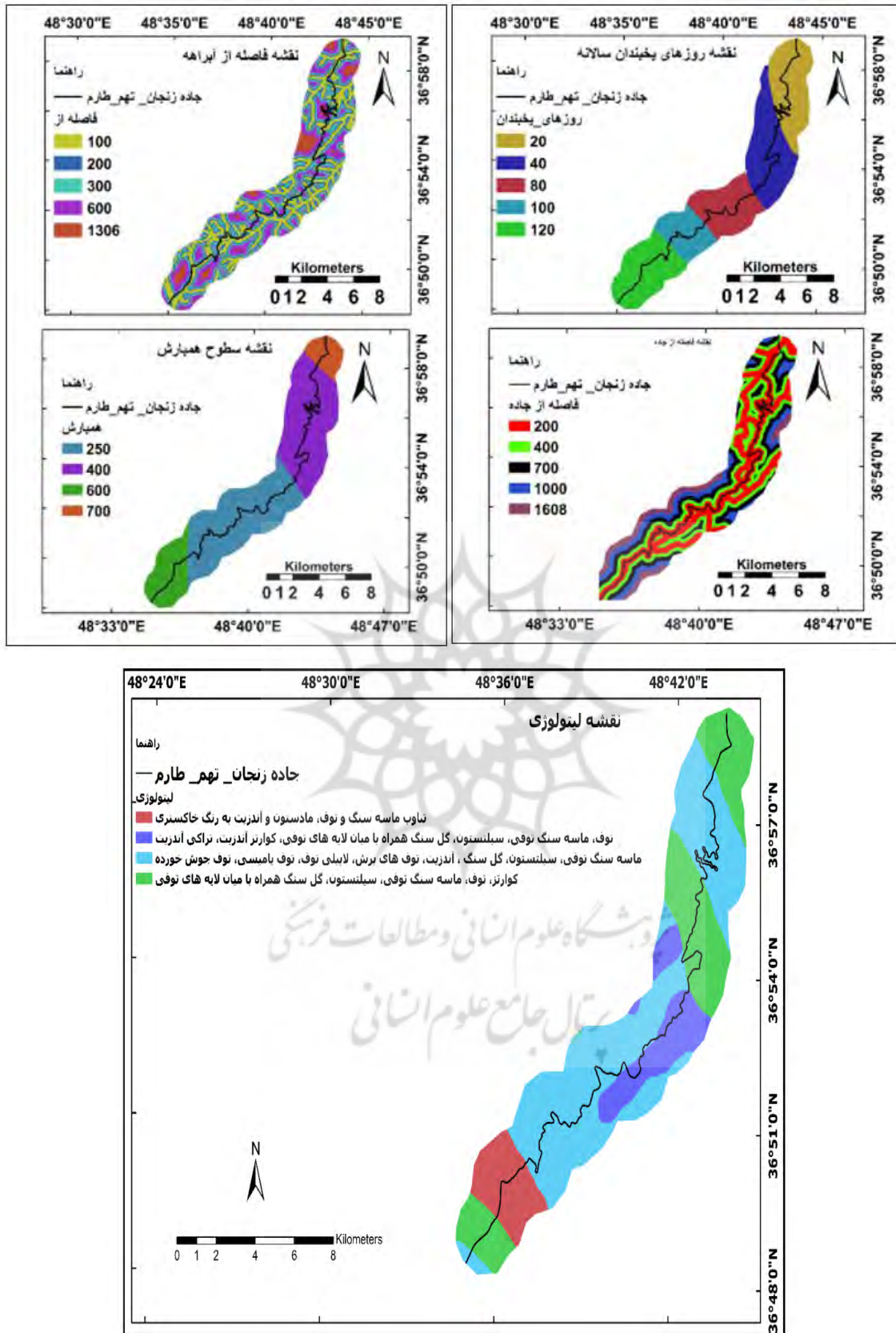
**فاصله از آبراهه:** در بخش هایی از جاده مورد مطالعه، هرگاه شیب دامنه ها زیاد و سازندهای سست آنها را در بر گرفته اند، آبراهه ها با زیر شویی این قسمت ها باعث ریزش های سنگین شده اند. لذا با نگاه به نتایج جدول (۱) و شکل (۶) نشان می دهد فاصله ۱۰۰ متری از آبراهه ها بیشترین فراوانی ریزش سنگ را دارا هستند. به طوری که در مدل FR تا فاصله ۱۰۰ متری از رودخانه ضریب نسبت فراوانی بار رقم ۱/۰۲۶ بالاترین خطر ریزش و در مدل ANP همین طبقه با رقم ۰/۱۴ امتیاز بیشترین خطر ریزش را به خود اختصاص داده اند.

