پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال ششم، شماره ٤، بهار ۱۳۹۷
صص. ۱۹۰-۱۷۲

ارزیابی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند سلسله مراتبی (AHP) ،تحلیل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مطالعات میدانی با رویکرد کاهش ریسک(مطالعه موردی: محور جاده هراز)

سمیه عمادالدین*- استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران
آیدین مرادی - دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۵ تائید نهایی: ۱۳۹۷/۰۳/۰۲

چکیده

شناسائی پهنه‌های حساس متاثر از لغزش و ریزش مهم‌ترین بخش در تهیه نقشه زمین‌لغزش و ریزش می‌باشد. مطالعه حاضر در محور جاده هراز حدفاصل بین امامزاده هاشم و شهرستان آمل که از محورهای پرتردد و پرخطر ایران می‌باشد انجام پذیرفت. در این پژوهش از دو مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و فرآیند سلسله‌مراتبی (AHP) به منظور ارزیابی و مقایسه با وضع موجود و معرفی مدل مناسب استفاده شده است. همچنین وضعیت موجود منطقه به صورت میدانی پایش شده و مناطق متاثر از پدیده‌های ریزش و لغزش ثبت گردیده است. سطح بندی نقاط از نظر میزان خطر، تعداد نقاط از نظر عوامل خطرآفرین و اشتراک عوامل مخاطره‌آمیز در نقاط ثبت شده، مرحله دیگری از مطالعه میدانی می‌باشد که با رویکرد کاهش ریسک انجام پذیرفت. از نقشه‌های رقومی ارتفاعی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از راه به عنوان لایه‌های اطلاعاتی استفاده شد. در مطالعات میدانی ۲٦۱ نقطه حادثه‌خیز متاثر از لغزش و ریزش ثبت گردید. با در نظر گرفتن تعداد نقاط برداشت شده و آمار اشتراک مخاطرات موجود در آن‌ها و همچنین سطح بندی نقاط این نتیجه بدست آمد که تمامی نقاط ثبت شده با خطر احتمالی ریزش مواجه است. لازم به‌ذکر است ۱۹۱ مورد از نقاط ثبت شده با سطح پر خطر تشخیص داده شد. بیشترین خطر در رابطه با اشتراک مخاطرات مربوط به ریزش و روآناب بدست آمد. با توجه به این که ۸۸ مورد از نقاط ثبت شده مرتبط با پدیده لغزش می‌باشد، در صورت رخداد، این مورد بیشترین تاثیر را از نظر میزان آسیب خواهد داشت. در نهایت نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که روش شبکه عصبی مصنوعی با وضع موجود مطابقت بیشتری داشته است. خطای بدست آمده از روش شبکه عصبی مصنوعی ۸ درصد بوده و این میزان، قابل قبول بودن تحلیل‌های انجام شده را نشان می‌دهد و این روش می‌تواند در مناطق مشابه مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: لغزش، ریزش، مطالعه میدانی، روش تحلیل سلسله‌مراتبی، روش تحلیل شبکه عصبی‌مصنوعی، کاهش ریسک، جاده هراز.

---

* نویسنده مسئول: E-mail: s.emadodin@gu.ac.ir

مقدمه

راه زمینی به عنوان اصلی‌ترین و اساسی‌ترین نقش انتقال کالا و جابجائی انسان در یک کشور و گاهاً منطقه می‌باشد. از این رو داشتن ایمنی و به حداقل رساندن تهدیدات ناشی از حرکت‌های دامنه‌ای از ملزومات و ضروریات ایمنی بخشیدن به محور جاده می‌باشد. راه‌های مواصلاتی که عمده فعالیت‌های انسانی بدون آن غیر ممکن می‌باشد در مقایسه با محیط‌های شهری و مراکز مسکونی و همچنین سایر مراکز، از نظر مطالعه و راهکار در راستای کاهش ریسک مرتبط با مخاطرات ژئومورفولوژیکی، کمتر پرداخته شده است. درایران اغلب شریان‌های جاده‌ای مهم که از مناطق با مورفولوژی خشن عبور می‌کنند، همواره خسارت‌های زیادی را از نظر ریزش و لغزش به خود می‌بینند. زمین لغزش‌ها پدیده‌های محلی هستند که در مناطق مختلف با ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رخ می‌دهند. این پدیده می‌تواند توسط مکانیزم‌های مختلفی مانند زمین لرزه، بارندگی و یا سایر عوامل ایجاد شود که برخی از آن‌ها هنوز شناخته شده نیستند(Wang et.al., 2017). پیش‌بینی زمان و مکان رخداد ریزش و لغزش از دانش فعلی بشر خارج است، بنابراین برای بیان حساسیت دامنه‌ها به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌پردازند (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه‌بندی مناطق مخاطره‌آمیز با روشی علمی و دقیق می‌تواند در راستای کاهش ریسک، مناسب‌ترین راه از نظر صرف هزینه و زمان باشد. علاوه بر آن شناسایی مناطق مستعد خطر متاثر از ریزش و لغزش به همراه تولید نقشه‌های پهنه‌بندی از موضوعات مهم برای مطالعات مدیریت خطر می‌باشد. از آن جا که شناسائی مناطق مستعد، یکی از مراحل اصلی پردازش در تجزیه و تحلیل است، بنابراین انتخاب روش پیش‌بینی مناسب نقش مهمی در مطالعه روند پهنه‌های حساس دارد(Colkesen et al., 2016). روش‌های مختلفی برای شناسائی مناطق حساس لغزشی ارائه شده است از جمله این روش‌ها می‌توان رگرسیون لجستیک، درخت واره، زمین‌بردار، شبکه عصبی مصنوعی و سلسله مراتبی را نام برد (Wang et.al., 2017). مطالعاتی که در ارتباط با پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه ایی در سطح جهان و ایران انجام شده است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:Pradhan و همکاران (2007) با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS به تجزیه و تحلیل خطرات ناشی از لغزش با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای منطقه سلانگور در مالزی[1] پرداختند. در این پژوهش توپوگرافی، شیب، انحنای توپوگرافی، فاصله از آبراهه، سنگ-شناسی، فاصله از خطوط مقدم ریزش، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی و بارش به عنوان عوامل تاثیرگذار انتخاب شده‌اند. تصاویر مورد استفاده شده برای استخراج لغزش‌های رخداده مربوط به سنجنده TM بوده است. دقت تجزیه و تحلیل در این پژوهش ۸۲,۹ درصد بوده است. روش شبکه عصبی مصنوعی در این مطالعه به عنوان روشی مناسب برای شناسائی پهنه‌های حساس به لغزش معرفی گردیده است.

ferlisi و همکاران (2012) به مطالعه ارزیابی ریزش سنگ با پیمایش در طول جاده‌ای در جنوب ایتالیا، پرداختند ابتدا ریزش‌های رخداده شده را ثبت نموده و سپس مورد تحلیل قرار دادند. در این پژوهش، شیب، آب و هوا ، زمین‌شناسی، گسل، نزولات جوی، ارتعاشات حاصل از تردد خودروها و زمان رخداد ریزش به عنوان مهمترین عوامل موثر در رویداد ریزش معرفی شده و از روش (RHRS)[2] برای شناسائی نقاط بحرانی استفاده شده است و به این نتیجه رسیدند که برای مدیریت و کاهش ریسک رخداد ریزش نیاز به بررسی دائم و آنالیز داده‌ها به طور پیوسته لازم و ضروری است. نکته حائز اهمیت در این پژوهش محاسبه حجم تردد وسایل نقلیه در دوره های زمانی مختلف می‌باشد که در فصل تابستان با توجه به اینکه مسیر جاده محور مواصلتی منطقه گردشگری است بیشتر از سایر فصول می‌باشد. ارتعاشات حاصل از تردد خودروها به عنوان مورد تاثیرگذار در امر ریزش در نظر گرفته شده است. افزایش درز و شکاف‌های سازندهای سخت، مورد مهم دیگری از یافته‌های این تحقیق می‌باشد که با گردش آبهای زیرزمینی در درز و شکاف‌های قدیمی، ریشه گیاهان و تغییرات دما ارتباط داده شده است..

1 Malaysia , Selangor
2 The Rockfall Hazard Rating System

در تحقیقی دیگر Colkesen و همکاران(۲۰۱۶) در منطقه‌ای از ترکیه با عنوان نگاشت حساسیت رانش زمین‌های کم عمق با استفاده از فرایند گاوسی مبتنی بر هسته، ماشین‌بردار و رگرسیون لجستیک انجام داده‌اند. هدف اصلی این مطالعه بررسی امکان استفاده از رگرسیون پردازش گاوسی [۱](GPR) و رگرسیون بردار پشتیبانی[۲](SVR) برای تولید نقشه حساسیت به لغزش ناحیه تونای ترابزون [۳] در ترکیه بوده است. نتایج حاصل از این دو روش با روش رگرسیون لجستیک [۴](LR) مقایسه گردیده که به عنوان روش معیاری در نظر گرفته شده بود. نتایج نشان داده است که مدل‌های استفاده شده GPR و SVR به طور کلی نتایج مشابهی داشته‌اند (به ترتیب ۹۰,۴۶٪ و ۹۰,۳۷٪). روش متداول LR در این تحقیق از ۱۸٪ برتری برخوردار بوده است. در این تحقیق لغزش‌های رخ داده شده قبلی مورد مطالعه قرار گرفته و توزیع فضایی به همراه رفتار آنها در انتخاب عوامل به عنوان لایه‌های ورودی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین نقشه پوشش گیاهی استفاده شده در این تحقیق از تصاویر landsat TM بدست آمده است.

