نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال چهاردهم، شماره ۳۲، بهار ۹۳

تعیین مرز پهنه های خطر زمین لغزش در مسیرآزادراه خرم آباد- پل زال با روش تحلیل سلسله مراتبی- فازی

دریافت مقاله:۹۱/۱۱/۹ پذیرش نهایی: ۹۲/۴/۸
صفحات:۴۴-۲۷

مجتبی یمانی : دانشیار ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران[۱]
Email: myamani@ut.ac.ir
علی اکبر شمسی پور: استادیار اقلیم شناسی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
Email: shamsipr@ut.ac.ir
ابوالقاسم گورابی: استادیار ژئومورفولوژی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
Email:goorabi@ut.ac.ir
مریم رحمتی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی, گروه جغرافیای طبیعی, دانشگاه تربیت مدرس
Email: m.rahmati109@ut.ac.ir

چکیده

یکی از مخاطرات مهم طبیعی که راه‌های ارتباطی را در مناطق کوهستانی تهدید می‌کند، ناپایداری‌های دامنه ای و زمین لغزش‌هاست. این پدیده در زمان احداث جاده‌ها به واسطه برهم زدن تعادل دامنه‌ها فراوانی بیشتری را نشان می‌دهد. آزادراه خرم آباد – پل زال جزئی از مسیر ترانزیتی شمال – جنوب کشور است که سیستم حمل و نقل این مسیر از نظر حرکات توده ای دچار تهدید شده است. در این تحقیق ابتدا عوامل هشت‌گانه شیب، جهت، بارندگی، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از شبکه زهکشی، کاربری اراضی و سنگ شناسی به عنوان عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش‌های منطقه تشخیص داده شدند. پس از تهیه لایه های اطلاعاتی با استفاده از پارامترهای فوق و تطبیق هر کدام از این لایه‌ها با لایه پراکنش زمین لغزش‌ها، نقشه پتانسیل خطر با روش سلسله مراتبی (AHP) و طبقه بندی با روش فازی به کمک قابلیت مدل سازی و تحلیل فضائی بالای سامانه اطلاعات جغرافیائی (GIS) تهیه شد. به منظور میزان کارائی مدل، با استفاده از تکنیک Cross tabulate area، میزان تطابق پهنه های خطر با لغزش‌های رخ داده محاسبه شد. نتایج به دست آمده از مدل و تطبیق آن با لغزش‌های روی داده در مسیر راه، ضمن کارائی مناسب مدل در شناسائی پهنه هائی با خطر زیاد (۴۲٪) و خیلی زیاد (۱۵٪)، بیانگر آن است که در کنار عامل شیب و سنگ شناسی به عنوان عوامل اصلی رخداد لغزش، احداث جاده وقوع لغزش‌ها را تشدید نموده است.

کلیدواژگان: زمین لغزش، پهنه بندی، مدل FAHP، تکنیک Cross، آزادراه خرم آباد - پل زال

---

[۱]. **نویسنده مسئول:** تهران, خیابان انقلاب, خیابان وصال شیرازی، نبش کوچه آذین, دانشکده جغرافیا