**جهت شیب:** جهت شیب از طریق تأثیر در میزان دریافت انرژی خورشید و به تبع آن نگر داشت میزان رطوبت بیشتر و حتی استمرار وقوع یخبندان در دامنه هایی که نور کمتری دریافت می کند، در پدیده ریزش سنگ دامنه ها اهمیت پیدا می کند. با توجه به جدول (۱) و شکل (۶) تقریباً در تمام جهات جغرافیایی در جاده زنجان - تهم - طارم ریزش سنگ در اطراف جاده دیده می شود. در هر مدل FR و ANP بیشترین خطر ریزش کوه به ترتیب با رقم های ۱/۲۸ و ۰/۰۶۱ مربوط به دامنه های شرقی و جنوب شرقی است.

پس از تولید نقشه های پهنه بندی اقدام به استخراج داده های کمی پهنه با استفاده از جدول اطلاعاتی Arcgis و محیط نرم افزار اکسل برای تمامی لایه و کلاس های مختلف هر لایه گردید که نتایج به شرح جدول (۱) بیان می گردد. مسیر جاده زنجان به تهم و چورزق دارای نقاط ریزشی فراوانی است که با ۸۶ GPS نقطه جهت پهنه بندی و ۴۲ نقطه جهت ارزیابی مدل ها استفاده گردید. از الحاقیه Hawth tools در Arcgis برای پخش نقاط ریزشی روی طبقات لایه های مختلف جهت محاسبات آماری، کارشناسی، پهنه بندی و ارزیابی مدل ها استفاده شد؛ و نتایج نهایی به شرح جدول (۱) به دست آمد.







شکل ۶: نقشه های موثر در وقوع ریزش سنگ از دامنه های منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: ضرایب نسبت فراوانی و تحلیل شبکه (ANP) وزن طبقات آنها