Wang و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه‌ای با عنوان کاربرد مدل ترکیبی شبکه‌های عصبی و الگوریتم ژنتیک برای ارزیابی حساسیت به لغزش در منطقه‌ای از چین انجام داده‌اند. برای تجزیه و تحلیل مکانیزم لغزش‌ها در این تحقیق، شش عامل محیطی را برای بررسی وقوع زمین‌لغزش انتخاب شده بود (زاویه شیب، ابعاد، ارتفاع و شکل شیب، فاصله تا رودخانه و فعالیت‌های انسانی). پس از تجزیه و تحلیل فضایی بدین صورت نتیجه‌گیری شده است که بیشتر زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های محدب و در ارتفاع ۱۵۰–۱۰۰ متر با جهت شیب ۱۳۵ تا ۲۲۵ درجه و همچنین زاویه شیب ۴۰ تا ۶۰ درجه اتفاق افتاده‌اند. Wang و همکاران (۲۰۱۷) به لایه های رستری و تصاویر مورد استفاده با حد تفکیک بالا تاکید کرده اند. زلزله های تاریخی و ثبت شده در این تحقیق مورد لحاظ قرار گرفته است. وضعیت مورفولوژی و هوازدگی سنگ بستر به همراه رطوبت خاک لوسی مستعد لغزش به عنوان عوامل اصلی و میزان شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به عنوان عوامل ثانویه در نظر گرفته شده است. آن‌ها شیب منطقه را در ۵ کلاس طبقه بندی نموده‌اند. اما مطالعاتی که در ایران انجام شده‌است می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مطالعه‌ای با موضوع تحلیل خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز ماسوله با استفاده از تئوری دمپستر- شیفر[۵] و GIS توسط زارع و همکاران(۱۳۹۲) انجام شده است. بخش اساسی کاربرد تئوری دمپسر–شیفر در تحلیل خطر زمین‌لغزش، تعریف توابعی است که به ارتباط کمی بین لغزش‌های رخ داده و ورودی اطلاعاتی که در وقوع آنها موثر بوده می‌پردازد. در واقع موضوع اصلی این تحلیل جداسازی بخش‌های پرخطر منطقه در بروز لغزش‌های احتمالی در آینده با مناطقی است که کمترین احتمال وقوع لغزش را داراست. در این پژوهش از ۱۴ عامل زمین‌شناسی، شیب، جهت‌شیب، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از آغل دام، شاخص قدرت رودخانه، شاخص ترکیب توپوگرافی، وضعیت مرتع، بافت خاک، بارندگی و کاربری اراضی به عنوان موارد تاثیر گذار در نظر گرفته شده است. در این مطالعه تجزیه تحلیل حاصل از مدل دمپستر – شیفر نشان داده است که سازند زمین‌شناسی و فاصله از آغل مهمترین موارد موثر در ایجاد پدیده لغزش در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. همچنین نتایج بدست آمده نشان داده‌است مدل دمپستر – فیشر با استفاده از ROC[۶] از دقت بالائی برای تجزیه و تحلیل خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه برخوردار بوده است. لغزش‌های رخ داده شده در محدوده مورد مطالعه این تحقیق توسط GPS ثبت شده و وارد نرم افزار GIS 9.3 شده است.

رجبی و همکاران(۱۳۹۴) در مطالعه‌ای تحت عنوان ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از فرایند تحلیل شبکه و شبکه عصبی مصنوعی در منطقه آذرشهر از لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت‌شیب، ارتفاع، لیتولوژی، کاربری زمین، فاصله

1 Gaussian processes regression
2 Support vector regression
3 Tonya district of Trabzon in Turkey
4 Logistic regression
5 Shafer-Dempster
6 Receiver Operating Characteristics

از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده استفاده نموده و به این نتیجه رسیدند که روش شبکه عصبی مصنوعی دقت بالاتری نسبت به تحلیل شبکه دارد. در این تحقیق از تصاویر ماهواره ای لند ست ۸ ETM+ سال ۲۰۱۴، نرم افزار گوگل ارث و مطالعات میدانی ۳۵ مورد زمین لغزش ثبت شده و در نرم افزار Arc GIS نقشه توزیع آنها تهیه شده است. همچنین مناطق با شیب کمتر از ۵ درصد به عنوان مناطق فاقد زمین لغزش در نظر گرفته شده است.

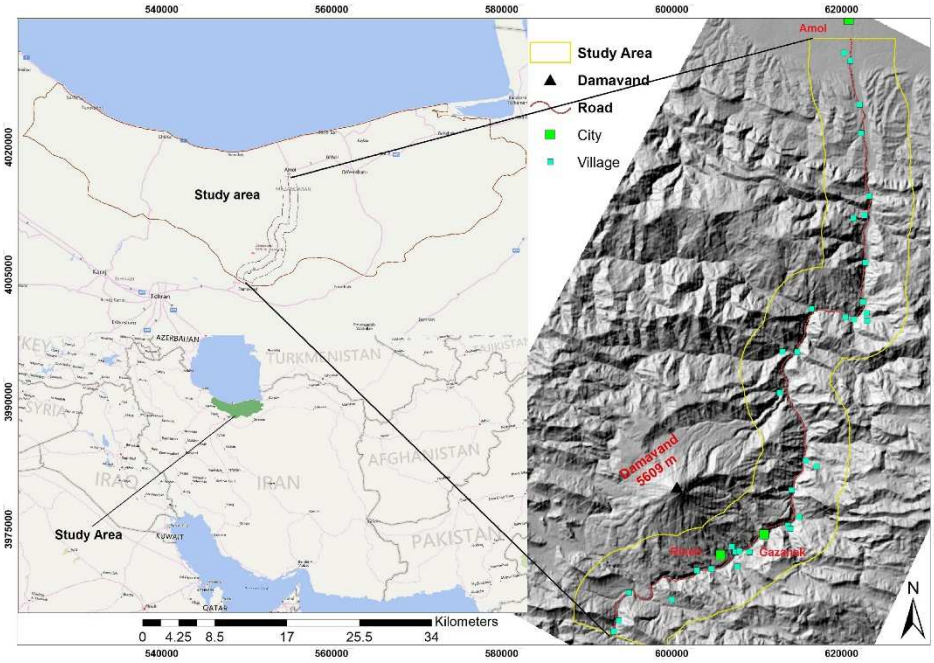
شیرانی و همکاران(۱۳۹۴) به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک در منطقه دز علیا پرداختند. اساس این روش، پهنه‌بندی بر مبنای استفاده از داده‌های وقـوع حرکات توده‌ای است. یکی از مدلهای آمـاری مناسـب جهت اجرای پهنه‌بندی براساس داده‌های موجود، استفاده از مدل رگرسـیونی می‌باشد. نتایج بدست آمده از تجزیه و تحلیل به روش رگرسیون لجستیک نشان داده است که طبقات ارتفاعی مهمترین عامل در ایجاد پدیده ریزش می‌باشد. لایه حرکات توده‌ای به عنوان متغیر وابسته، مهمترین لایه مورد استفاده در این مدل ذکر شده است. همچنین عامل سنگ‌شناسی به عنوان یکی از پارامترهای (متغیر مستقل) در ایجاد حرکات تـوده‌ای در نظر گرفته شده است. گسل نیز به عنوان کانون زلزله و همچنین عامل کنترل کننده پدیده ریزش و لغزش مورد استفاده قرار گرفته است.

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی امکان استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی (ANN)و سلسله مراتبی (AHP) برای تولید نقشه پهنه‌های حساس مرتبط با پدیده‌های ریزش و لغزش است. این بررسی در محور جاده هراز ایران انجام پذیرفته است. نتایج حاصله از این دو روش با وضع موجود منطقه که درمطالعات میدانی ثبت شده است، مقایسه گردیده است. همچنین نقاط حادثه‌خیز متاثر از پدیده‌های ریزش، لغزش و خطرات موجود با توجه به مطالعات میدانی، معرفی شده است. بدین ترتیب این پژوهش با معرفی نوع خطرات احتمالی نقاط ثبت شده، قالب کاربردی نیزخواهد داشت.

