دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به‌روش تراکم سطح و تحلیل سلسله مراتبی جهت ارزیابی مسیرجاده طراحی شده سری چلیر جنگل خیرود

امیرحسین خطکه[۱]، سید عطاالله حسینی[۲]، احسان عبدی[۳]، خالد احمدآلی[۴] و شاهین کوهی[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، (نویسنده مسوول: at.hosseini@ut.ac.ir)
۳- دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۴- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۵- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مدیریت جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴
صفحه: ۲۷۳ تا ۲۸۴

چکیده

شبکه جاده‌های جنگلی به‌عنوان یکی از ارکان مهمِ سازماندهی زمین در مدیریت منابع جنگلی نقش کلیدی دارند، از سوی دیگر جاده‌ها، بیشترین میزان هزینه‌های اجرایی و محیط زیستی را نیز به‌دنبال دارند. جاده‌سازی بر روی خاک‌های ناپایدار جنگلی عامل افزایش هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده در آینده و همچنین خسارات جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی از جمله فرسایش خاک است. در این رهگذر، انجام پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌تواند ابزاری کارا در جهت کاهش خسارات و هزینه‌های مذکور باشد. هدف از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در سری چلیر جنگل خیرود به‌منظور بررسی مسیر جاده‌های جنگلی طراحی شده‌است، تا مسافت‌های پرخطر جاده به‌عنوان قسمی از یک عارضه خطی، مشخص و با به‌کار بستن توجه مضاعف، از خسارات جبران‌ناپذیر محیط‌زیستی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری جاده در آینده کاست. در این مطالعه، جاده‌های ساخته شده و جاده‌های پیش‌بینی شده در سری چلیر جنگل خیرود با وسعت بیش از ۱۷۲۰ هکتار مورد بررسی قرار گرفته است، برای این سری جنگلی، میزان ۳۸ کیلومتر جاده پیش‌بینی شده که ١٤ کیلومتر از آن ساخته شده است، به‌این منظور ابتدا عوامل شیب، جهت، فاصله‌از گسل، فاصله‌از جاده، فاصله‌از آبراهه، ساختار زمین‌شناسی و جنس خاک تحت عنوان عوامل موثر در وقوع لغزش‌ها شناسایی و به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، بر اساس نظر کارشناسان مورد ارجحیت‌بندی و وزن‌دهی قرار گرفت. در گام بعد، نقشه‌های مورد نیاز تهیه و با لغزش‌های موجود در منطقه که با استفاده از مطالعه میدانی (GPS) برداشت شده، روی‌هم اندازی شد. طبقات نقشه زیر معیارهای تهیه شده براساس ویژگی‌های لغزش‌ها (با توجه به مساحت لغزش در هر طبقه) به روش تراکم سطح وزن‌دهی شدند، سپس نقشه‌ی وزن‌دهی شده زیر معیارها بر اساس وزن معیارها که به‌وسیله‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی تهیه شده بود در محیط Arc GIS با یک دیگر تلفیق و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه مورد مطالعه در پنج طبقه از بسیار پر خطر تا کم خطر تهیه شد. نهایتاً با قرار دادن نقشه جاده‌های ساخته و طراحی شده بر روی نقشه پهنه‌بندی به‌دست آمده، مسافت‌هایی تحت عنوان مسافت‌های با خطر زیاد و بسیار زیاد شناسایی و استخراج شد. نتایج اولویت‌بندی عوامل نشان داد که شیب و فاصله از آبراهه با وزن‌های ۰/۲۲ و ۰,۱۹ دارای بیشترین تاثیر و فاصله از گسل و فاصله از جاده با وزن‌های ۰/۰۹٦ و ۰/۰۸۵ دارای کمترین میزان اثر در وقوع زمین لغزش‌ها بوده‌اند. همچنین نتایج تحلیل جاده‌ها نشان داد از حدود ۳۸ کیلومتر جاده طراحی شده، حدود ۲۱ کیلومتر در کلاسه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده‌اند و میزان ۱۱ کیلومتر نیز در کلاسه‌های خطر کم و خیلی کم قرار دارند، مسافتی در حدود ٦ کیلومتر از این شبکه جاده هم در کلاسه خطر متوسط قرار دارد که نشان از اهمیت مطالعات پایداری دامنه‌ها در این عرصه از جمله بررسی دانه‌بندی، میزان خمیرایی خاک و سایر ویژگی‌های مکانیکی آن، پیش از هرگونه عملیات ساختمانی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، روش تراکم سطح، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، GIS

مقدمه

زمین لغزش‌ها سالانه در سراسر جهان و مخصوصا مناطق جنگلی و کوهستانی باعث بوجود آمدن میلیاردها دلار خسارت مالی و صدها نفر تلفات جانی می‌شوند، این پدیده در جنگل‌ها که عمدتاً خاک در آستانه پایداری قرار دارد بیشتر دیده می‌شود و عواملی مانند تغیر کاربری اراضی در مناطق شیب‌دار به خطر وقوع این حادثه افزوده است، با تمرکز بر زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در مناطق ناپایدار و شناسایی نواحی مستند به زمین‌لغزش می‌توان از هزینه‌های گزاف احتمالی آن جلوگیری کرد (۱۲). جاده‌های جنگلی عامل اصلی افزایش نرخ فرسایش و برهم زننده‌ی پایداری دامنه‌های طبیعی هستند. از طرفی، به‌دلیل تاثیر عوامل محیطی و ترافیک بر جاده، هرسال هزینه‌ای هنگفت برای تعمیر و نگهداری جاده‌ها صرف می‌شود (۱). بنابراین طراحی جاده در جنگل باید به‌گونه‌ای صورت پذیرد که ضمن دستیابی به اهداف مدیریتی، مجموع هزینه‌های اجرایی و محیط زیستی نیز حداقل گردد تا ثبات و پایداری اکوسیستم جنگل صدمه ندیده و دخالت در طبیعت به حداقل ممکن کاهش یابد(۲۵). بدین‌منظور عواملی که باعث افزایش مجموعه هزینه‌ها می‌گردند باید شناسایی و درهنگام طراحی مورد توجه قرار گیرند. یکی از عواملی که ردیابی مسیر در جنگل را به‌شدت تحت‌تاثیر قرار می‌دهد، پدیده‌ی زمین لغزش می‌باشد که در اراضی جنگلی با توجه به ویژگی‌های زمین محیطی مانند شرایط خاک و سنگ‌شناسی، بارندگی زیاد و نفوذپذیری خاک، این پدیده معمولاً فراوانتر است (۳۵). ساخت جاده به‌عنوان یک عارضه خطی تاثیرگذار، سبب افزایش وقوع این پدیده می‌گردد، (۱۳). در واقع هنگام ساخت جاده با حذف پنجه خاکبرداری و افزایش سربار دامنه خاکریز، نوعی اختلال