وزن تحلیل شبکه (ANP)	ضریب مدل نسبت فراوانی	درصد فراوانی ریزش	درصد مساحت	طبقات	عوامل مؤثر
۰/۰۰۹	۰/۲۵	۳/۴۸	۱۳/۶۴	۲۰-۰	شیب
۰/۰۱۶	۰/۵۹	۱۷/۴۴	۲۹/۲۰	۴۰-۲۰	
۰/۰۳۳	۱/۳۶	۴۸/۸۳	۳۵/۸۳	۶۰-۴۰	
۰/۰۷۳	۱/۷۰	۳۰/۲۳	۱۷/۶۹	۸۰-۶۰	
۰/۰۰۶	۰	۰	۳/۶۱۹	>۸۰	
۰/۰۵۶	۱/۳۹	۲۰/۹۳	۱۵/۰۴۸۷	۰-۱۰۰۰	سطوح ارتفاعی
۰/۰۰۴۷	۰/۲۱۹	۳/۴۸۸	۱۵/۹۱۸	۱۵۰۰-۱۰۰۰	
۰/۰۵۶۹	۲/۰۲	۴۱/۸۶	۲۰/۶۱	۲۰۰۰-۱۵۰۰	
۰/۰۱۲۹	۱/۱۶	۲۹/۰۶۹	۲۴/۹۷	۲۳۰۰-۲۰۰۰	
۰/۰۰۷۸	۰/۱۹۸	۴/۶۵	۲۳/۴۴	>۲۳۰۰	
۰/۰۰۱۲	۱/۰۱۱	۳۰/۲۳	۲۹/۸۹۶	غرب تا شمال غرب	جهت جغرافیایی
۰/۰۰۶۱	۱/۲۸۹	۲۲/۰۹۳	۱۷/۱۳۱	شرق الی جنوب شرق	
۰/۰۰۰۵	۰/۶۲	۸/۱۳۹	۱۳/۰۳۷	شمال تا شمال شرق	
۰/۰۰۰۷	۰/۸۷	۱۷/۴۴	۱۹/۹۴	شمال تا شمال غرب	
۰/۰۰۲۹	۱/۱۰۵	۲۲/۰۹۳	۱۹/۹۹	جنوب الی جنوب غرب	
۰/۰۰۸	۰	۰	۱۳/۵۰	Qm,EKK <sup>۱</sup> -۲,EKa <sup>۲</sup> <sup>۱</sup>	جنس سنگ (زمین شناسی)
۰/۰۱۳	۰/۱۱۷	۱/۱۶۲	۹/۹۰	EKK <sup>۷</sup> ۸ <sup>۲</sup>	
۰/۰۲۲	۱/۱۸	۶۰/۴۶	۵۱/۰۴	EKK <sup>۱</sup> -	
۰/۰۴۱	۱/۳۳	۱۶/۲۷۹	۱۲/۱۹۹	۲,qm,EKK <sup>۴</sup> ۵ ۶ <sup>۲</sup>	
۰/۰۸۹	۱/۶۵	۲۲/۰۹۳	۱۳/۳۴	EKK <sup>۱</sup> -۲,EVP,Qt <sup>۱</sup> ,qm <sup>۴</sup>	
				EKK <sup>۱</sup> -۲ qm <sup>۵</sup>	
۰/۰۰۸۵	۰	۰	۱/۱۶	اراضی بایر فرسوده	کاربری اراضی و پوشش گیاهی
۰/۰۱۵	۰	۰	۲/۰۵۵	زراعت آبی	
۰/۰۲۶	۰/۳۸۰	۱۰/۴۶	۲۷/۴۸	روستا و مراتع کم تراکم	
۰/۰۴۵۱	۱/۱۸	۶۶/۲۷	۵۵/۷۹	مراتع نیمه متراکم	
۰/۰۸۰	۱/۷۲	۲۲/۲۵	۱۳/۵۱	مرتع متراکم	
۰/۰۸	۰/۷۱	۱۵	۲۱	۵۰۰-۰	فاصله از گسل
۰/۰۳۶	۰/۳۸	۷	۱۸	۱۰۰۰-۵۰۰	
۰/۰۱۸	۱/۴	۲۱	۱۵	۱۵۰۰-۱۰۰۰	
۰/۰۱۰	۱/۱۲۵	۳۶	۳۲	۲۰۰۰-۱۵۰۰	
۰/۰۰۶	۱/۴	۲۱	۱۵	>۲۰۰۰	
۰/۰۰۴	۰/۹۹	۲۲/۰۹۳	۲۲/۱۰۶	۲۰-۰	روزهای یخبندان
۰/۰۰۴	۱/۲۱	۳۰/۲۳	۲۴/۹۰	۴۰-۲۰	
۰/۰۳۳	۱/۵۰	۲۷/۹۰	۱۸/۵۵	۸۰-۴۰	
۰/۰۱۳	۱/۲۸۶	۱۶/۲۷	۱۲/۶۵	۱۰۰-۸۰	
۰/۰۲۷	۰/۱۶	۳/۴۸۸	۲۱/۷۷	>۱۲۰	
۰/۰۴۴	۲/۸۱	۱۰۰	۳۵/۵۱	۲۰۰-۰	فاصله از جاده
۰/۰۲۰	۰	۰	۲۵/۲۷	۴۰۰-۲۰۰	
۰/۰۱۰۹	۰	۰	۱۷/۴۴	۷۰۰-۴۰۰	
۰/۰۰۳۴	۰	۰	۱۲/۶۳۹	۱۰۰۰-۷۰۰	
۰/۰۰۳۹	۰	۰	۹/۱۳۷	>۱۵۰۰	
۰/۰۱۴	۱/۰۲۶	۳۲/۵۵	۳۱/۷۱	۱۰۰-۰	فاصله از آبراهه
۰/۰۰۴	۱/۰۰۲۶	۲۲/۲۵	۲۳/۱۹	۲۰۰-۱۰۰	