منطقه مورد مطالعه

استان مازندران در شمال ایران و در جنوب دریای خزر قرار گرفته است و جاده هراز واقع در دره هراز، قسمت میانی پهنه آن را (شهرستان آمل) به استان تهران وصل می‌نماید. جاده هراز حدفاصل شهرستان آمل تا امامزاده هاشم و به طول حدوداً ۱۰۰ کیلومتر می‌باشد. طول و عرض جغرافیائی در قسمت شمالی محدوده مورد مطالعه و منطبق بر محور جاده ۳۶درجه و ۲۵ دقیقه و ۴۸ ثانیه شمالی و ۵۲ درجه و ۲۰ دقیقه و ۵۲ ثانیه شرقی و در قسمت جنوبی و محدوده امامزاده هاشم ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی و ۵۲ درجه و ۱ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی می‌باشد. محدوده انتخاب شده پیرامون محور جاده با در نظر گرفتن خطالراس‌های بلندی‌های مهم طرفین محور جاده بوده و عرض آن ۱۰ کیلومتر می‌باشد(شکل ۱). این محور در جوار قله دماوند با ارتفاع ۵۶۰۹ متر[1] امتداد یافته است(حاتم و همکاران ۱۳۸۵). از نظر ژئومورفولوژیکی این محور در واحد شمالی رشته‌کوه البرز قرار گرفته است. دامنه‌های شمالی البرز در همه جا مشرف به جلگه خزر بوده و شیب تندی دارد. واحدهای نئوژن شمالی و یال شمالی مهمترین بخش مرتبط با محور جاده هراز است. واحد نئوژن شمالی شامل کمربند چین خورده‌ای از سنگ‌های رسوبی دوران دوم و سوم، مخصوصا نئوژن بوده که توسط رخساره‌های مولاس دنبال می‌شود. واحد یال شمالی که قسمت مهمی از ساختمان رشته کوه البرز را تشکیل می‌دهد از رسوبات پالئوزوئیک و مزوزوئیک تشکیل یافته که ساختمان آن به صورت دیوارهای ممتد است. همچنین بلندترین ارتفاعات رشته‌کوه در آن واقع شده است(علایی طالقانی، ۱۳۸۸).

۱سازمان نقشه برداری جمهوری اسلامی ایران



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

در این پژوهش با توجه به مطالعات میدانی و نظرات کارشناسی از ۸ عامل تاثیرگذار جهت پهنه‌بندی ریزش و لغزش استفاده شده است. این عوامل عبارتند از شیب، جهت شیب، نقشه ارتفاع رقومی (DEM)، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و فاصله از راه. نقشه رقومی ارتفاعی استفاده شده دارای حد تفکیک ۱۰ متری بوده که لایه‌های شیب و جهت شیب نیز منطبق بر آن تهیه شد. نقشه زمین‌شناسی و کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت. نقشه گسل و آبراهه ابتدا از نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج شده و سپس لایه وکتوری آن در GIS تهیه گردید. لایه‌های خطی پس از فاصله‌سازی با حد تفکیک[1] ۱۰ متری به لایه های رستری تبدیل گردید. نقاط لغزشی از نقشه لغزش‌های کشور استخراج شده و پهنه‌های هر یک به صورت میدانی مشخص شدند. قابل ذکر است که بخش مربوط به مطالعه میدانی به صورت پایش انجام پذیرفت. بدین صورت که در هرنقطه‌ای که احتمال ریزش و لغزش در آنها بالا بود، مشخصات زمین‌شناسی، پوشش‌گیاهی، وجود گسل و آبراهه، میزان هوازدگی و بلوک‌های ریزشی، مواد سطحی و فاصله سطوح شیب‌دار از محور جاده ثبت و با عکس‌برداری مستندسازی می‌شد. همچنین لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده، در این مرحله از تحقیق مورد صحت‌سنجی و تدقیق قرار گرفت.

مطالعه میدانی با رویکر کاهش ریسک پس از مطالعه اسناد علمی و کتابخانه‌ای و شناخت و آگاهی از وضعیت منطقه انجام پذیرفت. در بازدیدهای میدانی که با رویکرد کاهش ریسک انجام پذیرفت نحوه برداشت به صورت جدول بوده که نمونه‌ای از آن آورده شده است(جدول ۱). مطالعات میدانی در زمان‌های مختلف صورت گرفته است زیرا با توجه به اینکه تغییرات دمایی، رطوبت و بارندگی در فصول مختلف متفاوت می‌باشد، بنابر این احتمال داده شد رفتار پدیده‌هائی مانند ریزش ولغزش نیز متفاوت باشد. و این مورد موضوعی است که در حین برداشت‌های میدانی به‌دست آمد. در این مطالعه، با حرکت در امتداد محور جاده، هر نقطه‌ای که از نظر کارشناسی احتمال خطر داده شده است به همراه ویژیگی‌ها و جزئیات آن‌ها به منظور سطح بندی ثبت گردیده است. ارزیابی کارشناسی در نقاط حادثه‌خیز برای موارد زمین‌شناسی، توالی و جهت لایه‌ها، پوشش گیاهی، شیب و جهت شیب، مواد سطحی، زون‌های خرد شده، مسیل‌های سطحی و سایر موارد تاثیر گذار، لحاظ

1 pixel size

شده است. همچنین این نقاط به جهت تشخیص مطلوب‌تر در مورد سطح‌بندی آن‌ها در فواصل مکانی مختلف مورد بازدید قرار گرفته است زیرا در برخی موارد از فواصل بیشتر، دید جامع‌تری می‌توان نسبت به پدیده موجود پیدا کرد. به عبارتی در یک فاصله مشخص تمامی موارد تاثیر گذار از جمله پوشش گیاهی، لیتولوژی و مواد سطحی و نحوه استقرار آن‌ها نسبت به محور جاده را یک‌جا می‌توان در نظر گرفت. در این بخش از مطالعه مختصات نقاط متاثر از حرکات دامنه‌ای(ریزش و لغزش) به همراه جزئیات ثبت و با عکس‌برداری مستندسازی شده است. لذا بدلیل حجم بالای اطلاعات، امکان ارائه تمامی آن‌ها مقدور نمی‌باشد. به همین منظور نمونه‌ای از برداشت‌ها به همراه خروجی نهائی آورده شده است.

جدول ۱ : نمونه‌ای از مشخصات نقاط میدانی با سطح خطر و نوع و اشتراک مخاطرات

شماره نقطه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ریزش (1)	لغزش (2)	گسل (3)	رواناب (4)	انسانی (5)	سطح خطر	اشتراک موارد خطرآفرین
1	36.2889	52.36689	1	0	0	0	1	2	1,5
2	36.28797	52.36733	1	0	0	0	0	1	1
3	36.28679	52.36689	1	0	0	0	0	1	1
4	36.28392	52.36669	1	0	0	0	0	1	1
5	36.27977	52.36686	1	0	0	1	0	2	1,4
6	36.27867	52.36639	1	0	0	0	0	2	1
7	36.27741	52.36588	1	0	0	0	0	1	1
8	36.27641	52.36539	1	0	0	1	0	1	1,4
9	36.27507	52.36564	1	1	0	0	0	1	1,2
10	36.27411	52.36725	1	0	0	0	0	1	1
11	36.26294	52.37054	1	0	1	0	0	2	1,3
12	36.26106	52.37088	1	0	0	0	0	1	1
13	36.2513	52.36944	1	0	0	1	0	2	1,4
14	36.24642	52.36855	1	1	1	1	0	2	1,2,3,4
15	36.24452	52.36839	1	1	1	1	0	1	1,2,3,4

روش سلسله مراتبی[۱] (AHP)، شامل ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین معیارهای موثر بوده و ارزش هریک از عوامل موثر را در حرکت‌های دامنه‌ای(ریزش، لغزش ورواناب) مشخص می‌کند. در واقع در این روش پس از مشخص شدن معیارهای مهم در حرکت‌های دامنه‌ای، عوامل به صورت زوج با یکدیگر مقایسه شده و در ادامه هریک از آن‌ها که اثرگذاری بیشتری داشته باشد وزن بیشتری را به خود می‌گیرد. نحوه ارزش دهی در جدول ماتریس فرایند سلسله‌مراتبی به صورت اعداد فرد تک رقمی از ۹ تا ۱ (بیشترین ارزش به کمترین ارزش) انتخاب می‌شود. اعداد زوج تک رقمی نیز اولویت‌های فی ما بین را تشکیل می‌دهند(جدول ۲). با توجه به مطالعاتی که صورت پذیرفت به همراه نظرات کارشناسی، لایه زمین‌شناسی به عنوان مهمترین عامل انتخاب گردید. همچنین موارد شیب، فاصله از جاده، کاربری اراضی، فاصله‌از آبراهه، فاصله از گسل، جهت شیب و ارتفاع به ترتیب درجه اهمیت در ماتریس داده‌ها مورد لحاظ قرار گرفت(جدول ۳). پس از تشکیل جدول ارزش گذاری، برای محاسبه وزن هر یک از لایه‌ها، از نرم افزار Idrisi terrset استفاده گردید.