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

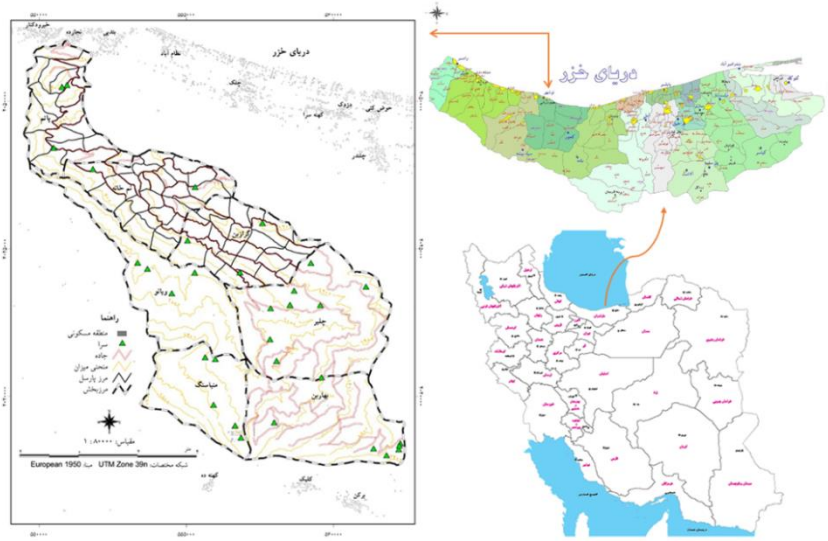
در طبیعت ایجاد می‌کند که باعث کاهش پایداری شیب بالادست و پایین دست جاده و در نتیجه وقوع حرکات توده‌ای می‌گردد (۳۸،۲۶). نکته دیگر جاری شدن آب دامنه‌ی بالادست در کانال کناری جاده‌ی جنگلی و نفوذ موضعی این آب به قشرهای زیرین است که گاه می‌تواند خود به‌تنهایی محرکی برای آغاز و یا تشدید حرکت توده‌ای باشد (۳۵). درصورتی‌که سایر ویژگی‌های منطقه خود در شرایط آستانه ناپایداری باشد، جاده‌سازی برروی این اراضی به تشدید ناپایداری‌ها کمک خواهد کرد (۱۱). بنابراین در طراحی جاده‌های جنگلی قسمت‌های دارای حرکت توده‌ای و یا حساس به لغزش باید بادقت شناسایی و تا حد امکان از عبور جاده برروی آن اراضی پرهیز گردد. درغیر این‌صورت هزینه تعمیر و نگهداری در آینده بسیار بالا خواهد بود. ضمن این‌که هزینه‌های مربوط به اختلال در بهره‌برداری و خروج محصولات جنگلی را هم باید به آن اضافه کرد. در مواردی، طراح باتوجه به شرایط توپوگرافی و شیب طولی جاده، ناگذیر به طراحی مسیر در اراضی ناپایدار و حساس است که در اینصورت تدابیر لازم باید از قبل اندیشیده شود. طرح ریزی این تدابیر خود مقتضی دانش و آگاهی کافی از منطقه در رابطه با میزان حساسیت اراضی نسبت به زمین لغزش می‌باشد و در این بین پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ابزاری کارا به‌حساب می‌آید (۱۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سطح منطقه را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر از بسیار کم تا بسیار زیاد در یک طیف تقسیم می‌کند (۳۳). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی نموده و نتایج این‌گونه مطالعات می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرارگیرد (۳۲). با آگاهی از موقعیت مکانی مناطق مستعد و پرخطر می‌توان به‌منظور جلوگیری از بروز فرسایش، تخریب و لغزش احتمالی در سطح و ترانشه‌های جاده، از قبل نکات ایمنی لازم مانند طراحی سیستم زهکشی صحیح و مطابق با الگوی طبیعت (۲۴)، تثبیت بیولوژیک و مکانیکی ترانشه‌های جاده (۱۳) با توجه به مسائل محیط‌زیستی (۵) بهره برد و از بروز هزینه‌های سنگین تعمیر یا بازسازی جاده در آینده جلوگیری نمود. مثال حاصل در این زمینه لغزش رخ داده در پیچ صنوبر جنگل خیرود می‌باشد که در نهایت با از بین رفتن قسمتی از جاده و قطع شدن جریان آمد و شد و امور مدیریتی منابع جنگلی، طراحان مجبور به ساخت شاخه‌ای جدید با هزینه‌ای بالا و تحمل هزینه‌های متعدد قطع ارتباط قسمت‌های پایین و بالای جنگل در طول دوره‌ی ساخت شدند که البته همیشه هم این امکان وجود ندارد. قابل ذکر است که شاخه‌ی مذکور از آن زمان رها شده و غیر قابل استفاده مانده است (۱۴). در این بررسی به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از تلفیق روش تحلیل سلسله مراتبی، جهت وزن‌دهی زیرمعیارها و روش آماری دومتغیره‌ی تراکم سطح، به‌منظور ارزش گذاری طبقات هر زیر معیار استفاده شده است. دلیل این تصمیم، قابل قبول بودن نتایج تحقیقات صورت گرفته در جنگل‌های شمال ایران پیرامون پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با این روش‌ها است. ازجمله‌ی این نتایج می‌توان به مطالعات احمدی و همکاران (۱۴)، فیض‌نیا و همکاران (۱۰)، عبدی و همکاران (۲)، مصفایی و همکاران (۲۹)، کریمی‌سنگ‌چینی و اونق (۲۱)، زارع و همکاران (۴۰)، کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران (۲۲)، حیاتی و همکاران (۱۵)، شعبانی و همکاران (۳۶)، عطاپور و احمدی (۸)، عابدینی و قاسمیان (۳)، لطفعلیان و همکاران (۲۴)، جرجانی و همکاران (۱۸) و همچنین زارع و همکاران (۱۴) اشاره کرد. تا به امروز روش‌های گوناگونی برای پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش به‌کار بسته شده‌اند. استفاده از روش‌های آماری برای پهنه‌بندی پدیده‌های زمین‌شناسی مانند فروچاله‌ها (۱۹) و زمین‌لغزش‌ها (۳۱) به‌عنوان روشی مناسب به‌کارگرفته می‌شود. هدف‌از این مطالعه، پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌ای خاک در سری چلیر جنگل خیرود به‌منظور بررسی شبکه جاده جنگلی طراحی شده و استخراج مسافت‌های پرخطر جاده برای مطالعات بیشتر، پیش از پیاده‌سازی در عرصه است. همچنین پیرامون جاده‌های ساخته شده، استخراج این مسافت‌ها می‌تواند مدیران طرح را در راستای عملیات پراهمیت تعمیر و نگهداری جاده‌های جنگلی یاری نماید.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود با مختصات ′۲۷ °۳۶ تا ′۴۰ °۳۶ عرض شمالی و ′۳۲ °۵۱ تا ′۴۳ °۵۱ طول شرقی، واقع در هفت کیلومتری شرق نوشهر و در استان مازندران قرار گرفته است. این جنگل از شمال به نوار ساحلی و روستای نجارده و از جنوب به ییلاق و روستای کلیک محدود می‌شود. منطقه مورد بررسی بخش چلیر با گستره‌ای در حدود ۱۷۲۰ هکتار، در محدوده ی ارتفاعی ۷۲۰ در محل خروجی زیر حوضه و ۱۷۷۰ متر از سطح آب‌های آزاد، با میانگین شیب ۳۰ درصد واقع شده‌است. برای پوشش این سری میزان ۳۸ کیلومتر جاده پیش‌بینی شده و از این میزان مسافت ۱۴ کیلومتر ساخته شده است. شکل ۱، از کتابچه طرح جنگلداری جنگل خیرود، موقعیت این جنگل در شهرستان نوشهر و سری مورد مطالعه را نشان می‌دهند (۹). بخش مذکور در مجاورت سری‌های گرازبن، بهاربن و دارنو از این جنگل واقع‌شده است و فقط دارای یک شاخه جاده ساخته شده در شمال سری به‌جهت تقریبا غربی- شرقی بوده و با حوزه‌ی مجاور به شماره ی ۴۶ در همسایگی می‌باشد و خارج از پیش‌بینی قبلی طرح، خروجی آن به جنگل خیرود متصل شده است و پس از عبور از سری چلیر، در محل بخش گرازبن به شبکه جاده جنگلی خیرود متصل می‌شود، این جاده با ایجاد امکان انشعابات جدید، می‌تواند طراحی‌های قبلی را تحت‌تاثیر قرار دهد. به این جهت طی پیمایش زمینی، مختصات این جاده تا محل انتهای آن در حوزه مجاور با دستگاه GPS برداشت شد، سایر نقاط جنگل چلیر فقط به‌واسطه‌ی مسیرهای مالرو قابل دسترسی می‌باشند.