۱ - کوارتز، ذغقتوف، ماسه سنگ توفی، سیلتستون، گل سنگ همراه با میان لایه های توفی

۲ - تناوب ماسه سنگ و توف، مادستون و آندزیت به رنگ خاکستری

۳ - ماسه سنگ توفی، سیلتستون، گل سنگ همراه با میان لایه های توفی، آندزیت، توف های برش، لاپیلی توف، توف پامیسی، توف جوش

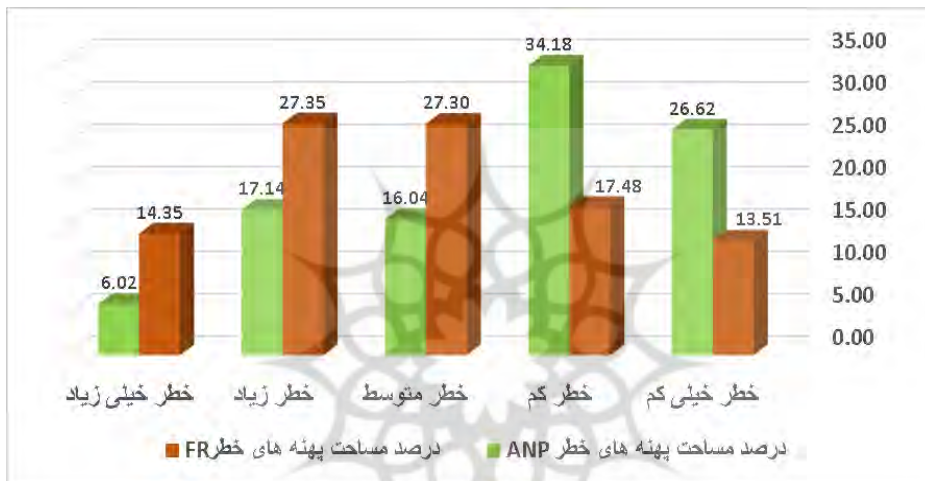
خورده

۴ - توف، ماسه سنگ توفی، سیلتستون، گل سنگ همراه با میان لایه های توفی، کوارتز آندزیت، تراکی آندزیت

۵ - کوارتز، توف، ماسه سنگ توفی، سیلتستون، گل سنگ همراه با میان لایه های توفی

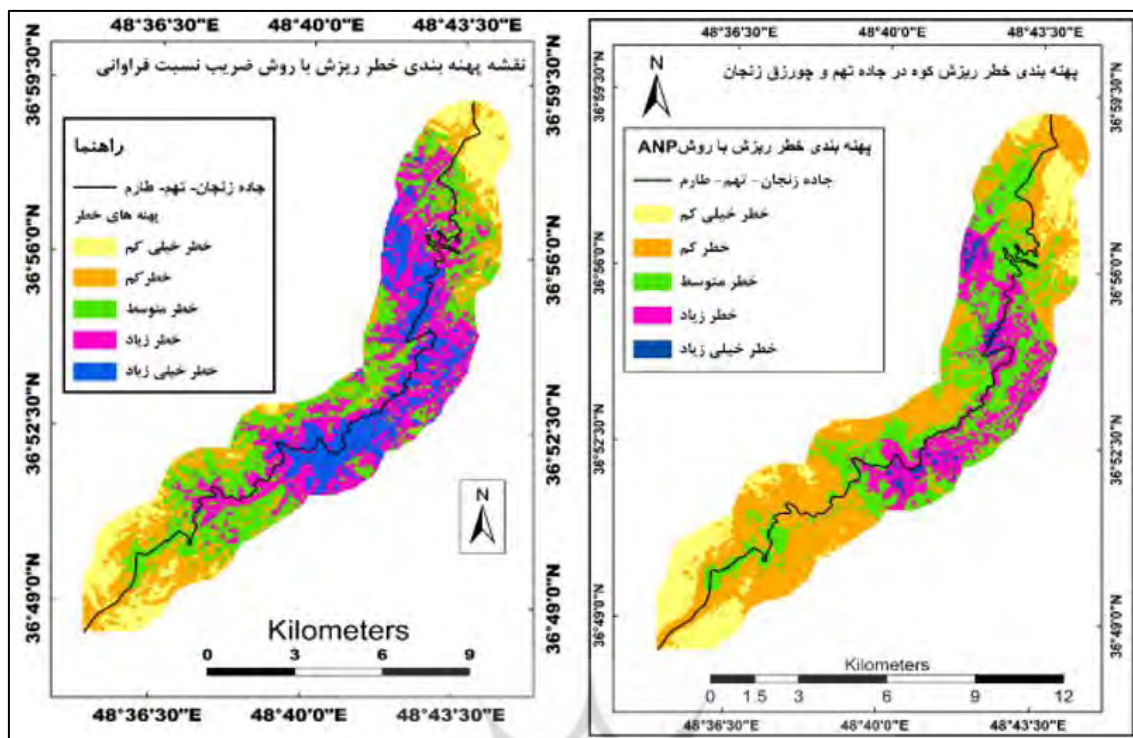
	۳۰۰-۲۰۰	۱۷/۳۱	۱۶/۳۷	۰/۹۴	۰/۰۰۲
	۶۰۰-۳۰۰	۲۲/۶۷	۲۳/۲۵	۱/۰۲۵	۰/۰۰۷
	>۱۳۰۶	۵/۱۰۴	۴/۶۵	۰/۹۱	۰/۰۰۱۴
همبارش سالانه	۲۵۰-۰	۴۱/۶۳	۵۰	۱/۲۰	۰/۰۰۶
	۴۰۰-۲۵۰	۳۶/۳۸۸	۴۸/۸۳	۱/۳۴	۰/۰۰۹
	۶۰۰-۴۰۰	۱۴/۹۸	۱/۱۶	۰/۰۷۷	۰/۰۰۳
	۷۰۰-۶۰۰	۶/۹۹	۰	۰	۰/۰۰۱۶
همدمای سالانه	۷-۰/۵	۶۱/۶۴	۵۴/۶۵	۰/۸۸	۰/۰۰۷۲
	۷/۱۰-۵	۳۰/۹۷۷	۴۵/۳۴	۱/۴۶	۰/۰۰۷۹
	۱۲-۱۰/۵	۷/۳۸	۰	۰	۰