۱ Analytical Hierarchy process

جدول ۲: تعیین مقادیر وزن‌های عوامل موثر بر حرکات دامنه‌ای(لغزش، ریزش و رواناب)

توصیف ارزش طبقات	معادل کمی
با درجه اهمیت بسیار زیاد	۹
با درجه اهمیت زیاد	۷
با درجه اهمیت نسبتا زیاد	۵
با درجه اهمیت متوسط	۳
با درجه اهمیت نسبتا کم	۱
اولویت‌های فی ما بین	۲، ۴، ۶، ۸

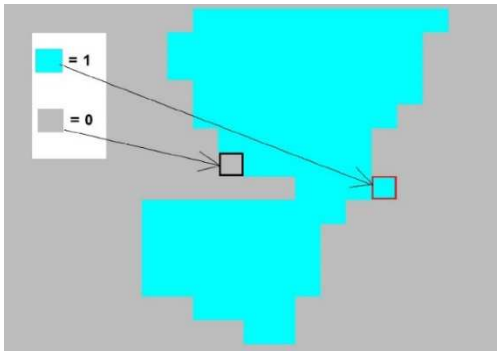
جدول ۳: ماتریس مقایسه عوامل موثر در حرکات دامنه‌ای منطقه مورد مطالعه

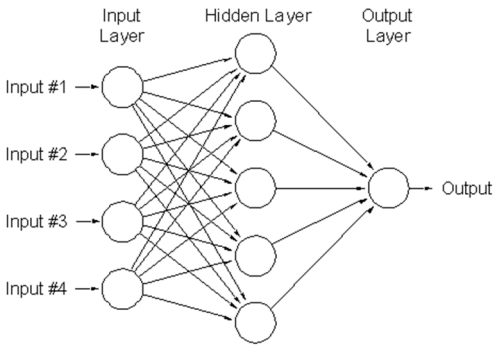
	زمین شناسی	شیب	فاصله از جاده	کاربری اراضی	فاصله از آبراهه	فاصله از گسل	جهت شیب	ارتفاع
زمین-شناسی	۱							
شیب	1/3	۱						
فاصله از جاده	1/4	1/3	۱					
کاربری اراضی	1/5	1/3	½	۱				
فاصله از آبراهه	1/3	¼	1/3	1/2	۱			
فاصله از گسل	1/5	1/5	1/3	1/3	1/3	۱		
جهت شیب	1/7	1/6	1/5	1/4	1/4	1/3	۱	
ارتفاع	1/9	1/7	1/5	1/5	1/5	1/5	1/3	۱

در روش شبکه‌های عصبی مصنوعی[1] (ANN) توسط یک سری محدود از داده‌های واقعی آموزش می‌بینند و چنانچه پارامترهای مؤثر بر پدیده مورد بررسی به صورت صحیح انتخاب و به شبکه داده شوند، می‌توان انتظار داشت که جواب‌های منطقی شبکه دریافت شود. در بیشتر موارد برای مدل‌سازی از شبکه پرسپترون (MLP) چند لایه استفاده شده است، چرا که شبکه‌ها در شناخت الگو و تابع حاکم بر مسائل غیرخطی بسیار متبحرند. شبکه عصبی پرسپترون، یک شبکه پیشرو چند لایه، شامل یک یا چند لایه ورودی، یک یا چند لایه پنهان و یک لایه خروجی است (شکل ۲). گره‌های ورودی، اطلاعات را از بیرون دریافت می‌کنند و نتایج از طریق نرون‌های لایه خروجی شبکه حاصل می‌گردد(ملکی‌نژاد و همکاران ، ۱۳۹۱). پس از ترکیب لایه‌ها[2] که با پیکسل سایز یکسان تهیه شده بود، پهنه‌هایی که در طول مسیر اثر لغزش در آن‌ها وجود داشت، پس از بررسی و کارشناسی و همچنین استفاده از نقشه لغزش‌های کشور ثبت و حدود سطح آن‌ها در GIS ترسیم

1 Artificial Neural Network
2 Combine

گردید. در ادامه پیکسل‌هائی که اثرات لغزش در آن‌ها وجود داشت ارزش ۱ و سایر پیکسل‌ها ارزش ۰ به خود گرفت(منطق بولین[۱]) و در یک ستون مجزا اعمال گردید (شکل ۳). در نهایت مدل شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون در نرم افزار اجرا IBM spss modeler common 18 شد. در این تحقیق برای جلوگیری از دخل و تصرف، لایه‌های پنهان به صورت پیش‌فرض نرم افزار انتخاب شد. ۲۵ درصد داده‌ها برای آزمایش و ۷۵ درصد داده‌ها نیز برای آموزش به نرم‌افزار معرفی گردید.





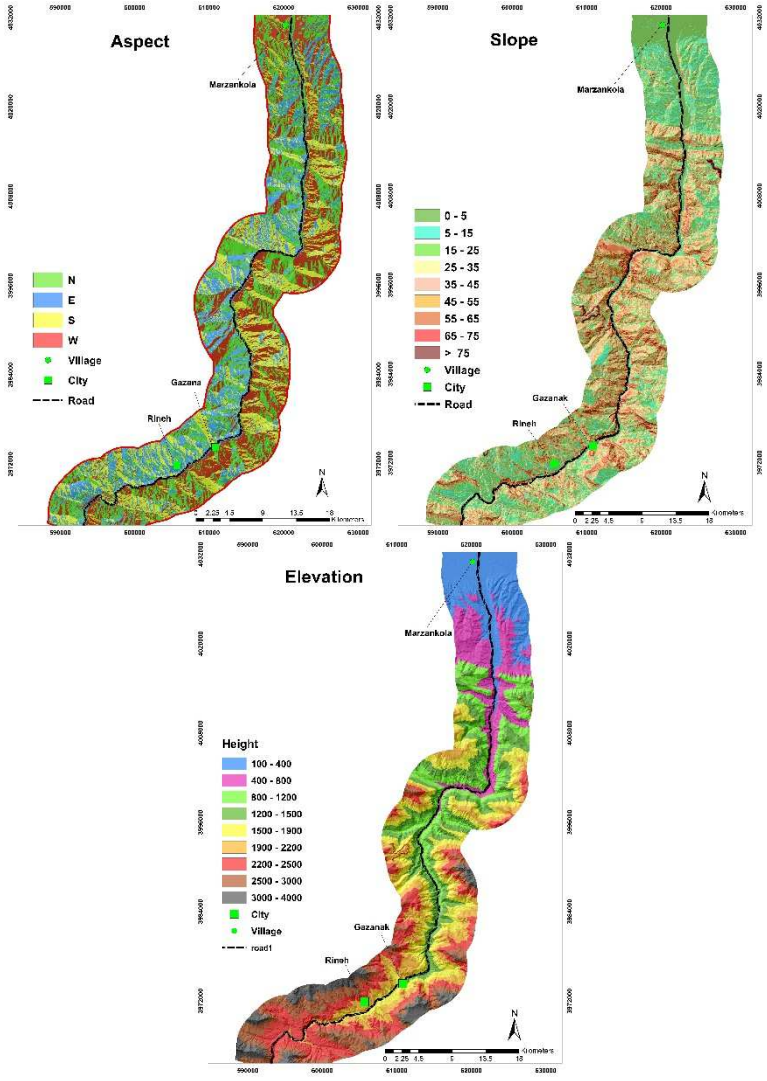
شکل ۲ : ساختار شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون (MLP) **شکل ۳ : ارزش‌گذاری به روش بولین در پهنه‌های لغزشی میدانی**