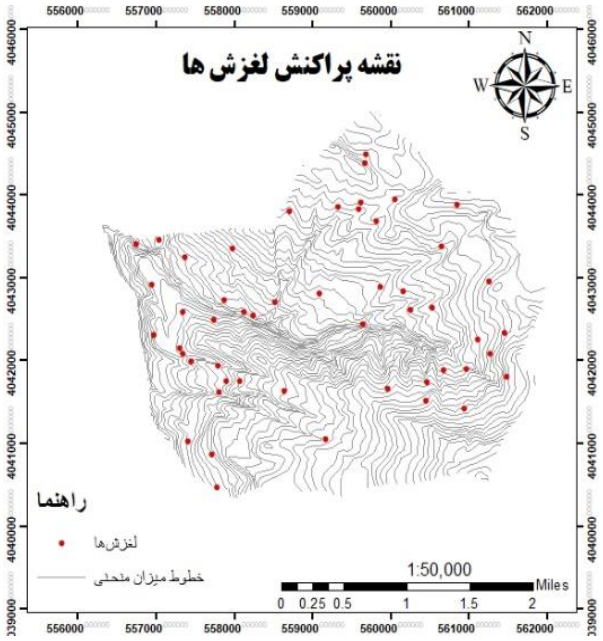
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Study Area Geographical Location

روش کار

به‌منظور انجام عملیات صحرایی از یک دستگاه GPS جهت مکان‌یابی و ثبت موقعیت ۵۱ مورد از نقاط لغزشی پیداشده طی عملیات جنگل گردشی استفاده شد، سپس در فرم‌های جداگانه که قبلاً پیش‌بینی شده بود، برای هرکدام از این مناطق لغزشی، اطلاعاتی از جمله نوع لغزش (لغزش انتقالی یا ساده یا لغزش دایره‌ای یا چرخشی)، شیب عرصه، ارتفاع از سطح دریا، جهت جغرافیایی، جامعه گیاهی، عمق و شکل هندسی لغزش، تراکم آبراهه‌ها در حاشیه مکان لغزش و توصیفی از رطوبت و عمق خاک یادداشت شد. در شکل ۲ نقشه توپوگرافی سری، پس از جانمایی مکانی لغزش‌ها، نمایش داده شده است.

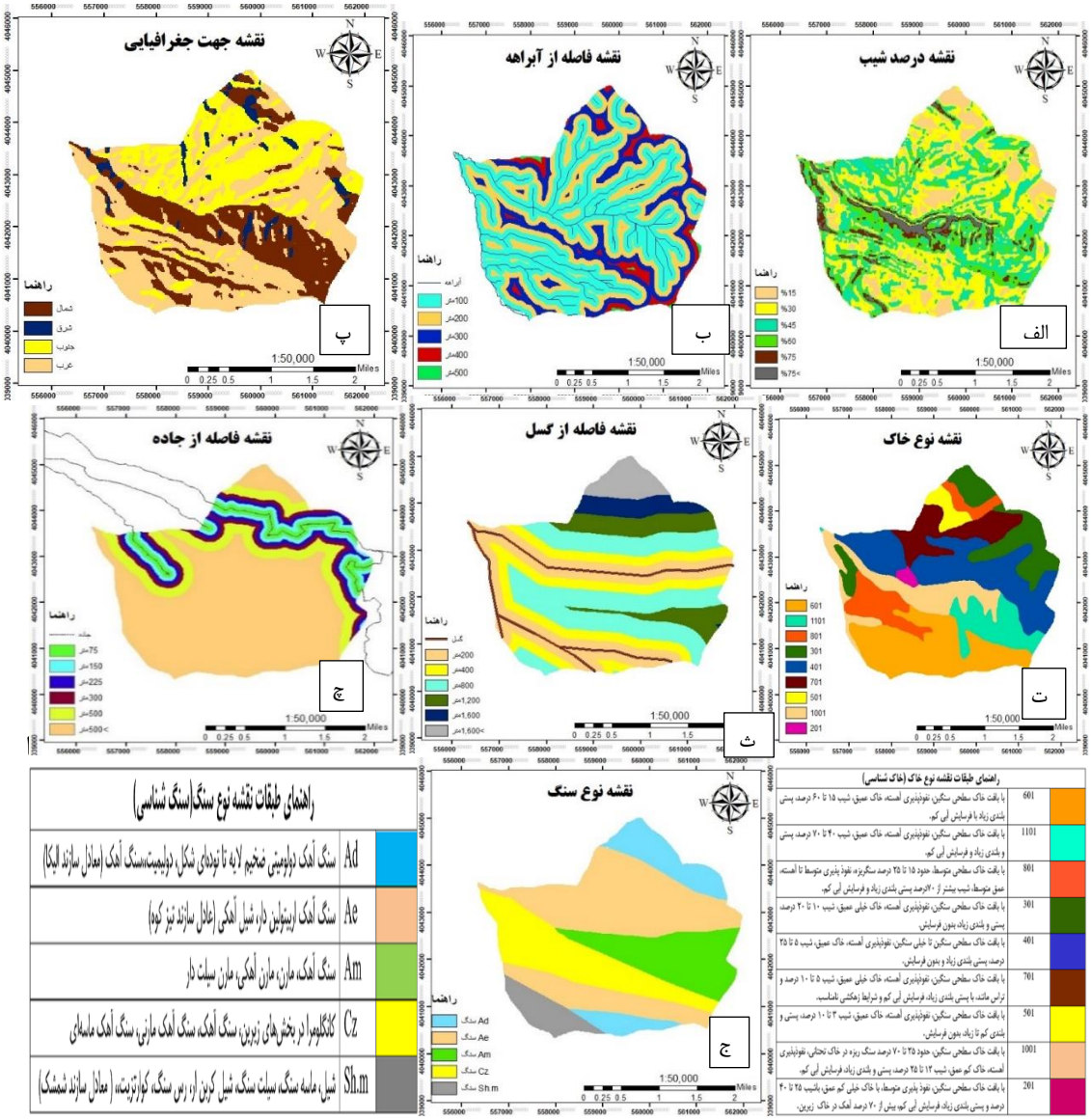


شکل ۲- موقعیت زمین لغزش‌ها بر روی خطوط میزان منحنی
Figure 2. Landslide position on contour lines