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

مقدمه

راه‌ها از عناصر مهم تمدن نوین به شمار می‌آیند و زمینه‌های رشد و توسعه اقتصادی و اجتماعی مناطق را فراهم می‌سازند (ریاضی و همکاران، ۱۳۸۵: ۵۶). سرمایه‌ای که برای احداث شبکه راه‌ها در بسترهای گوناگون جغرافیایی و سازه‌های مورد نیاز آن و نیز حفظ و نگهداری و ایمن‌سازی آن‌ها صرف می‌شود، جزو سرمایه‌های ملی محسوب می‌گردد. پاسداشت این سرمایه ملی برای بهره‌برداری طولانی مدت از شبکه راه‌ها الزامی است (فلاح تبار، ۱۳۷۹: ۴۹). برخورداری از راه‌های مناسب و ایمن یکی از معیارهای توسعه است، گام برداشتن در مسیر توسعه و دستیابی به توسعه پایدار نیازمند برخورداری از جاده مناسب و پایدار است (نظری، ۱۳۸۶: ۱۹). حرکات توده‌ای، از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مخاطرات مناطق کوهستانی است که حیطه فعالیت آن‌ها از تپه‌های ملایم تا کوهستان‌های شیب‌دار است (گروبر و همکاران[1]، ۲۰۰۹: ۵۲۹). در این زمینه زمین لغزش‌ها از پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که هر ساله خسارات زیادی به بار می‌آورند. بنابراین، شناسایی قابلیت وقوع زمین لغزش برای برنامه ریزی و فعالیت‌های توسعه‌ای جاده‌ها ضروری است (کانونگو و همکاران[2]، ۲۰۰۶: ۳۴۷). بر اساس برآوردهای اولیه، سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق زمین لغزش‌ها بر کشور وارد می‌شود (ایزانلو، ۱۳۷۶، ۲۹). این پدیده همچنین خسارت‌ها و مشکلاتی مانند افزایش هزینه احداث جاده، افزایش هزینه نگهداری و تعمیرات، اختلال در ترابری و بالا بردن خسارات به ماشین‌های مورد استفاده و... را برای راه‌ها به وجود می‌آورد. شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌های موجود در یک منطقه و پهنه بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت دستیابی به راهکارهای کنترل این پدیده و انتخاب مناسب‌ترین و کاربردی‌ترین گزینه موثر می‌باشد (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۱). آزادراه خرم آباد – پل زال به عنوان گلوگاه شاهراه ترانزیتی شمال – جنوب کشور؛ از مسیرهای پرپیچ و خم کوهستانی است که به دلیل گستردگی بیش از حد آن و عبور از واحد های ژئومورفیک گوناگون همواره در معرض مخاطرات جاده ای ناشی از ناپایداری دامنه ای است. از طرفی اکثر مخاطراتی که این محور را مورد تهدید قرار می‌دهند غالباً منشأ ژئومورفولوژیکی - اقلیمی دارند که به دلیل لحاظ ننمودن راهکار های مهندسی و سازه یا کم اهمیت شمردن پارامترهای ژئومورفولوژیکی در حال و آینده خسارت‌های مالی و جانی متعدّدی را موجب گردد.

[1] - Gruber, S., et all
[2] - Kanungo, D. P., et all

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

در این زمینه می‌توان به پژوهش‌های پژوهشگرانی مانند، لارسن و پارکس[۱] (۱۹۷۷) اشاره نمود. آن‌ها در پژوهشی در منطقه جنگلی کوهستانی به بررسی رابطه مکانی وقوع زمین لغزش با جاده‌ها پرداختند. در آن مطالعه یک نوار باریک به عرض ۸۵ متر از کناره جاده‌ای به طول ۱۷۰ متر در مسیر جاده مورد بررسی قرار گرفته شده و این منطقه با منطقه مشابهی که جاده‌سازی صورت نگرفته بوده مقایسه شد و نرخ شدت لغزش از ۵ به ۸ مورد در آن به ثبت رسید. مونتگومری[۲] (۱۹۹۴) به بررسی زهکشی سطوح و ایجاد کانال و ناپایداری دامنه در مناطقی که جاده به منظور محلی و کاربری زمین احداث می‌شود پرداخت. کانونگو و همکاران (۲۰۰۶) طی پژوهشی در منطقه دارجیلینگ[۳] هیمالیا به بررسی اثرات احداث جاده در رخداد زمین لغزش‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که احداث جاده با وقوع زمین لغزش‌ها رابطه مستقیم دارد و بیشترین تراکم رخداد زمین لغزش‌ها حداکثر تا فاصله ۱۵۰ متر بوده است. مطالعه کوماک[۴] (۲۰۰۶) با ارزیابی استعداد زمین‌لرزه در اسلوونی مرکزی مرتبط بود. بر مبنای نتایج آماری چندین مدل استعداد سنجی زمین‌لرزه با استفاده از روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی (AHP)[۵] توسعه یافت. این مدل‌ها نتایج متفاوتی را با بازه خطای پیش‌بینی ٪۴/۳ تا ٪۷۳ نشان دادند. یلسین[۶] (۲۰۰۸) بر مبنای سامانه اطلاعات جغرافیائی و با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و آماره دو متغیره، نقشه حساسیت زمین لغزش برای منطقه Ardesen ترکیه تهیه کرد و به این نتیجه رسید که معیار های سنگ شناسی، هوازدگی، کاربری زمین و شیب مهم‌ترین عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش در منطقه هستند، همچنین بر اساس نتایج به دست آمده، روش تحلیل سلسله مراتبی به عنوان مناسب‌ترین مدل معرفی شد.