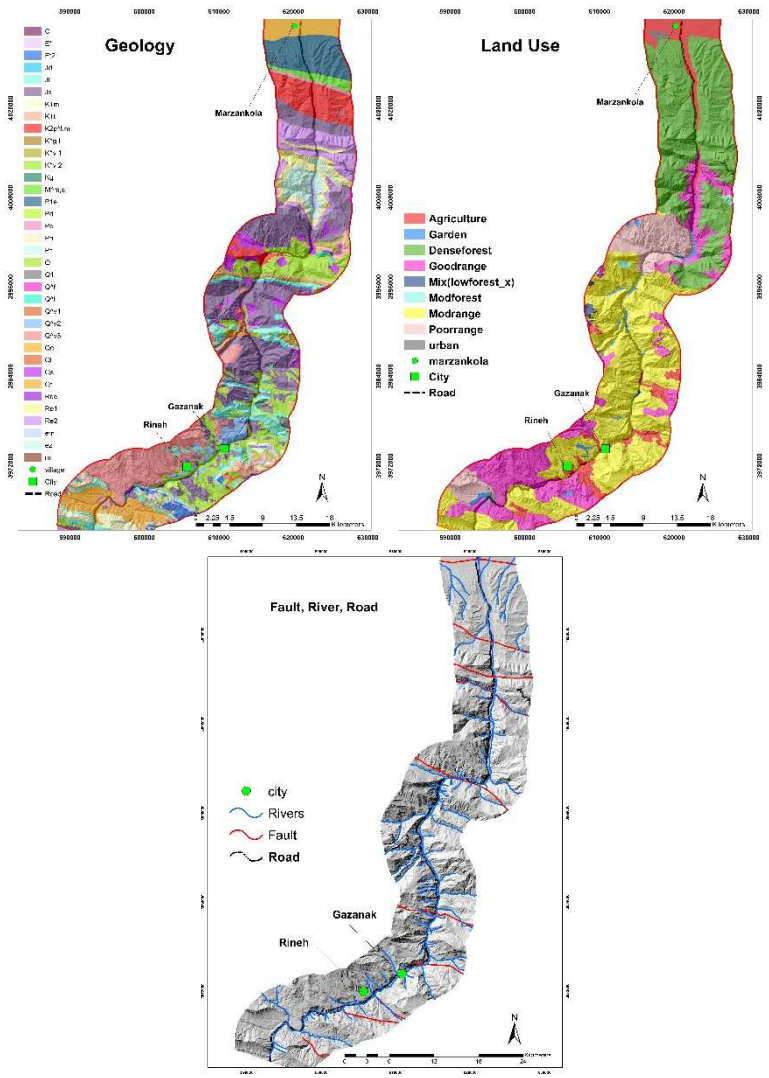
یافته های تحقیق

محدوده مورد مطالعه در ارتفاع بین ۱۰۰ متر تا ۴۰۰۰ متر متغیر و از قسمت جنوبی محدوده به سمت شمال از مقدار آن کاسته می‌شود. قله دماوند به عنوان بام ایران با ارتفاع ۵۶۰۹ متر در این مسیر، شرایط ارتفاعی محدوده را بخوبی بیان می‌کند. نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، گسل، آبراهه، کاربری اراضی و زمین شناسی به عنوان نقشه‌های اولیه به منظور تفسیر مطلوب تهیه گردید(شکل ۴). با توجه به نقشه شیب ملاحظه می‌شود که میزان شیب از ۵ درجه در قسمت‌های شمالی تا بیش از ۷۵ درجه در قسمت‌های میانی محور جاده متغیر می‌باشد. محور جاده از مناطقی عبور کرده است که اغلب سطوح مشرف بر آن از شیب قابل توجهی برخوردار می‌باشد. همچنین با ملاحظه نقشه جهت شیب می‌توان چنین دریافت که شیب پهنه‌ها به ترتیب با جهت‌های شرقی، غربی، شمالی و جنوبی قرار دارند. نکته حائز اهمیت این است که در امتداد جاده و در قسمت غربی، جهت شیب شرقی و در قسمت شرقی جهت شیب غربی بوده که بیانگر مشرف بودن پهنه‌ها به سوی محور جاده است. زمین‌شناسی منطقه در یک سوم جنوبی محدوده مورد مطالعه با فراوانی سازندهای آهکی از نوع فسیلی با رنگ تیره و به همراه ریف، سازند لار و همچنین سنگ‌آهک ضخیم روشن قابل مشاهده است که تناوب توف سبز به همراه آندزیت و شیل را نیز دارد. در یک سوم میانی منطقه آبرفت‌های کواترنری، توف بازالتی و شیل‌های خاکستری به همراه ماسه‌سنگ‌ها فراوانی دارد. در یک سوم شمالی محدوده سنگ‌های آهکی ضخیم مانند لار که در برخی مناطق خرد شدگی دارد وجود دارد اما با تغییر مورفولوژی منطقه مارن و کنگلومرا که در ادامه با درصد بالای رس و سیلت همراه می‌شوند، مواد زمین‌شناسی را تشکیل می‌دهند. تعدا گسل‌های مهم در منطقه ۸ مورد بوده که می‌توان ازآن‌ها به گسل معروف خزر اشاره کرد. بیشتر پوشش گیاهی منطقه از نوع مرتع بوده که در قسمت میانی محدوده کم پوشش وتنک شده و با گذر به سمت شمال منطقه به شکل جنگل تغییر شکل می‌دهد. آبراهه‌ها و مسیل‌های زیادی از دامنه‌ها به سمت خط‌القعر که دره‌هراز می‌باشد و رود هراز نیز در آن جریان دارد سرازیر می‌شوند وجود قله مرتفع دماوند که اغلب مواقع پوشیده از برف می‌باشد در کنار نزولات جوی مناسب در این محدوده موجب شده است رود هراز یک رود دائمی باشد. با

۱ Boolean logic

مطالعه مسیل‌ها و آبراهه‌ها ملاحظه می‌شود محدوده مورد مطالعه از زهکشی قابل توجهی برخوردار است که در نهایت به صورت آب روان با توجه به مورفولوژی منطقه در بستر رود هراز نمایان می‌شوند.





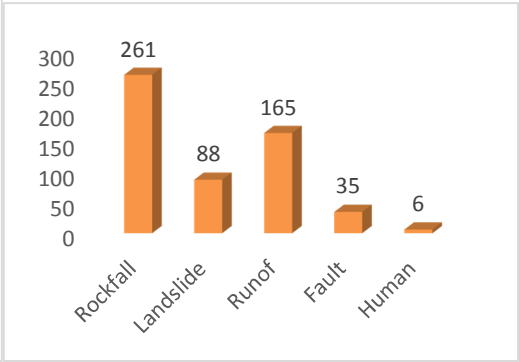
شکل ٤ : نقشه‌های ارتفاع، شیب، جهت‌شیب، زمین‌شناسی، کاربری‌اراضی، گسل، آبراهه و راه

مطالعه میدانی

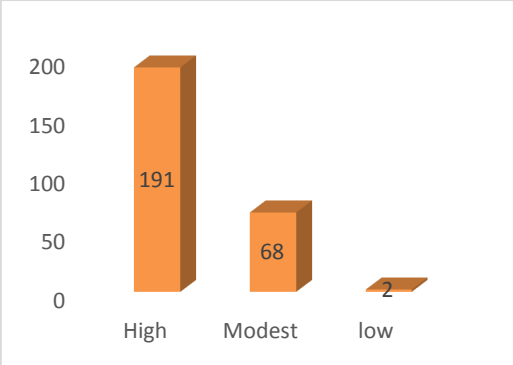
فاصله نقاط حادثه خیز در برداشت‌های میدانی نسبت به هم کم و در حدود ۳۰۰ متر بدست آمده است. با توجه به فاصله کم نقاط حادثه خیز از پهنه‌بندی سطوح پر خطر صرف‌نظر شده و تراکم این نقاط خود معرف پهنه‌های با سطح خطر بالا می‌باشد. در این مطالعه ۲۶۱ مورد نقطه حادثه‌خیز برداشت شد و مشخصات کلی آن‌ها به صورت نمودار تهیه گردید. با بررسی نقاط پرخطر متاثر از ریزش و لغزش و بررسی‌های کارشناسی، این نقاط در سه سطح ریسک بالا، ریسک متوسط و ریسک کم سطح‌بندی شده و در محیط GIS نقشه خطر مربوطه تهیه گردیده است. با مشخص شدن میزان خطر تاثیرگذار هر یک از عوامل خطرآفرین و همچنین اشتراک آن‌ها در نقاط، شناخت مخاطرات محتمل بر محور جاده و همچنین مدیریت مخاطرات میسر می‌شود. تعداد نقاط ثبت شده با ریسک بالا ۱۹۱ مورد، ریسک متوسط ۶۸ مورد و ریسک کم تنها ۲ مورد می‌باشد (نمودار ۱). بیشترین خطر محتمل بر محور جاده از نظر فراوانی مربوط به ریزش[1] بوده که در تمامی ۲۶۱ نقطه ثبت شده وجود دارد. در رتبه بعدی رواناب با تعداد ۱۶۵ مورد قرار دارد. لازم به ذکر است رواناب‌های حین بارندگی در سطوح شیب‌دار مشرف بر محور جاده، هم به طور مستقل ایجاد خطر می‌کنند و هم مواد ریزشی را از بالادست‌ها به سمت پائین هدایت می‌کند. احتمال زمین لغزش به همراه زمین‌لغزش‌های رخ داده شده با ۸۸ مورد نقطه ثبت شده و وجود گسل

1 Rockfall

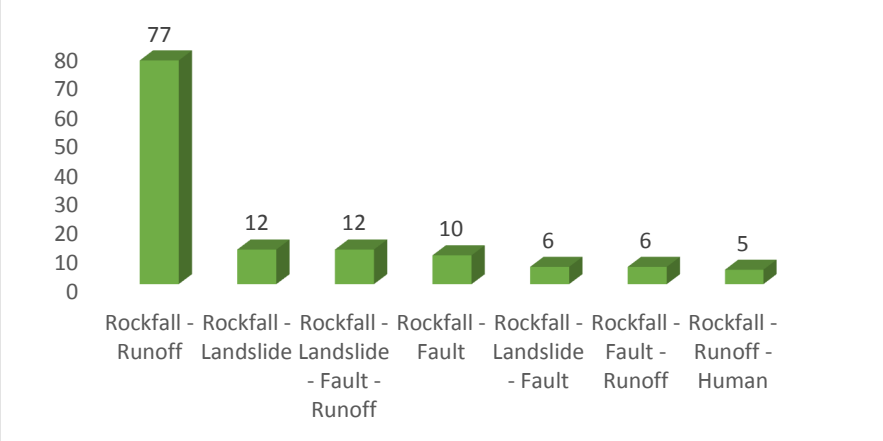
نیز با ۳۵ مورد در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند(نمودار ۲). با توجه به اینکه منطقه از نظر تکتونیکی فعال می‌باشد بنابراین خردشدگی سنگ‌ها و سازندهای سخت در مناطق گسلی بیشتر نمود پیدا کرده و در ایجاد پدیده‌های ریزش و لغزش می‌تواند نقش موثری داشته باشد. در ۶ مورد نیز موارد انسانی میزان خطر را بر محور جاده افزایش داده است که این مورد نیز ثبت گردید. نکته قابل تامل با توجه به مطالعات میدانی انتقال مواد ریزشی از بالادست‌ها و خطالراس‌ها می‌باشد که در اثر هوازدگی و خردشدگی توسط رواناب‌ها، اثرات لرزه‌ای، بارندگی‌ها و توفان‌ها به سمت پائین‌دست هدایت شده و خطراتی را بر محور جاده تحمیل می‌نمایند. همچنین موارد زمین‌لغزشی با اینکه از نظر فراوانی تعداد کمتری را نسبت به ریزش دارا می‌باشند اما در صورت رخداد، با در نظر گرفتن ابعاد آن‌ها میزان خطر بالاتری را نسبت به سایر موارد ایجاد خواهند کرد. بیشترین تعداد از نظر اشتراک موارد خطرآفرین مربوط به ریزش و رواناب می‌باشد و رابطه این دو مورد به طور قابل ملاحظه‌ای معنی‌دار است. زمین‌لغزش و ریزش سنگ نیز به طور مشترک در ۱۲ مورد از نقاط ثبت شده مشاهده می‌شود. همچنین زمین‌لغزش، ریزش‌سنگ، رواناب و وجود گسل در ۱۲ مورد از نقاط ثبت شده اشتراک دارند. این نمودار می‌تواند در آگاهی از نوع عوامل خطرآفرین با جهت برطرف کردن خطرات محتمل و انتخاب تجهیزات موثر واقع شود (نمودار ۳). با توجه به تنوع سازندهای زمین‌شناسی و مورفولوژی منطقه و همچنین مواد سطحی، در طول محور جاده مواد ریزشی و لغزشی نیز دارای تنوع زیادی است(شکل ۵). در نهایت تمامی نقاط با سطح خطر آنها بر روی سایه روشن[۲] منطقه مورد مطالعه جانمائی شده و به صورت نقشه تهیه گردید(شکل ۶). محل‌هائی که نقاط پرخطر در آن‌ها تراکم قابل توجهی دارند می‌توانند به عنوان پهنه‌های پرخطر معرفی شوند. با تقسیم تعداد نقاط بر طول محور جاده ملاحظه می‌گردد، هر ۴۰۰ متر یک نقطه خطر وجود دارد و این موضوع نشان‌دهنده پرخطر بودن این محور می‌باشد.