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

در انتخاب عوامل موثر بر زمین لغزش در جنگل‌های شمال ایران، طبق نظر کارشناسان و براساس مطالعات انجام شده، ۹ عامل ازقرار ارتفاع از سطح دریا، اندازه و جهت شیب، فاصله از شبکه هیدروگرافی، ساختار زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، کاربری اراضی و بارندگی پیشنهاد شده‌است (۱۰). با توجه به اینکه دراین مطالعه، بررسی جاده‌ها مدنظر است، از نقشه توصیفی خاک که مشتمل بر توصیفاتی پیرامون عمق، رطوبت و بافت خاک است، به‌عنوان یکی از عوامل موثر در پهنه‌بندی استفاده شده است، به‌علت جنگلی بودن عرصه، عامل کاربری زمین در نظر گرفته نشده است و به‌علت فقدان تفاوت چشمگیر در محدوده ارتفاعی و بارندگی، از این دو عامل نیز صرف‌نظر شد و نهایتاً نقشه های شیب، جهت، سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی، شبکه جاده طراحی شده، شبکه آبراهه‌ها و موقعیت گسل‌های منطقه مورد مطالعه در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد. در ادامه با استفاده‌از تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه زوجی متغییرهای فوق توسط یک سری پرسشنامه نظر متخصصان در مورد ارجحیت‌بندی و وزن‌دهی زیر معیارها نسبت به یکدیگردر راستای تاثیر در زمین لغزش اخذ شده است. در این ارزیابی تعداد هفت زیرمعیار موثر فوق توسط ۲۵ کارشناس و متخصص به‌صورت دو به دوی مورد نظرسنجی قرار گرفته و نمره‌ای بین یک تا نه برای نشان دادن میزان ارجحیت زیر معیارها در پرسشنامه درج شده است. سپس پرسشنامه‌ها در محیط نرم‌افزار expert choice وارد شده و پس ار ترکیب آنها وزن نهایی هر زیر معیار در ایجاد زمین لغزش‌ها به‌روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه گردید. در گام بعد با استفاده از مدل آماری دومتغیره، روش تراکم‌سطح، ارزش‌گذاری طبقات هریک از معیارها در خطر زمین لغزش انجام شد. برای این‌منظور نقشه طبقات هر زیرمعیار با نقشه وقوع زمین لغزش (شامل ۵۱ زمین لغزش ثبت شده) روی‌هم‌گذاری شد. سپس ارزش طبقات مختلف هر زیرمعیار باتوجه به مساحت لغزش‌های به‌وقوع پیوسته در هرطبقه تعیین گردید. در این روش جهت ارزش‌گذاری طبقه‌ها از رابطه‌ی ۱ استفاده شد، ارزش‌های به‌دست آمده برای هر طبقه می‌تواند طیفی از اعداد مثبت تا منفی باشد که اعداد منفی نشان دهنده‌ی اهمیت بسیار کم طبقه‌ی مورد نظر و اعداد مثبت و بزرگتر نشان دهنده‌ی اهمیت بیشتر طبقه خواهد بود (۳۷،۱۰،۳۹). نتایج ارزش‌گذاری در جدول ۱ قابل رویت است. در نهایت، پس از تعیین ارزش هریک از طبقات برای تمامی عوامل، وزن طبقه‌ی هر معیار در وزن مربوط به آن عامل، که از طریق تحلیل سلسله مراتبی حاصل شده بود، ضرب گردید، سپس هریک از نقشه‌ها با توجه به ارزش بدست آمده برای هر پیکسل از حالت برداری به حالت رستری تبدیل شدند، در مرحله‌ی بعد نقشه‌های معیارهای موثر، در محیط نرم‌افزار ArcGIS با هم تلفیق و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حاصل گردید، در نهایت با طبقه‌بندی نقشه فوق، بر اساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه تهیه گردید (۳۷،۳۲).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]



شکل ۳- نقشه زیر معیارهای الف: درصد شیب- ب: فاصله از آبراهه (متر)- پ: جهت جغرافیایی- ت: نوع خاک- ث: فاصله از گسل- ج: نوع سنگ- چ: فاصله از جاده

Figure 3. Map below the criteria A: Slope percentage: B: Drainage pattern - C: Steep direction- D: Soil type - E: Distance from the fault - F: Lithological structure- G: Distance from the road

نتایج و بحث

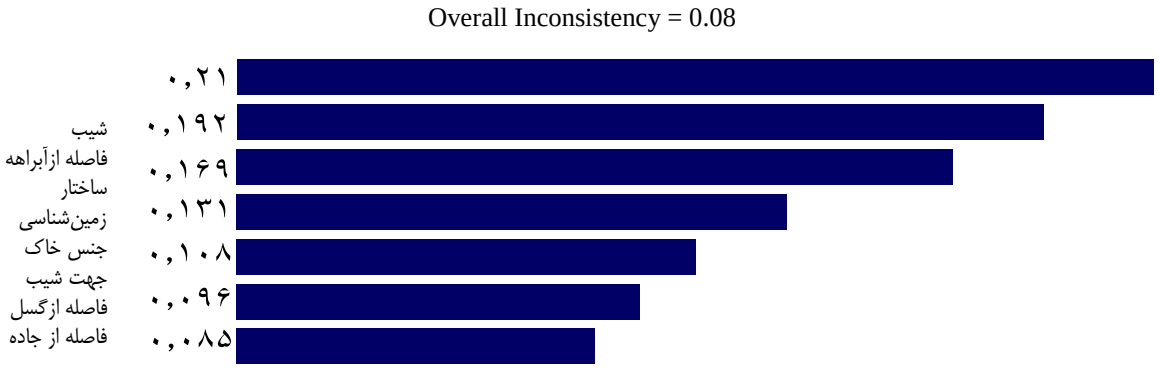
نقشه‌ی حاصل، خطر وقوع زمین‌لغزش را در پنج کلاسه‌ی خطر خیلی زیاد، خطر زیاد، خطر متوسط، خطر کم و خطر خیلی کم، برای سری چلیر نشان داده است (شکل۵)، در راستای سوال این مطالعه، با قرار دادن نقشه شبکه‌ی جاده روی این نقشه می‌توان به‌تحلیل وضعیت شبکه جاده پرداخت و مسافت‌های حساس شبکه جاده را جهت مطالعات بیشتر شناسایی نمود. تاکنون مطالعات زیادی در سراسر جهان با شیوهای مختلف به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش صورت گرفته است، در ایران نیز روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و تراکم سطح، بسیار به‌کار گرفته و نتایج آن، قابل اعتماد گزارش شده است.

(رابطه ۱)

$$W_{area} = (1000\times \frac{S_{lsp}}{S_p}) - (1000\times \frac{S_{lst}}{S_t})$$

W_{area}: نرخ مربوط به هر طبقه از معیارها
S_{lsp}: مساحت زمین لغزش در هر طبقه
S_p: مساحت مربوط به هر طبقه‌ی معیار
S_{lst}: مساحت کل زمین لغزش‌های حوزه
S_t: مساحت مربوط به کل حوزه

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]



شکل ۴- وزن نهایی به‌دست آمده زیر معیارهای موثر در زمین لغزش منطقه مورد مطالعه با استفاده از AHP
Figure 4. The final weight obtained under the effective criteria in landslides of the study area using AHP

در این مطالعه نیز با تلفیق این دو ابزار، اولویت عوامل موثر براساس مقایسات زوجی تعیین و وزن هرکدام به‌کمک تحلیل سلسله مراتبی، پس از نرمالیزه شدن با نرم‌افزار EC استخراج شد. نتایج این روش به‌ترتیب عوامل شیب، فاصله از آبراهه و ساختار زمین‌شناسی را دارای بیشترین اثر بر لغزش‌ها تشخیص داده و جنس خاک، جهت شیب، فاصله از گسل و فاصله از جاده را در مراحل بعدی در نظر گرفت. نتایج اوزان به‌دست آمده برای هریک از این عوامل در شکل ۴ قابل رویت است. برای تعیین وزن طبقات، با روی‌هم قرار دادن نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها با هریک از نقشه‌های طبقه‌بندی معیارهای موثر بر این رخداد و براساس مساحت‌های لغزش‌ها در هر طبقه و نسبت آن با مساحت کل طبقه و طبق رابطه ۱ نتایج استخراج شد. نتایج وزن طبقات تمامی معیارها در جدول۱ قابل مشاهده است. نهایتا برای مدیریت داده‌ها و ساخت نقشه‌ها از محیط کاری Arc GIS استفاده شده است که براساس حاصل ضرب وزن عوامل در وزن هر طبقه و به‌موجب قاط عطف منحنی فراوانی تجمعی پیکسل‌ها، قادر به تولید نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشد.

با مقایسه‌ی نقشه پهنه‌بندی حاصل و نقشه هریک از معیارهای موثر بر زمین‌لغزش مشخص شد که پیرامون معیار شیب، بیشترین لغزش‌ها در شیب‌های ۱۵ تا ۴۵ درصد به‌وقوع پیوسته‌اند و ۴۱ درصد از کل لغزش‌ها در محدوده شیب ۱۵ تا ۳۰ درصد شیب، قرار گرفته است. قابل توجه است که در مورد شیب‌های بزرگتر، به‌علت کاهش سرعت فرایند خاک‌زایی، تاثیرات آن‌ها بر وقوع زمین لغزش کمتر مورد بررسی است. شیب‌های کوچکتر از ۱۵ درصد به‌علت کاهش اثر نیروی گرانش نسبتا پایدارتر هستند و نتایج در این مورد با نتایج مطالعات قبلی همخوانی دارد (۳۰،۲۷،۳۲،۵).