با اعمال وزن های به دست آمده از روشهای ضریب نسبت فراوانی و تحلیل شبکه نقشه های پهنه بندی در قالب پهنه های متفاوت خطر در محیط ARCGIS تولید شد. سپس مساحت پهنه های خطر گوناگون در هر دو نقشه محاسبه گردید؛ و جهت ارزیابی پهنه های خطر دو شاخص QS و P استفاده گردید.



شکل ۷: نمودار مقادیر درصد مساحت طبقات خطر برای هر دو مدل ANP و FR





شکل ۸ پهنه بندی خطر ریزش جاده تهم- چورزق به روش ضریب نسبت فراوانی و روش ANP

• ارزیابی مدل ها

برای ارزیابی و مقایسه صحت پهنه بندی ANP و ضریب نسبت فراوانی (FR) از دو روش مجموع کیفیت (QS) و شاخص دقت (P) طبق جدول زیر استفاده گردید. در ارزیابی مدل های ANP و ضریب نسبت فراوانی مطابق با جدول (۲) نشان داد هر دو روش در مشخص نمودن پهنه های خطر ریزش سنگ کارآمد هستند. ولی با توجه به اعداد به دست آمده از جدول (۲) مدل ANP از نظر صحت جدا سازی پهنه های خطر نسبت به مدل ضریب نسبت فراوانی بهتر عمل کرده است. از نظر دقت پهنه بندی خطر ریزش سنگ هر دو روش نتیجه بسیار نزدیک به هم و قابل قبول داشته اند.

جدول ۲: مقایسه کیفیت و دقت روش های پهنه بندی در جاده مورد مطالعه

مدل و روش	طبقات خطر	مساحت طبقات	شاخص QS	شاخص P
مدل ضریب نسبت فراوانی (FR)	خطر خیلی زیاد	۱۲/۲۶۰	۰/۱۴۶۰	۰/۸۵
	خطر زیاد	۲۳/۳۶۰		
	خطر متوسط	۲۳/۳۲۰		
	خطر کم	۱۴/۹۳۱		
	خطر خیلی کم	۱۱/۵۴۳		
مدل تحلیل شبکه (ANP)	خطر خیلی زیاد	۱/۴۶۵	۰/۷۶۰	۰/۸۸
	خطر زیاد	۱۳/۰۲۸۷		
	خطر متوسط	۲۴/۵۱۵		
	خطر کم	۳۳/۸۶۵		
	خطر خیلی کم	۱۲/۶۷۱۶		