نمودار ۱: سطح خطر و فراوانی مخاطرات در نقاط ثبت شده



نمودار۲: فراوانی موارد مخاطره آمیز در نقاط ثبت شده میدانی

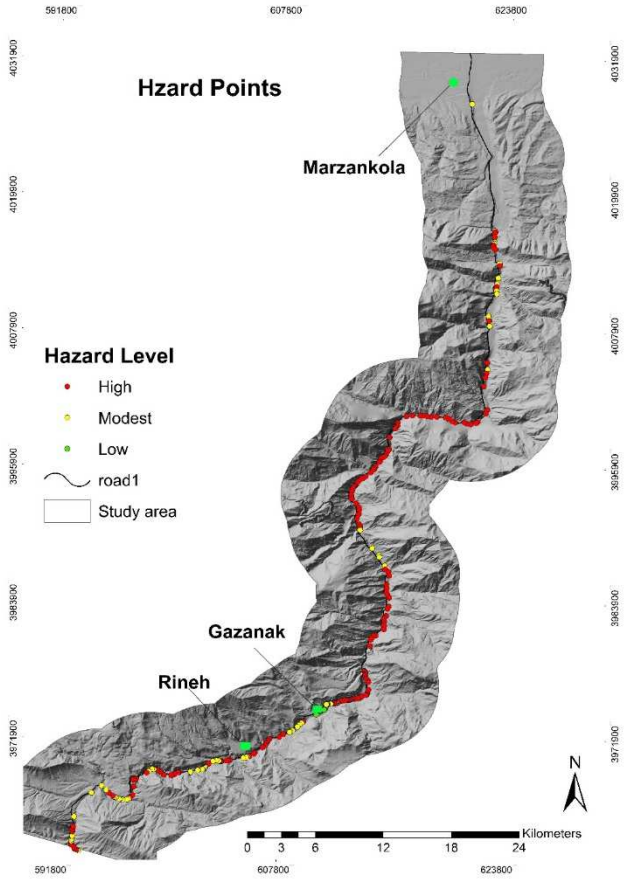


نمودار ۳: اشتراک موارد مخاطره‌آمیز موجود در نقاط ثبت شده میدانی

2 Hillshade

با توجه به نقشه نقاط مخاطره‌آمیز میدانی ملاحظه می‌گردد، نقاط ثبت شده در بیشتر مناطق و در طول محور جاده پراکنش دارد که در برخی از محدوده‌ها به صورت متمرکز و با فاصله کمی نسبت به هم قرار گرفته‌اند. نقاط میدانی در واقع معرف پهنه‌های مستعد خطر متاثر از پدیده‌های لغزش و ریزش می‌باشند. بنابراین پهنه‌های حساس لغزشی و ریزشی در این نقشه قابل تشخیص بوده و می‌تواند به عنوان معیار اصلی برای مقایسه با مدل‌های تحلیل شبکه عصبی مصنوعی و فرآیند سلسله مراتبی مورد لحاظ قرار گیرد. ملاحظه می‌گردد که تمرکز نقاط پرخطر با درجه خطر بالا در دو منطقه و در قسمت میانی محور جاده قابل ملاحظه است و از بعد اعمال تمهیدات در جهت برطرف کردن مسائل مرتبط نسبت به سایر مناطق دارای اولویت می‌باشند. در ادامه یادآور می‌شود نقاط با خطر متوسط نیز نیاز به توجه داشته و می‌توان از آن‌ها به عنوان نقاط تامل‌برانگیز نیز یاد کرد. به عبارتی احتمال خطر در آن‌ها نیز وجود داشته اما در مقایسه با نقاط پر خطر از درجه‌اهمیت نسبتا کمتری برخوردار می‌باشند.

شکل ۵: وضعیت زمین‌شناسی سطحی، پوشش‌گیاهی، شیب و موقعیت جاده و پهنه‌های مخاطره‌آمیز



شکل ٦: نقشه نقاط میدانی مخاطره‌آمیز با درجه خطر

روش سلسله مراتبی(AHP)

در روش AHP پس از مشخص شدن پیشگامی عوامل موثر، ماتریس داده‌ها تشکیل و وزن لایه‌ها در نرم‌افزار Idrisi tersest به دست آمد. در این روش بیشترین تاثیر مربوط به زمین‌شناسی با ضریب لایه ۰,۳۴۵ و کمترین تاثیر مربوط به ارتفاع با ضریب ۰,۰۲۰۳ می‌باشد(جدول ۵). شاخص محاسبه شده در این روش ۱ حاصل شد که نشان‌دهنده قابل قبول بودن ارزش گذاری می‌باشد. سپس وزن هر یک از لایه‌ها جهت تولید نقشه پهنه‌های حساس در GIS اعمال و نقشه نهائی تولید و نقاط میدانی ثبت شده جهت مقایسه بر روی آن جانمائی شد(شکل ۷). با مشاهده نقشه مربوطه ملاحظه می‌شود، بیشترین حساسیت در قسمت جنوبی محدوده است و این حساسیت در جهت حرکت به سمت شمال کاهش می‌یابد. حساسیت لغزش در این روش بیشتر در شیب‌های ۲۰ تا ۳۵ درجه و در جهت‌های به ترتیب شمال، شرق، غرب و جنوب می‌باشد. همچنین با توجه به نقشه ملاحظه می‌گردد با حرکت به سمت شمال محدوده، پهنه بحرانی از محور جاده فاصله پیدا می‌کند. قسمت‌های مرتفع کناره‌های دره‌هراز که محور جاده نیز در آن امتداد یافته است، بیشترین حساسیت را در ایجاد لغزش دارا می‌باشند. این موضوع را می‌توان چنین تفسیر نمود، در مناطق مرتفع که میزان شیب بالا است و با توجه به اینکه لایه شیب پس از لایه زمین‌شناسی از ضریب بیشتری نسبت به سایر موارد برخوردار است در نتیجه نهائی تاثیر گذاشته و در معرفی این مناطق به عنوان پهنه‌های با حساسیت بالا نقش بیشتری داشته است. این مورد از دیدگاهی می‌تواند درست باشد. در واقع با توجه به اینکه مناطق مرتفع (خط‌الراس‌ها) از پوشش‌گیاهی کمتری برخوردار است. همچنین هوازدگی به همراه خردشدگی در سنگ‌های بزرگ و سازندهای سخت در مناطق مرتفع بیشتر است، بنابراین می‌تواند محل تولید اولیه مواد لغزشی قلمداد شود. با مواردی که ذکر گردید در کنار تاثیرات طوفان‌ها، رعدو برق‌ها، اثرات لرزه‌ای و رواناب‌های سطحی بیشترین تحرکات لغزشی در قسمت‌های هرم پهنه‌ها با شیب بالا منطقی به نظر می‌آید. محدوده‌های

نزدیک به محور جاده در روش تحلیل سلسله مراتبی از درجه‌اهمیت کمتری نسبت به مناطق بالادست برخوردار است. اما این امر بدیهی است که این مواد بر روی پهنه‌های نزدیک به محور جاده نیز از نظر تحرکات فعال باشند.

Model Results

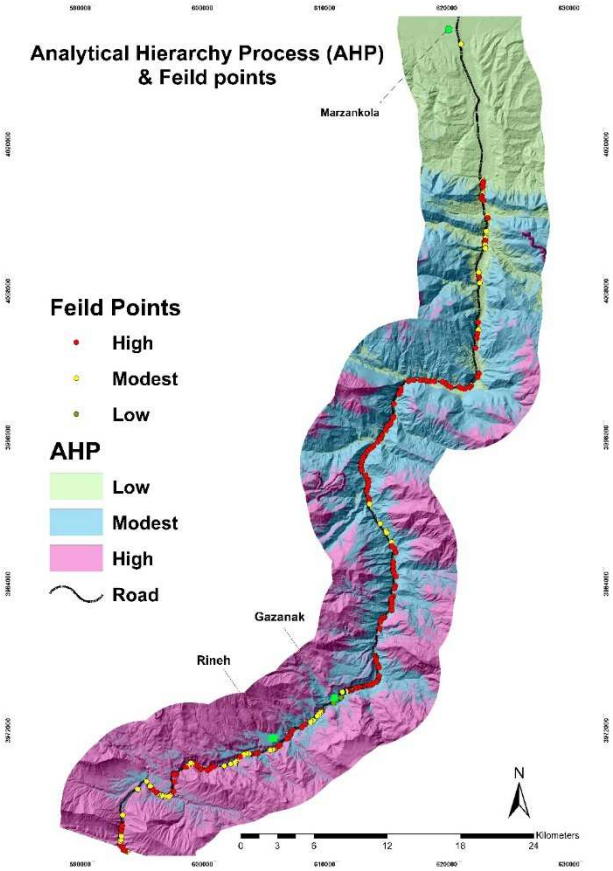
The eigenvector of Weights is:

Geology	0.3450
Slope	0.2289
Road	0.1350
Land use	0.1003
River	0.0852
Fault	0.0541
Aspect	0.0312
Height	0.0203

Consistency Ratio = 0.07

Consistency is Acceptable.