در مورد تاثیر عامل جهت، قابل توجه است که فقط ۴ درصد از مساحت منطقه، جهت شرقی دارد جهت عمومی سری مورد مطالعه به سمت شمال‌غرب می‌باشد و بیش‌از ۷۰ درصد از مساحت لغزش‌ها نیز در جهات شمالی و شرقی دیده شده است و می‌توان علت را در آفتابگیر نبودن و وجود رطوبت بالای خاک جنگل در نیمرخ شمالی جستجو کرد (۲۳،۱۷،۲۸). نقشه ساختار زمین‌شناسی سری چلیر ۵ کلاسه را نشان می‌دهد که ۲ کلاسه آن دارای مساحت محدودی است و از ۳ کلاسه باقی مانده، سنگ آهک اربیتونین دار همراه با شیل آهکی (سازند تیزکوه) با ۴۶/۵ درصد مساحت لغزش‌ها، ناپایدارترین سازند را تشکیل داده است و پس از آن کنگلومرا با سنگ زیرین آهکی- آهکی مارنی و آهکی ماسه‌ای با ۲۱ درصد مساحت لغزش‌ها در رتبه دوم و سنگ آهکی مارن- مارن آهکی و مارن سیلت‌دار با ۲۰ درصد مساحت لغزش‌ها در رتبه سوم قرار گرفته است که حکایت از حساسیت این سازندها به فرسایش توده‌ای دارد و نتایج با مطالعات مشابه از جمله حیاتی و همکاران (۱۵) که در سری مجاور یعنی بخش بهاربن جنگل خیرود صورت گرفته، هم‌خوانی دارد. پس از مقایسه نقشه‌ی خاک جنگل خیرود با نقشه پراکنش لغزش‌ها دیده شد که با وجود تنوع فراوان در کلاسه‌های خاک، بیش از ۴۴ درصد مساحت لغزش‌ها در کلاسه‌ی خاک با بافت سطحی سنگین و نفوذپذیری آهسته، خاک عمیق در شیب ۵ تا ۲۵ درصد با پستی و بلندی زیاد و بدون فرسایش قرار گرفته است. پیرامون احداث هرگونه ابنیه فنی ازجمله ساخت جاده در این مناطق، باید پیش‌بینی‌های لازم باتوجه به وجود خواص شدیداً خمیری خاک، خاک ریزدانه و تورم‌پذیر که رطوبت را به‌خوبی در خود حفظ می‌کنند، صورت پذیرد (۷). حسینی و همکاران نیز در مطالعه‌ای پیرامون تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکبرداری و خاکریزی جاده‌های جنگلی، به بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک‌های جنگلی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که به‌علت وجود ریزدانه در خاک مناطق لغزشی و جذب و نگهداری رطوبت توسط آن که از درصد بالای رطوبت طبیعی خاک منطقه مشخص است و همچنین نامناسب بودن جریان زهکشی خاک و انجام عملیات جاده‌سازی، منطقه دچار حرکت و لغزش شده است (۱۶).

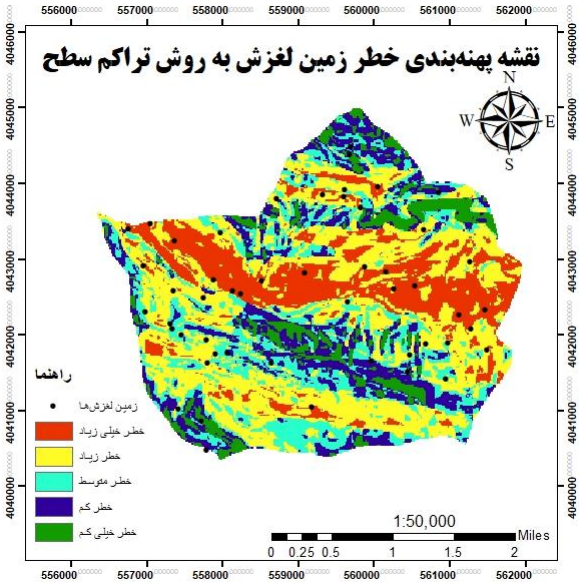
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

جدول ۱- توزیع طبقات زیرمعیارها، درصد لغزش‌ها در هر طبقه و وزن هر طبقه در هر زیر معیار

Table 1. Distribution of sub-criteria classes, the percentage of slips in each class and weight of each class in each sub-criterion