## نتیجه گیری

در این تحقیق عوامل گوناگون تاثیر گذار در وقوع ریزش سنگ در جاده زنجان - تهم - طارم بررسی شد. از آنجایی حرکات توده ای مانند ریزش سنگ در جاده ها به صورت سیستمی عمل می کنند، در نتیجه همه عوامل در وقوع چنین پدیده هایی نقش خاص خود را ایفا می کنند. ولی در این میان بعضی از عوامل نقش پر رنگ تری دارند. در محدوده مورد مطالعه از بین عوامل تاثیر گذار جنس سنگ، شیب، سطوح ارتفاعی، بارش، تغییرات دمایی، تعداد روزهای یخبندان و فاصله از جاده و کاربری اراضی بیش از سایر عوامل در وقوع ریزش سنگ دخیل هستند. با توجه به اشکال (۷ و ۸) پهنه های خطر زیاد تا خیلی زیاد به ترتیب برای مدل های ANP و FR ۱۷/۱۴، ۲۷/۳۵ و ۶/۰۲، ۱۴/۳۵ درصد بدست آمد. پهنه های خطر زیاد تا خیلی زیاد با شیب های بین ۴۰ تا ۸۰ درصد و سازندهای رسوبی مانند ماسه سنگ، گل سنگ سیلتستون با میان لایه های توفی، سطوح ارتفاعی ۱۵۰۰ تا ۲۳۰۰، دامنه های جنوبی و شرقی، فاصله بین ۰ الی ۵۰۰ از گسلها، جاده و آبراهه انطباق دارند. هر چند نباید نقش بسیار مهم میزان رطوبت، روزهای یخبندان و تغییرات دمایی را فراموش کرد. چگونگی تغییرات درصد مساحت پهنه ها در هر دو مدل نشان می دهد (شکل ۹) علی رغم تفاوت در اندازه پهنه های خطر، از یک روند مشابه تبعیت می کنند، مؤید انطباق مساحت پهنه های خطر با توپوگرافی مسیر جاده مورد مطالعه است. از نظر شاخص Qs و P روش ANP به ترتیب با ۰/۷۶ و ۰/۸۸ نسبت به روش FR با ۰/۱۴ و ۰/۸۵ برتری دارد. نتایج این تحقیق با نتایج تحقیقات (روستایی و همکاران، ۱۳۹۳) و (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۲) که روش تحلیل شبکه را به عنوان یک روش کارآمد و مناسب می دانند، همخوانی دارد. روش های پایدار سازی دامنه ها عموماً در شکل مکانیکی، زیستی و زیستی مکانیکی انجام می شود که با توجه به مسیر طولانی جاده و مدت زمان انجام، روش های مکانیکی مانند باربرداری، خاکریزی، زهکشی، بهره گیری از دیوارهای حائل و نیز استفاده از شبکه های توری پیشنهاد می شود. لذا با توجه به اینکه جابه جایی مسیر جاده به علت کوهستانی بودن این ناحیه، به لحاظ هزینه مالی و زمانبر بودن مقدور نیست. پیشنهاد می شود در کنار تعریض جاده از روش های مناسب پایدارسازی دامنه جاده استفاده شود.