جدول ۵: وزن نهائی عوامل موثر در حرکات دامنه‌ای جاده هراز به روش سلسله مراتبی(AHP)

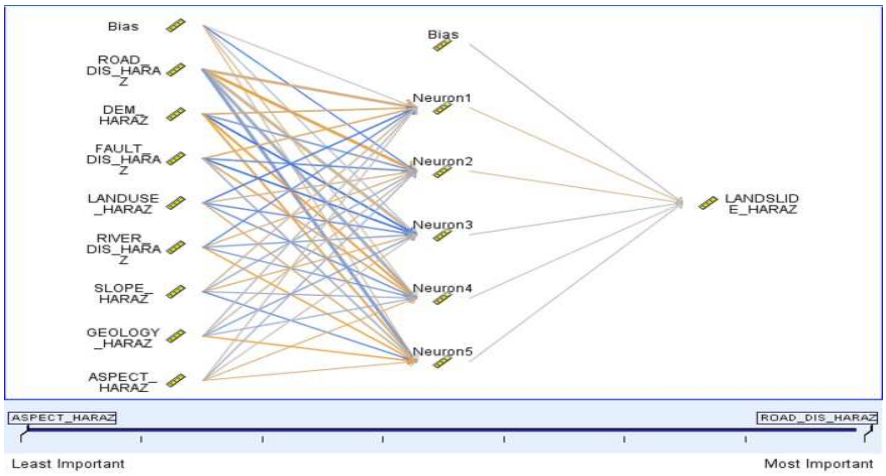


شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی خطر ریزش و لغزش به روش سلسله مراتبی(AHP)

روش شبکه عصبی مصنوعی

پس از آموزش توسط مناطق لغزشی در این روش میزان تاثیر هریک از لایه‌ها برای تهیه نقشه پهنه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی مشخص گردید. روش استفاده لایه‌ها در این پژوهش 8-5-1 می‌باشد، یعنی شامل ۸ لایه ورودی، ۵ لایه پنهان و یک لایه خروجی یا هدف می باشد(شکل ۸). بیشترین تاثیر در تحلیل‌های روش شبکه عصبی مصنوعی مربوط به لایه

فاصله از جاده با ضریب 0.3577 بدست آمد. موارد ارتفاع(0.1574)، فاصله از گسل(0.1372)، کاربری اراضی(0.105)، فاصله از آبراهه(0.0714)، شیب(0.0661)، زمین‌شناسی(0.0631) و جهت شیب(0.0243) از نظر میزان تاثیر به‌ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند(جدول ۶). پس از تجزیه و تحلیل، نرم افزار یک خلاصه گزارش در اختیار کاربر می‌گذاردکه با ملاحظه آن می‌توان دقت و عملکرد تجزیه و تحلیل را بررسی نمود(شکل ۹). میزان خطا در این روش ۸ درصد بوده و این مقدار خطا قابل قبول بودن تجزیه و تحلیل را نشان می‌دهد. یادآور می‌شود با توجه به این که در روش شبکه عصبی مصنوعی از پهنه‌هائی که در آن‌ها اثر لغزش وجود دارد به عنوان مناطق آموزشی استفاده می‌شود و سایر مراحل تجزیه و تحلیل بدون دخالت کاربر انجام می‌پذیرد، بنابراین نتایج نهائی نیز از واقعیت منطقه پیروی می‌نماید. پس از اینکه میزان تاثیر گذاری هر یک از لایه‌ها مشخص گردید، در محیط GIS اعمال ریاضی آن‌ها انجام پذیرفت و در نهایت نقشه پهنه‌بندی لغزش و ریزش با جانمائی نقاط ثبت شده میدانی تهیه گردید(شکل ۱۰). بیشترین حساسیت لغزش در نقشه حاصل از این روش در شیب‌های بین ۲۰ تا ۴۵ درجه، و با جهت به ترتیب غرب، شمال، شرق و جنوب نشان داده شده است. از نکات قابل توجه در نتایج بدست آمده از این روش این مورد می‌باشد که عامل زمین‌شناسی از تاثیر کمتری برخوردار بوده است. این موضوع با توجه به این‌که در مطالعات میدانی نیز مورد توجه قرار گرفته بود از اعتبار بالائی برخوردار است. سازندهای زمین‌شناسی و مواد سطحی در محدوده مورد مطالعه از تنوع قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. با توجه به اینکه پهنه‌های لغزشی در نقاط مختلف وجود دارد و نوع زمین‌شناسی در آن‌ها متفاوت است، بنابراین تاثیرگذاری کم عامل زمین شناسی در نتایج بدست آمده از تجزیه تحلیل‌های شبکه عصبی مصنوعی توجیه‌پذیر است. ملاحظه می‌شود عامل ارتفاع پس از محور جاده بیشترین تاثیر را در مناطق با حساسیت بالا دارد. همان‌گونه که قبلا نیز ذکر شد محل تولید مواد مستعد حرکت توده‌ای دامنه‌ای از نوع لغزش و ریزش در قسمت‌های مرتفع و در خطالراس‌ها می‌باشد، پس انتظار می‌رود دامنه‌های خطالراس‌ها بیشترین تحرکات را از نظر حمل مواد لغزشی و ریزشی داشته باشد.

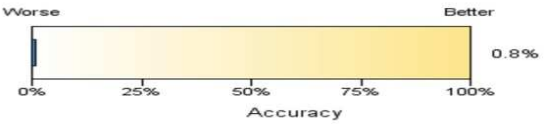


شکل ۸: نحوه عملکرد روش شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون در نرم افزار Spss modeler

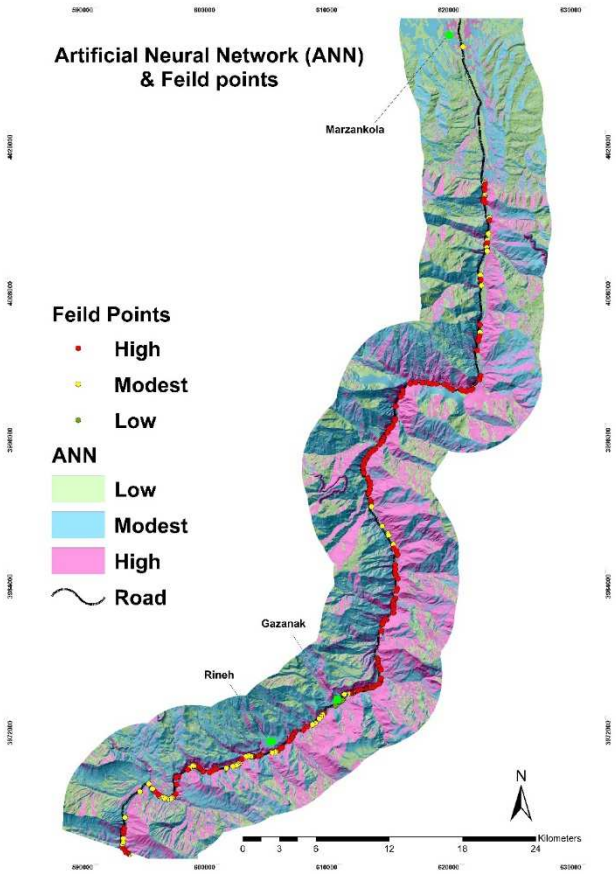
Nodes	Importance
ASPECT_HARAZ	0.0243
GEOLOGY_HARAZ	0.0631
SLOPE_HARAZ	0.0661
RIVER_DIS_HARAZ	0.0714
LANDUSE_HARAZ	0.105
FAULT_DIS_HARAZ	0.1372
DEM_HARAZ	0.1574
ROAD_DIS_HARAZ	0.3755

Model Summary

Target	LANDSLIDE_HARAZ
Model	Multilayer Perceptron
Stopping Rule Used	Minimum relative change in error achieved
Hidden Layer 1 Neurons	5



جدول ٦: وزن نهائی عوامل موثر در ریزش و لغزش به روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) شکل ۹- خلاصه گزارش به همراه درصد خطا در نرم افزار Spss modeler



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی خطر به روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