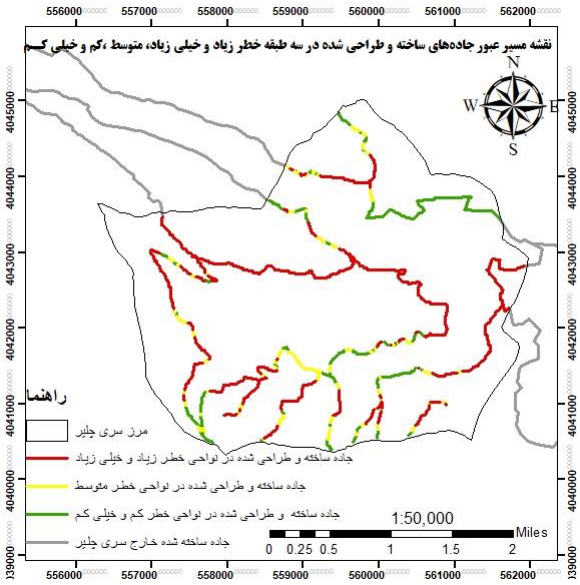
معیار	طبقه	درصد مساحت‌طبقه	درصد لغزش در طبقه	وزن طبقه
درصد شیب	۱۵-۰	۱۵/۲۷۶۲۷۰۵۹	۱۷/۱۸۴۲۶۵۰۱	۰/۷۰۹۷۲۱۵۰۳
	۳۰-۱۵	۳۵/۹۷۴۲۱۱۷۶	۴۱/۷۷۰۱۸۶۳۴	۰/۹۱۵۵۱۰۶۲۷
	۴۵-۳۰	۲۷/۷۴۶۳۱۷۶۵	۲۷/۲۷۷۴۳۲۷۱	-۰/۰۹۶۰۲۶۰۶۴
	۶۰-۴۵	۱۲/۷۹۴۱۵۸۸۲	۸/۸۵۰۹۳۱۶۷۷	-۱/۷۵۱۳۳۱۱۱
	۷۵-۶۰	۵/۳۶۴۲۳۲۹۴۱	۳/۳۶۴۳۸۹۲۳۴	-۲/۱۱۸۴۴۲۲۶۳
	<۷۵	۲/۸۰۰۰۶۸۲۳۵	۰	-۵/۶۸۲۳۵۲۹۴۱
جهت جغرافیایی	شمال	۲۷/۶۹۷۰۵۸۸۲	۳۳/۱۲۶۲۹۴	۱/۱۱۳۸۶۶۶۶۲
	شرق	۴/۰۰۸۳	۰	-۵/۶۸۲۳۵۲۹۴۱
	جنوب	۲۶/۸۵۶۰۵۸۸۲	۲۹/۲۹۶۰۶۶۲۵	۰/۵۱۶۲۷۰۲۲
	غرب	۴۳/۱۵۳۸۸۲۳۵	۳۷/۵۷۷۶۳۹۷۵	-۰/۷۳۴۲۶۰۲۰۶
نوع سنگ (سنگ شناسی)	Ad	۱۳/۱۳۵۱۴۷۰۶	۵/۷۹۷۱۰۱۴۴۹	-۳/۱۷۴۴۸۷۸۷۳
	Ae	۴۳/۲۳۳۹۷۰۵۹	۴۶/۶۸۷۳۷۰۶	۰/۴۵۳۸۸۹۳۲۵
	Am	۱۷/۷۴۹۴۱۱۷۶	۲۰/۲۳۸۰۹۵۲۴	۰/۷۹۶۷۳۵۰۱۶
	Cz	۲۱/۲۶۶۳۲۳۵۳	۲۱/۲۷۳۲۹۱۹۳	۰/۰۰۱۸۶۱۹۵۳
	Sh.m	۶/۳۴۳۸۲۳۵۲۹	۶/۰۰۴۱۴۰۷۸۷	-۰/۳۰۴۲۶۴۰۱۷
نوع خاک (خاک شناسی)	۶۰۱	۲۱/۳۱۵۲۹۴۱۲	۱۳/۷۱۶۳۵۶۱۱	-۲/۰۲۵۷۶۸۳۲۹
	۱۱۰۱	۸/۹۱۰۸۸۲۳۵۳	۵/۰۲۰۷۰۳۹۳۴	-۲/۴۸۰۷۱۵۸۱۵
	۸۰۱	۸/۹۴۵۲۹۴۱۱۸	۱۱/۳۸۷۱۶۳۵۶	۱/۵۵۱۱۵۷۹۴۲
	۳۰۱	۱۳/۳۵۲۲۰۵۸۸	۱۲/۴۲۲۳۶۰۲۵	-۰/۳۹۵۷۱۸۲۱۴
	۴۰۱	۲۳/۸۲۲۵	۴۴/۰۹۹۳۷۸۸۸	۴/۸۳۶۶۲۰۱۰۱
	۷۰۱	۹/۶۳۶۳۲۳۵۲۹	۲/۵۸۷۹۹۱۷۱۸	-۴/۱۵۶۲۶۴۴۵۸
	۵۰۱	۲/۷۲۹۵۵۸۸۲۴	۱/۷۵۹۸۳۴۳۶۹	-۲/۰۱۸۷۵۷۲۳
	۱۰۰۱	۱۲/۱۹۵	۴/۵۰۳۱۰۵۵۹	-۳/۵۸۴۰۹۶۶۶۴
	۲۰۱	۰/۸۳۱۰۲۹۴۱۲	۴/۵۰۳۱۰۵۵۹	۲۵/۱۰۸۶۵۷۵
فاصله از گسل (متر)	۰-۲۰۰	۲۶/۲۵۰۴۴۱۱۸	۳۲/۹۱۹۲۵۴۶۶	۱/۴۴۳۵۷۷۷۱۶
	۲۰۰-۴۰۰	۲۰/۴۸۶۷۶۴۷۱	۲۲/۷۲۲۵۶۷۲۹	۰/۶۲۰۱۳۷۹۰۷
	۴۰۰-۸۰۰	۳۱/۲۶۱۰۲۹۴۱	۲۹/۰۳۷۲۶۷۰۸	-۰/۴۰۴۲۱۵۸۱۳
	۸۰۰-۱۲۰۰	۱۲/۳۵۵	۴/۷۱۰۱۴۴۹۲۸	-۳/۵۱۶۰۴۷۳۲۵
	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۵/۷۰۱۱۷۶۴۷۱	۵/۷۴۵۳۴۱۶۱۵	۰/۰۴۴۰۱۹۳۲۵
	۱۶۰۰<	۵/۶۸۳۶۷۶۴۷۱	۴/۸۶۵۴۲۴۴۳۱	-۰/۸۱۸۰۶۱۴۹۷
فاصله از آبراهه (متر)	۰-۱۰۰	۴۸/۸۱۳۳۸۲۳۵	۴۵/۹۶۲۷۳۲۹۲	-۰/۳۳۱۸۴۳۳۴۷
	۱۰۰-۲۰۰	۳۰/۷۶۱۴۷۰۵۹	۴۲/۹۶۰۶۶۲۵۳	۲/۲۵۳۴۷۲۰۵
	۲۰۰-۳۰۰	۱۶/۸۲۷۹۴۱۱۸	۱۰/۲۴۸۴۴۷۲	-۲/۲۲۱۷۲۱۹۸۸
	۳۰۰-۴۰۰	۴/۸۵۹۷۰۵۸۸۲	۰/۸۲۸۱۵۷۳۵	-۴/۷۱۴۰۰۵۷۸۹
	۴۰۰-۵۰۰	۰/۴۷۵۵۸۸۲۳۵	۰	-۵/۶۸۲۳۵۲۹۴۱
فاصله از جاده (متر)	۰-۷۵	۵/۹۴۶۶۷	۲/۸۹۸۵۵۰۷۲۵	-۳/۰۴۲۴۰۰۰۸۳
	۷۵-۱۵۰	۵/۷۷۶۷	۱۳/۳۰۲۲۷۷۴۳	۶/۷۷۲۲۱۴۵۴۱
	۱۵۰-۲۲۵	۵/۷۳۶۷	۸/۳۳۳۳۳۳۳۳	۲/۱۶۵۵۶۳۲۱۸
	۲۲۵-۳۰۰	۵/۴۳۶۷	۵/۴۸۶۵۴۲۴۴۳	-۰/۲۴۱۲۹۳۴۷۴
	۳۰۰-۵۰۰	۱۴/۰۶۶۷	۱۴/۱۸۲۱۹۴۶۲	-۰/۰۶۹۶۱۱۶۰۸
	<۵۰۰	۶۳/۰۳۶۷	۵۵/۷۹۷۱۰۱۴۵	-۰/۶۷۴۱۷۶۳۲۶

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]



شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش سری چلیر جنگل خیرود
Figure 5. Landslide hazard zoning map of Chelir

در بررسی عوامل خطی، وجود دو رشته گسل در سری مذکور، وقوع حرکات توده‌ای را تحت‌تاثیر قرار داده است، طبق نظر کارشناسان، در اولویت پنجم قرار گرفته است. فراوانی و مساحت لغزش‌ها با روش تراکم سطح نشان داد، تاثیر گسل تا شعاع ۴۰۰ متری محسوس بوده و ۵۵ درصد مساحت کل لغزش‌ها در این محدوده قرار گرفته است.



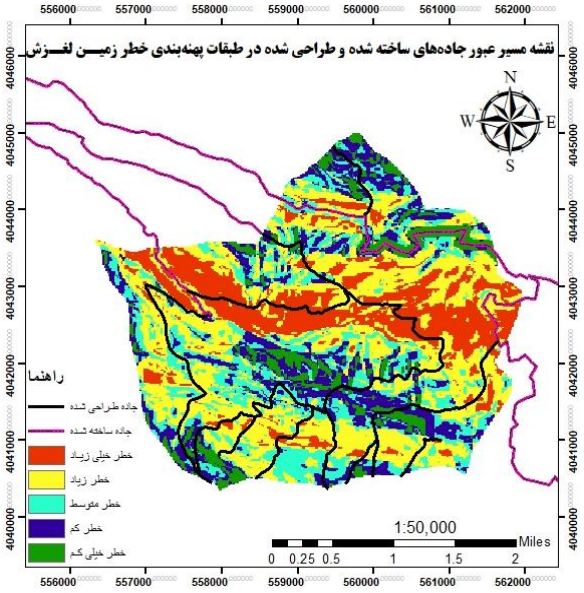
شکل ۶- نقشه مسیر عبور جاده‌های طراحی و ساخته شده در پهنه‌های مختلف خطر وقوع زمین لغزش
Figure 6. The passageway of roads designed and built in different class of landslide risk

نتایج این حوزه‌ی بررسی بانتایج مطالعات جرجانی و همکاران (۱۸) که با روش کار مشابه در جنگل های هیرکانی استان گلستان صورت پذیرفته، شباهت دارد. رودخانه‌ی تاشزه و جویبارهای دایمی اطرافش، نیمی از وسعت سری را در جهات شمالی و شرقی زهکشی می‌کنند، رودخانه‌ی اصلی خیرود نیز در مرز غربی بخش چلیر با سری دارنو، در مسیری به‌طول بیش از ۴ کیلومتر در جریان است. وجود این دو رودخانه باعث رطوبت دائمی بالای خاک در اقصی نقاط سری شده است و این موضوع دلیل قرارگرفتن این معیار در رتبه‌ی دوم تاثیر بر وقوع حرکات توده‌ای است. محاسبات مربوط به نسبت وسعت لغزش‌ها نشان داد، بیش از ۸۸ درصد لغزش‌ها مربوط به دو طبقه‌ی اول یعنی فواصل تا ۲۰۰ متری آبراهه‌ها بوده و از این میزان ۴۵ درصد مربوط به شعاع ۱۰۰ متری آنها می‌باشد.