نادری[۷] و همکاران (۲۰۱۰) کارائی چهار روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح، تحلیل سلسله مراتبی و روش پیشنهادی گوپتا و جوشی برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز زنگوان استان ایلام را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که روش ارزش اطلاعاتی کارائی بهتری نسبت به سایر روش‌ها در پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه دارد.

[1] - Larsen, M. C., Parks, J. E
[2] - Montgomery, D.R
[3]- Darjeeling
[4]- Komac, M
[5] - Analytical Hierarchy Process
[6] - Yelcin, A
[7] - Naderi, F., et all

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

شاید بتوان گفت از اولین مطالعات مربوط به ژئومورفولوژی جاده‌ای با تأکید بر حرکات دامنه‌ای مربوط به پژوهشی باشد که محمودی (۱۳۷۸) روی رانش و ناپایداری دامنه‌ای در طول مسیر سنندج - سروآباد انجام داد؛ او مسافتی به طول ۶۰ کیلومتر را از لحاظ توزیع فضائی و عوامل به وجود آورنده این حرکات مورد ارزیابی قرار داد و به این نتیجه رسید که بافت رسوبات و وجود بارش‌های فراوان و عوامل زمین‌شناختی در این منطقه در بروز حرکات دامنه‌ای نقش به سزایی دارند. کوشکی (۱۳۸۵) مهم‌ترین مخاطرات موجود در جاده خرم‌آباد - پل دختر (جاده قدیم خرم آباد - پل زال) را شناسائی به بررسی مخاطرات محیطی از جمله سیلاب و حرکات دامنه ای در جاده خرم آباد - پل دختر در قالب مدل وزن دهی کارشناسی پرداخته است. کلارستاقی و همکاران (۱۳۸۶) در پژوهشی در حوزه تجن ساری به بررسی اثرات جاده‌سازی در وقوع زمین لغزش‌ها پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین تراکم رخداد زمین لغزش حداکثر تا فاصله ۷۵ متر از مرکز جاده با تعداد ۲۱ زمین لغزش با تراکم ۲۱۹/. (تعداد هر کیلومتر مربع) است. ثروتی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده ای مسیر ارتباطی سنندج - دهگلان با استفاده از مدل AHP، به پهنه بندی خطر زمین لغزش در این جاده پرداختند. ایشان با تلفیق ۱۳ لایه هیپسومتری، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، تیپ خاک، لیتولوژی، فاصله از گسل، جاده، روستا، تراکم شبکه زهکشی، بارش، دما و کاربری اراضی در محیط GIS، ۳۶ درصد از جاده را به عنوان پهنه خطر زیاد و خیلی زیاد معرفی کردند. شمسی‌پور و شیخی (۱۳۸۹) با استفاده از اطلاعات حاصل از مدل‌سازی معیارها و لایه‌های مؤثر محیطی با مدل F-AHP و به کمک سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) میزان آسیب‌پذیری محیطی ناحیه غرب فارس را پهنه بندی کردند. نتایج محاسبات انجام شده نشان داد که زمین‌لرزه، بالاترین میزان خطر و آسیب پذیری را در ناحیه دارد، همچنین بیش از ۳۴٪ محدوده ناحیه مطالعاتی با ویژگی آسیب‌پذیری نسبتاً بالا تا بسیار بالا مشخص می‌شوند. حاتمی فرد و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS اقدام به پهنه بندی زمین لغزش در شهرستان خرم آباد کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که از بین ۱۴ معیار اقلیمی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی، ژئومورفولوژیکی و زیست محیطی و انسانی، جاده و شبکه زهکشی مهم‌ترین عوامل رخداد لغزش شناسائی شدند و ۲۵/۵۱ درصد از مساحت شهرستان دارای خطر وقوع بسیار زیاد (۶/۱۷ درصد) و خطر زیاد (۳۴ /۱۹ درصد) معرفی شد. روستائی و احمد زاده (۱۳۹۱) مناطق متأثّر از خطر زمین لغزش را در طول جاده تبریز مرند پهنه بندی کردند. آن‌ها با استفاده از متغیرهای لیتولوژی، شیب دامنه، کاربری اراضی، پوشش زمین، فاصله از اراضی خطی (جاده، رود، گسل) و هم پوشانی آن‌ها به این