## منابع

- احمدی، حسن. (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی بیان و فرسایش بادی (ج دوم). سوم، دانشگاه تهران.
- ادواردجی، تارپورک؛ و لوگتن، فردریک. (۱۳۸۶). مبانی زمین شناسی. (اخری، مترجم). تهران: انتشارات مدرسه.
- اصغری کلجاهی، ابراهیم؛ فاطمه نمکچی و عبدالرضا واعظی هیر (۱۳۹۵). پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی به روش آنبالاگان. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۴۰(۲): ۱۹-۳۸.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ عبدالله علی زاده. (۱۳۹۳). ارزیابی کارایی مدل های نسبت فراوانی و ارزش اطلاعات در پهنه بندی خطر ریزش سنگ، مطالعه موردی دره هراز. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۴(۱۱): ۱۵۱.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ عبدالله علی زاده. (۱۳۹۲). اولویت بندی عوامل مؤثر بر ریزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل های ارزش اطلاعات و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: دره هراز) *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۲(۲): ۱۸۷-۱۹۸.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ پریا اسمعیل نژاد نصیر کندی و قاسم لرستانی. (۱۳۹۶). *ارزیابی خطر ریزش سنگ با استفاده از رگرسیون لجستیک (مطالعه موردی: جاده فیروزکوه پل سفید تا گدوک (پایان نامه)*. دانشگاه مازندران.
- خضری، سعید؛ شهرام روستایی، و عبدالحمید رجایی. (۱۳۸۵). پهنه بندی و تحلیل سلولی ناپایداری دامنه ای در بخش مرکزی حوضه آبریز رودخانه زاب. *جغرافیا و برنامه ریزی*، ۲۲(۱۲): ۱۴۳-۱۶۷.
- رامشت، محمد حسین؛ سمیه سادات شاه زیدی. (۱۳۹۰). کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی ملی، منطقه ای، اقتصادی، توریسم (ویرایش اول، ج ۱). دوم، دانشگاه اصفهان، اصفهان.