مطالعات پیشین مربوط به دفترچه طرح جنگل خیرود نشان می‌دهد که میزان ۳۸ کیلومتر جاده برای پوشش این سری در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

نظر گرفته شده است و از این میزان ۱۴ کیلومتر آن ساخته شده است. با توجه به عبور جاده از مناطق پایدار، تاثیر فاصله از جاده، در پایین‌ترین درجه اهمیت قرار گرفته است و نتایج بررسی طبقات گویای آن‌است که فواصل ۷۵ تا ۱۵۰ متری حائز بیشترین فراوانی وسعت لغزش‌هاست.



شکل ۷- نقشه فواصل حساس جاده با رنگ قرمز
Figure 7. Map of sensitive road distances in red

پس از روی‌هم‌گذاری نقشه شبکه جاده و نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دیده شد که از مسافت ۱۴ کیلومتر جاده ساخته شده، ۱۰ درصد از نواحی با خطر بسیار زیاد، ۳۸ درصد از نواحی با خطر زیاد، ۹ درصد از نواحی با خطر متوسط، ۶ درصد از نواحی با خطر کم و ۳۶ درصد باقی مسیر از نقاط پایدار با خطر بسیار کم عبور داده شده‌است. پیرامون جاده‌های ساخته نشده نیز، از میزان ۲۴ کیلومتر جاده طراحی شده، ۱۸/۵ درصدِ مسیر از پهنه با خطر بسیار زیاد، ۴۱/۵ درصد از پهنه با خطر زیاد، ۱۹ درصد از پهنه با خطر متوسط و ۲۱ درصد باقی‌مانده از پهنه‌های با خطر کم و بسیارکم پیش‌بینی شده‌است. شکل۷ جاده‌های در معرض خطر بالا و بسیار زیاد را با رنگ قرمز نشان داده است.

منابع

1. Abdi, E. and B. Majnoonian. 2019. Forest road maintenance. Tehran University Press, 327 pp.
2. Abdi, A., B. Majnoonian and A. Darwish Sefat. 2008. Evaluation of forest road network options in terms of construction cost in the multi-criteria method in the GIS environment (Case study: Khairudknar Forest Namkhaneh Section. Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources and Technology, 12(44): 279-289.
3. Abedini, M. and B. Ghasemian. 2015. Landslide hazard zoning in Bijar city using a hierarchical analysis (AHP) method. Journal of Geography and Planning, 19(52): 205-227.
4. Ahmadi, H., A. Esmaili, S. Faiznia and M. Shariat Jafari. 2003. Risk zoning of mass movements using two variables of multivariate regression (MR) and hierarchical analysis (AHP) (Case study: Garmi chai watershed). Iranian Journal of Natural Resources, 56(4): 323-326.
5. Ahmadi, H. 2003. Routing using GIS with consideration of environmental regulations. (Case study: Parchin road), M.Sc. Theses, College of Environmental Science, University of Tehran, Iran, 98 pp.
6. Ahmadi, H., Sh. Mohammadkhan, S. Feiznia and J. Ghoddousi. 2005. A Modeling of Mass Movement Hazard, Case Study: Taleghan Drainage Catchment. Iranian J. Natural Res, 58(1): 3-14.
7. Alizadeh, S., B. Majnoonian and A. Darwish Sefat. 2010. Feasibility study of design and evaluation of various road network options using GIS and field surveys (Case study: Chelir section - Khairud forest). Jungle and Wood Products Magazine, Iranian Journal of Natural Resources, 63: 399-408.
8. Atapour, H. and R. Ahmadi. 2015. Landslide hazard zoning on the northern slope of the Latian Dam Reservoir using hierarchical analysis methods, level density, overlap index, and information value. Journal of Engineering Geology, 9(3).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

9. Department of Forestry and Forest Economics, University of Tehran. 1965. Booklet of Forestry Plan of Grazbun Forest, Chapter 4, General Social-Economic Status of Grazbun district, Image 213, General Plan of Khairud Educational and Research Forest, 90 pp.
10. Feiznia, S., A. Kalarstaghi, H. Ahmadi and M. Safaei. 2004. An Investigation of Effective Factors on Landslide Occurrence and Landslide Hazard Zonation (Case Study: Shirin Rood Drainage Basin-Tajan Dam). Iranian J. Natural Res, 57(1): 3-22.
11. Gorji Bahari, H.R. 1998. Investigation of the reasons for mass movement occurrence to provide a practical model to avoid it. M. Sc. theses, College of Natural Resource, University of Tehran, Iran, 180 pp.
12. Grima, N., D. Edwards, F. Edwards, D. Petley and B. Fisher. 2020. Landslides in the andes: forests can provide cost-effective landslide regulation services. Science of the Total Environment, 745: 121-141.
13. Guide to Planning, Implementation, and Exploitation of Forest Roads. 2012. Journal (Revision), Deputy for Strategic Supervision and Planning of the Office of the President, 160 pp.
14. Hayati, E., B. Majnounian, E. Abdi, A. Dastranj and A.A.N. Samani. 2010. Applying Landslide Hazard Zonation in Forest Road Network Design. Journal of Forest and Wood Products, 65(1): 19-32.
15. Hayati, E., B. Majnoonian, A. Abdi, A.S. Access and A. Nazari Samani. 2012. Landslide risk landslide for practical use in forest road network design. Journal of Forest and Wood Products, Iranian Journal of Natural Resources, 65(1): 19-22.
16. Hosseini, A., M. Janzadeh Chenari, A. Parsakhoo and H. Akbari. 2017. Stability Analysis of Forest Roads Cutslope According to Mechanics Properties of Soil (Case Study: Stakhrposht Region-Neka). Journal of Watershed Management Research, 9(17): 145-154.
17. Jaafari, A., A. Najafi, J. Rezaeian, A. Sattarian and E. Ghajar. 2015. Planning road networks in Landslide prone areas: A case study from the northern forest of Iran. Land Use Policy Journal, 47: 198-208.
18. Jarjani, A., H. Akbari, A. Hosseini and O. Abdi. 2018. Investigation of Landslide Ranger Zoning using Analytical Hierarchy Process in GIS Environment (Case Study: Azadshahr Kohmian Forestry Design). Journal of Watershed Management Research, 10(18): 197-207.
19. Karam, A. and F. Mahmoudi. 2006. The quantity modeling and Landslide hazard zoning in folded of Zagros (Case study: Sorkhon watershed in Charmahal & Bakhtiyari province), Geographical Research Quarterly, 51: 1-14.
20. Karimi, H., P. Garaee and M. Tavakoli. 2012. Landslide hazard zoning using multivariate regression (a case study of landslides in Jaber plain of Ilam province) and Advanced Applied Geological Journal, 6: 53-62.
21. Karimi Sangchini, A. and M. Onaq. 2011. Landslide risk landslide with a double-weighted statistical model (AHP) in the sub-districts of Chehelchay, Golestan province. Scientific-Research Journal of Iranian Watershed Management Sciences and Engineering, 5(15): 53-62.
22. Karimi Sangchini, A., M. Onaq and A. Saad al-Din. 2012. Comparison of efficiency of four quantitative and semi-quantitative models of land danger zoning, the landslide in Chehelchay watershed in Golestan province. Journal of Soil and Water Conservation Research, 19(1): 183-196.
23. Lee, M.J., I. Park and S. Lee. 2015. Forecasting and validation of landslide susceptibility using an integration of frequency ratio and neuro-fuzzy models: a case study of the Seorak mountain area in Korea. Environ Earth Science, 74: 413-429.
24. Lotfalian, M., M. Abbaspour, S.A. Hosseini and A. Parsakho. 2016. Follow, p. Forest Road Network Design Based on Road Crossing from Sustainable Areas to Reduce Erosion (Case Study: Weston Series). Environmental Erosion Research, 22(2): 59-74.
25. Majnounian, B., M. Nikooy and M. Mahdavi. 2005. Cross Drainage Design of Forest Road in Shafarood Basin, Guilan Province. Iranian J. Natural Res, 58(2): 339-350.
26. Moghimi, E., K. Alavi Panah and T. Jafari. 2008. Evaluation and effective factor zonation on landslide occurrence in northern slopes of Aladagh. Geographical Research Quarterly, 64: 53-57.
27. Mohammadi, M., H.R. Moradi, S. Feiznia and H.R. Pourghasemi. 2010. Comparison of the Efficiency of Certainty Factor, Information Value, and AHP Models in Landslide Hazard Zonation (Case study: Part of Haraz Watershed). Journal of Range and Watershed Management, Iranian Journal of Natural Resources, 62(4): 539-551.
28. Mohammady, M., H.R. Pourghasemi and B. Pradhan. 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer and weights-of evidence models. Journal of Asian Earth Science, 61: 221-236.
29. Mosafaei, J., M. Onaq, M. Example and M. Shariat Jafari. 2009. Comparison of the efficiency of experimental and statistical models of landslide hazard zoning (Case study: Alamut Rud watershed). Journal of Soil and Water Conservation Research, 16(4): 43-61.
30. Oh, H. and B. Pardhan. 2011. Application of a neuro-fuzzy model to landslide-susceptibility mapping for shallow landslides in a tropical hilly area. Computers & Geosciences, 37(2011): 1264-1276.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