نتیجه گیری

با شناسائی نقاط حادثه‌خیز وخطرات موجود در آن‌ها و همچنین بررسی‌های میدانی راهکارهای مطمئن‌تر و واقع بینانه‌تری در خصوص کاهش ریسک مخاطرات مرتبط با ریزش و لغزش می‌توان ارائه نمود. ثبت محل دقیق نقاط متاثر از پدیده‌های لغزش و ریزش و ترسیم دقیق پهنه‌های مربوط به آن‌ها در مطالعات میدانی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی از نظر صرف هزینه و زمان موثر واقع شود. با توجه به تعداد بالای نقاط حادثه‌خیز متاثر از ریزش و لغزش، این محور به عنوان یک جاده پرخطر و بحرانی معرفی می‌گردد. با بررسی‌هائی که بر روی داده‌های میدانی و نتایج حاصل از روش‌های سلسله مراتبی و شبکه عصبی مصنوعی به‌عمل آمد، ملاحظه گردید که پهنه‌های حساس لغزشی بدست آمده با روش شبکه عصبی مصنوعی، با وضع موجود به خصوص در حاشیه نزدیک محور جاده انطباق و همخوانی بیشتری نسبت به روش سلسله مراتبی دارد. نقشه حاصل از تحلیل شبکه عصبی مصنوعی، پهنه‌های باخطر بالا را از ابتدای محور تا انتهای آن به صورت منطقی نمایان می‌کند. به طوری‌که تحت تاثیر تراکم ارتفاعات و عرض دره اصلی قرار نگرفته است. بنابراین نقاط ثبت شده در مطالعات میدانی و پهنه‌های پرخطر متاثر از لغزش حاصل از تحلیل شبکه عصبی مصنوعی از همخوانی و انطباق مطلوبی برخوردار می‌باشد. با توجه به اینکه بخشی از هدف این پژوهش ارزیابی و مقایسه دو روش AHP و ANN می‌باشد، می‌توان چنین شرح داد که روش شبکه عصبی مصنوعی از دقت بالاتری برخوردار بوده و می‌تواند در مناطق مشابه کاربرد مناسب‌تری داشته باشد.

در انتها پیشنهاداتی در راستای کاهش ریسک متاثر از پدیده‌های ریزش و لغزش برای محور جاده هراز ارائه می‌گردد که عبارتند از:

- پایش دائمی محور جاده می‌تواند در کاهش ریسک مخاطرات ریزشی و لغزشی موثر باشد
- مطالعه ژئوفیزیکی در نقاط لغزشی به جهت مشخص نمودن ضخامت لایه‌های لغزشی و مرز لایه‌های سخت زیرین
- زهکشی مناسب در مناطق لغزشی به جهت جلوگیری از کاهش اصطکاک مواد لغزشی و سطح سخت زیرین
- افزایش فاصله جانبی سطوح شیبدار و ترانشه‌ها از محور جاده
- پاک‌سازی مواد ریزشی از سطوح شیبدار مشرف بر محور جاده
- مطالعه ومعرفی راه جایگزین در صورت انسداد محور جاده

منابع

- اسفندیاری درآباد، فریبا، گلمرادی، غلامرضا، پیروزی، الناز، ۱۳۹۱، ارزیابی ایمنی جاده‌ای با رویکرد مخاطرات محیطی در محور ارتباطی خلخال – پونل، اولین کنفرانس ملی جغرافیا، گردشگری،منابع طبیعی و توسعه پایدار.
- – برنا، رضا ، محمدی، حسن، ثروتی، محمد رضا، ۱۳۸۹، ارزیابی سوانح و ایمنی حمل و نقل جاده‌ای با رویکرد مخاطرات اقلیمی در محور کرج – چالوس، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، علمی– پژوهشی، سال هفتم شماره ۲۵، ص ۶۴ – ۵۳.
- بلواسی، ایمانعلی، رضائی‌مقدم، محمد حسین، نیکجو، محمد رضا، ولی زاده کامران، خلیل، ۱۳۹۴، مقایسه مدل شبکه-عصبی‌مصنوعی با فرایند سلسله‌مراتبی در ارزیابی خطر زمین‌لغزش. دانش مخاطرات، دوره۲، شماره ۲، تابستان، ص ۲۵۰ – ۲۲۵.
- رجبی، معصومه، ولی‌زاده‌کامران، خلیل ، عابدی‌قشلاقی، حسین، ۱۳۹۵، ارزیابی و پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه و شبکه عصبی مصنوعی، مطالعه موردی:حوضه آذرشهر چای. پژوهش ژئومورفولوژی کمی، سال پنجم شماره۱ ص ۷۴ – ۶۰.

- -زارع، محمد، جوری، محمدحسن، عسکری زاده، دیانا، سالاریان، تینا، فخرقاضی، مونا، ۱۳۹۲، تحلیل خطر زمین لغزش در حوزه آبخیز ماسوله با استفاده از تئوری دمپستر- شیفر و *GIS*. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال هفتم، شماره ۱۳، ص ۲۱۷ – ۲۰۹.
- -شیرانی، کورش، عرب عامری، علیرضا،۱۳۹۴ پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از روش رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: (حوضه دز علیا). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال نوزدهم، شماره هفتادودوم.
- -طالبی، علی، متولی، علیرضا، ۱۳۹۵، بررسی زمین‌لغزش‌های طبیعی و حاشیه جاده با استفاده از مدل فرایند محور پایداری سطحی دامنه، مطالعه موردی محدوده محور ساری – کیاسر. فصلنامه زمین‌شناسی ایران، دوره ۱۰ شماره ۳۷ ص ۱۳ – ۱.
- علایی طالقانی، محمود، ۱۳۸۸، ژئومورفولوژی ایران، انتشارات قومس، تهران
- متشرعی، آرش ، قمی، جعفر افتخاری، اکرم ، پوزش، بهروز ، شاهمری، مهدی، ۱۳۹۱، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش بر روی جاده تهران – چالوس و بزرگراه در دست احداث. فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، سال ۸ شماره ۲ ص ۱۵۲ – ۱۴۷.
- مختاری، داود،۱۳۸۸ ، آثار ژئومورفیکی عملیات راهسازی در مناطق حساس ژئومورفولوژیک مطالعه موردی: راه روستائی اردلان در شمال‌غرب ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۰ ،شماره پیاپی ۳۶ ،شماره ۴، زمستان ۱۳۸۸ ص ۱۷-۴۲.
- مرادی، حمید رضا، محمدی، مجید، پورقاسمی، حمید رضا ، فیاض‌نیا، سادات ، ۱۳۸۹، تحلیل و برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند سلسله مراتبی در بخشی از جاده هراز، مدرس علوم انسانی – برنامه‌ریزی و آمایش فضا، دوره ۱۴، شماره ۲، ص ۲۴۷-۲۳۴
- ملکی‌نژاد، حسین، پورشرعیاتی، ربابه،۱۳۹۱، کاربرد و مقایسه مدل سری زمانی تجمعی و مدل شبکه عصبی مصنوعی در پیشبینی تغییرات سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت مروست). علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۶ ،شماره ۳ ، ص ۹۲ – ۸۱.
- -وظیفه‌دوست، مجید، لاله سیاه، میترا، ۱۳۹۲، تحلیل مکانی و زمانی بلایای جوی موثر بر حمل و نقل جاده‌ای کشور ، پژوهشنامه حمل و نقل، سال دهم، شماره سوم، صفحه ۳۶۴-۳۵۱.
- -یمانی، مجتبی ، شمسی‌پور، علی اکبر ، گورابی، ابوالقاسم ، رحمتی، مریم، ۱۳۹۳، تعیین مرز پهنه‌های خطر زمین‌لغزش در مسیر آزادراه خرم‌آباد- پل زال با روش سلسله مراتبی_فزی. نشریه حقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم شماره ۳۲ ص ۴۴ – ۲۷.
- *-Ahmad, M, Umrao, R.K, Ansari, M.K, singh, R, singh, T.N, 2013, Assesment of Rockfall Hzard along the road cut slopes of state highway-72 Maharashtara – India. Geomaterials, 3, 15-23*
- *Colkesen, I, Kutlug Sahin, E, Kavzoglu,T, 2016, Susceptibility mapping of shallow landslides using kernel-based Gaussian process, support vector machines and logistic regression. Journal of African Earth Sciences 118 53e 64.*
- *Mahmudi torkashvand, A, Irani, A, Sorur, J., 2014, The preparation of landslide map by Landslide Numerical Risk Factor (LNRF) model and Geographic Information System (GIS). The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science.Volume 17, Pages 159-170.*
- *Masuya, H, Amanuma, K, Nishikawa, Y, and Tsuji, T., 2009, Basic rockfall simulation with consideration of vegetation and application to protection measure, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 9, 1835-1843.*

- *-Myronidis, D., Papageorgiou, C. ,Theophanous, S., 2016, Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP), Natural Hazards: Journal of the International Society for the Prevention and Mitigation of Natural Hazards, vol. 81, issue 1, 245-263*
- *- Pineda, M. C, Viloria, J, Martínez-Casasnovas , J. A., 2016, Landslides susceptibility change over time according to terrain conditions in a mountain area of the tropic region, Environmental Monitoring and Assessment, 188:255*
- *Pradhan, B, Lee, S, 2007, Utilization of Optical Remote Sensing Data and GIS Tools for Regional Landslide Hazard Analysis Using an Artificial Neural Network Model. Earth Science Frontiers, 14(6): 143–152.*
- *- Wang, H. B, Li, J. M, Zhou, B, Zhou, Y, Yuan, Z. Q, Chen, Y. P,2017, Application of a hybrid model of neural networks and genetic algorithms to evaluate landslide susceptibility, Geoenvironmental Disasters 4:15.*