- رجبی، علی محمد؛ حسین خسروی. (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله (مطالعه موردی). *فصلنامه علوم و مهندسی زلزله*، ۳(۴): ۳۱-۴۲.
- رمضانی، اومالی رمضان؛ مقدس ناصرحافظی و کژال حیدری. (۱۳۹۴). پهنه بندی خطر ریزش سنگی در ارتفاعات شمال شهر شاهرود. *علوم زمین*، ۲۴: ۱۷-۲۶.
- روزبهبانی، حبیبه؛ علیرضا ایلدرمی و مریم دشتی. (۱۳۸۹). *بررسی عوامل وقوع حرکات توده ای با مدل LNRFL (مطالعه موردی: حوضه سد کلان ملایر*. مقاله ارائه شده در *Regional Congress on Application of Physical Geography in Environmental Planning*.
- همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه ریزی محیطی. ۱: ۱۰.
- روستایی، شهرام؛ لایلا قشلاق خدائی و فاطمه قشلاق خدائی. (۱۳۹۳). ارزیابی روش های تحلیل شبکه (ANP) و تحلیل چندمعیاره مکانی در بررسی پتانسیل وقوع زمین لغزش در محدوده محور و مخزن سدها (مطالعه موردی: سد قلعه چای). *پژوهشهای جغرافیای طبیعی (پژوهش های جغرافیایی)*، ۴۶(۴): ۴۹۵-۵۰۸.
- شیرزادی، عطااله؛ کریم سلیمانی، محمود نژادروشن و کامران چپی. (۱۳۸۹). مقایسه مدل های رگرسیون لجستیک و نسبت فراوانی در پهنه بندی خطر ریزش سنگ. *مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)*، ۶۳(۴): ۴۸۹.
- صفاری، امیر؛ و معصومه هاشمی. (۲۰۱۷). پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل های آنترپوی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). *جغرافیای طبیعی*، ۹(۳۴): ۴۳-۶۲.
- عابدینی، موسی. (۱۳۹۵). *ژئومورفولوژی تکتونیک (ج ۲) دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل*
- عظیمی حسینی، محمد؛ محمد هادی نظری فرد و رضوانه مومنی. (۱۳۸۹). کاربرد GIS در مکان یابی. انتشارات مهرگان قلم، تهران
- فرجی سبکبار، حسنعلی؛ و محمد سلمانی. (۱۳۸۷). مکان یابی محل دفن بهداشتی زباله روستایی با استفاده از مدل فرایند شبکه ای تحلیل (ANP): مطالعه موردی نواحی روستایی شهرستان قوچان. *فصلنامه مدرس علوم انسانی*، ۱(۱): ۱۳۱.
- مددی، عقیل؛ عطا غفاری و الناز پیروزی. (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه بندی خطر ریزش با استفاده از مدل VIKOR (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لافان چای). *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۴(۲۶): ۶۳-۸۰.
- مدلل، دوست سعید؛ سارا اولادزاده و سیدمحمود میثاقی. (۱۳۹۲). مدل سازی مسیر سنگ ریزش و پهنه بندی خطر آن در محیط GIS مورد: محور هراز، دامنه امام زاده علی - آمل. *جغرافیا و توسعه*، ۱۱(۳۲): ۱۰۳.
- مقیم، ابراهیم؛ مجتبی یمانی و سعید رحیمی هراباد. (۱۳۹۲). ارزیابی و پهنه بندی خطر ریزش در شهر رودبار با استفاده از تحلیل شبکه. *پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی*، ۴(۴): ۱۱۸-۱۰۴.
- Saha; A. K. & Gupta, R. P. (۲۰۰۲). GIS-based landslide hazard zonation in the Bhagirathi (Ganga) valley, Himalayas. *International Journal of Remote Sensing*, ۲۳(۲), ۳۵۷-۳۶۹.
- Aditian, Aril; Kubota, Tetsuya; & Shinohara, Yoshinori. (۲۰۱۸). Comparison of GIS-based landslide susceptibility models using frequency ratio, logistic regression, and artificial neural network in a tertiary region of Ambon, Indonesia. *Geomorphology*, ۳۱۸, ۱۰۱-۱۱۱
- Chen, Zhuo; Liang, Shouyun; Ke, Yutian; Yang, Zhikun; & Zhao, Hongliang. (۲۰۱۷). Landslide susceptibility assessment using evidential belief function, certainty factor and frequency ratio model at Baxie River basin, NW China. *Geocarto International*, ۰(۰), ۱-۲۰.
- Chingkhei, R. K.; Shiroyleima, A.; Singh, L. Robert; & Kumar, Arun. (۲۰۱۳). Landslide Hazard Zonation in NH-۱A in Kashmir Himalaya, India. *International Journal of Geosciences*, ۴(۱۰), ۱۵۰۱-۱۵۰۸.
- Cruden, MD; & Varnes, DJ. (۱۹۹۶). Landslide types and processes, (۲۷۶), ۳۶-۷۵.
- Fanos, Ali Mutar; & Pradhan, Biswajeet. (۲۰۱۶). Multi-scenario Rockfall Hazard Assessment Using LiDAR Data and GIS. *Geotechnical and Geological Engineering*, ۵(۳۴), ۱۳۷۵-۱۳۹۳.
- Ferrari, F.; Giacomini, A.; & Thoeni, K. (۲۰۱۶). Qualitative Rockfall Hazard Assessment: A Comprehensive Review of Current Practices. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, ۷(۴۹), ۲۸۶۵-۲۹۲۲.
- Jaboyedoff, M.; & Labiouse, V. (۲۰۱۱). Technical Note: Preliminary estimation of rockfall runout zones. *Natural Hazards and Earth System Science*, 11(۳), ۸۱۹-۸۲۸. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-819-2011>
- Lee, Saro; & Pradhan, Biswajeet. (۲۰۰۷). *Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models* ۴.
- Palma; Parise, M; Reichenbach, P; & Guzzetti, F. (۲۰۱۱, July ۴). Rockfall hazard assessment along a road in the Sorrento -. Retrieved December ۰۳, ۲۰۱۶, from Rockfall hazard assessment along a road in the Sorrento &rlzRockfall hazard assessment along a road in the Sorrento
- Papathanassiou, G.; Valkaniotis, S.; & Chatzipetros, A. (۲۰۰۵). Rockfall susceptibility zoning and evaluation of rockfall hazard at the foot hill of mountain Orliagas, Greece.

- Sharma, Swati; & Mahajan, A. K. (۲۰۱۸). A comparative assessment of information value, frequency ratio and analytical hierarchy process models for landslide susceptibility mapping of a Himalayan watershed, India. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*.
- Singh, Prakash; Kainthola, Ashutosh; Panthee, S; & Singh, T.N. (۲۰۱۶). Rockfall analysis along transportation corridors in high hill slopes. *Environmental Earth Sciences*, 75.
- Veerappan, Ramesh; Negi, Ankur; & Siddan, Anbazhagan. (۲۰۱۷). Landslide Susceptibility Mapping and Comparison Using Frequency Ratio and Analytical Hierarchy Process in Part of NH-۵۸, Uttarakhand, India. In *Advancing Culture of Living with Landslides* (pp. ۱۰۸۱-۱۰۹۱).