31. Pourghasemi, H.R., H.R. Moradi, M. Mohammadi and M.R. Mahdavifar. 2008. Assessment of Landslide susceptibility Maping using the fuzzy operator. Journal of science and technology of agriculture and natural resource, 46: 375-389.
32. Pourghasemi, H.R., M. Mohammady and B. Pardhan. 2012. Landslide susceptibility mapping using the index of entropy and conditional probability models in GIS: safarood basin Iran. Elsevier Science B.V., Amsterdam. Catena -Giessen then Amsterdam, 97: 71-84.
33. Pradhan, B. 2011. An assessment of the use of an advanced neural network model with five different training strategies for the preparation of landslide susceptibility maps, journal of data science, 9: 65-81.
34. Ramesht, M.S. 1996. Application of geomorphology in national regional economic planning, 1st edition, University of Isfahan press, 392 pp.
35. Sarikhani, N. and M. Gorji. 2003. Possibilities of Stabilizing Landslide and Mass Movement in Forest Roads (Case Study: Kheiroudkenar Forest as a Scientific Model). Iranian Journal of Natural Resources, 56(1,2): 29-38.
36. Shabani, A.S., M. Javadi and M. Happy Farmer. 2014. Landslide hazard zoning using information value and hierarchical analysis methods (Case study: Shalmanrud watershed). Research Journal of Watershed Management, 5(10): 157-169.
37. Shadfar, S., J. Ghodosi, S. Khalkhali and A. Kelarestaghi. 2008. Assessment and evaluation bivariate statistical and LNRF models in landslide hazard zonation case study: Gennatroodbar catchment. Pajouhesh & Sazandegi, 78: 56-64.
38. Sowers, G.F. 1971. Landslides in weathered volcanic in Puerto Rico. Proceedings of 4th Panamerican Soil Mechanics and Foundation Engineering Conference, 2: 105-115.
39. Yalcin, A. 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using the analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, Catena, 72: 1-12.
40. Zare, M., H. Ahmadi and Sh. Gholami. 2011. Landslide zoning and assessment of landslides using reliability models, information value, and hierarchical analysis (Case study: watershed area). Journal of Iranian Watershed Management Science and Engineering, 5(17): 15-22.
41. Zare, N., S.A. Hosseini, M. Hafizi, A. Najafi and B. Majnoonian. 2019. Sensitivity zoning to the occurrence of landslides by frequency ratio method (a case study of forest under the management of wood and paper industries of Mazandaran). Journal of Watershed Management, 10(20).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]

Landslide Hazard Zoning by Density Area Model and Hierarchical Analysis to Assess the Pathway Designed for the Chellir District in the Khayrud Forest

Amir Hossein Khetkeh[1], Seyed Ataollah Hosseini[2], Ehsan Abdi[3], Khaled Ahmad Auli[4] and Shahin Koohi[5]

1- M.Sc. Student of Forest Engineering Management, Faculty of Natural Energy, University of Tehran
2- Professor of the Faculty of Natural Economics, University of Tehran,
(Corresponding Author: at.hosseini@ut.ac.ir)
3- Associate Professor, Faculty of Natural Environment, University of Tehran
4- Assistant Professor, Faculty of Natural Environment, University of Tehran
5- Graduated M.Sc. Student, of Forest Management, Faculty of Natural Environment, University of Tehran
Received: June 1, 2020 Accepted: September 14, 2020

Abstract

As one of the most important pillars of the land organization, the Forest Road Network plays a key role in the management of forest resources, and on the other hand, roads have the highest rate of administrative and environmental costs. Road construction on unstable forest soils will increase road maintenance costs in the future, as well as irreparable environmental damage, including soil erosion. The aim of this study is to assess the risk of landslides in the Challeir Forest in the Khairud Forest in order to study the design of forested roads, to high-risk road distances as part of a linear complication, identified and with double attention, from irreparable damage to environmental repairs and costs. In this study, designed and projected roads in the Chellir district of Khairud forest with an area of more than 1720 hectares have been studied, in the study area, 38 km of roads have been predicted and 14 km of which have been constructed. Initially, slope factors, direction, distance from the fault, distance from the road, distance from the streams, geological structure, and soil type were identified as effective factors in landslides and with the help of the hierarchical analysis process, were evaluated and weighted according to experts. In the next step, the required maps were prepared in the Arc GIS and classified according to previous studies, and the slips in the area, which were harvested using the field study (GPS), were compared. Then, the sub-maps of the sub-criteria were weighted according to the characteristics of the slips (according to the slip area in each floor) by the density area model, then the map of the sub-criteria was weighted according to the sub-criteria measured by the hierarchical analysis process. The Arc GIS was integrated with each other and the landslide hazard zoning map of the study area was prepared on five classifications from high risk to low risk. Finally, by placing the road map made and designed on the obtained zoning map, the distance of the roads on different classes of the hazard was extracted. The prioritization results of the factors showed that the slope and distance from the waterway with weights of 0.22 and 0.19 they had the greatest impact and distance from the fault and distance from the road with weights of 0.096 and 0.085 had the lowest effect on landslides. Also, the results of road analysis showed that out of about 38 km of road designed, about 21 km is located in high and very high-risk classes and 11 km is in low and very low-risk classes, a distance of about 6 km from this road network is also in the middle-risk class, indicating the importance of domain sustainability studies in this area, including grain seeding, soil kneading rate, and other mechanical properties, before any construction operations.

Keywords: Density area model, GIS, Landslide risk zoning, Hierarchical analysis process

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-04-23]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.25.0]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.273]