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

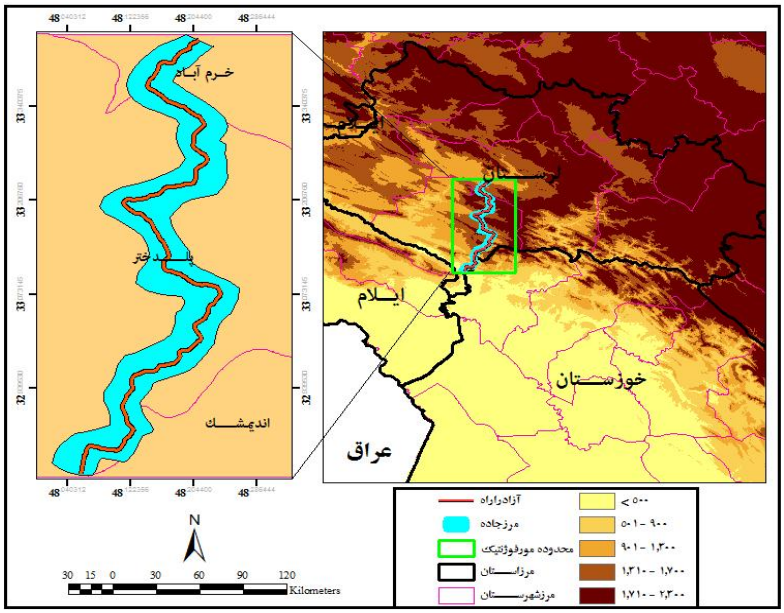
نتیجه رسیدند که ساختار خاص زمین شناسی، شرایط اقلیم محلّی و تراکم نهشته‌های کواترنری در کنار گرادیان شیب از عوامل اصلی بروز زمین لغزش است.

شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش و درجه ناپایداری آن و تعیین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها در مسیر آزاد راه تازه تاسیس خرم آباد - پل زال و و ارزیابی کارائی مدل F-AHP جهت شناسائی میزان درجه ناپایداری منطقه از اهداف این پژوهش است.

موقعیت مسیر مطالعاتی

مسیر مورد مطالعه جاده دسترسی خرم آباد - اندیمشک بوده که به آزادراه خرم آباد - پل زال موسوم است. این آزاد راه با طول 104 کیلومتر در سال 1389 مورد بهره برداری قرار گرفت. قسمت زیادی از طول مسیر، از رودخانه‌های غزال، چمشک، چولهول و به ویژه زال عبور می‌کند. غالباً جاده به صورت بغل بری (ترانشه) در دل کوه احداث شده و در محل تلاقی با دره‌ها، راه از روی خاکریزها یا پل‌های ساخته شده عبور می‌کند. این پروژه ملّی که از ارتفاعات زاگرس چین خورده با امتداد تقریبی شمالی جنوبی می‌گذرد، شهرستان خرم آباد را به اندیمشک وصل می‌کند. نقطه شروع مسیر مورد مطالعه در ارتفاع حدود 1200 متر، نقاط میانی جاده، با ارتفاعی معادل 2315 متر واقع در کوه اثر و انتهای راه به 60 کیلومتری نرسیده به شهرستان اندیمشک با ارتفاع 320 متر ختم می‌شود. با توجه به بلندترین نقطه ارتفاعی در محدوده مورد مطالعه با ارتفاع 2700 متر و وجود اختلاف ارتفاع نسبتاً زیاد (۲۳۸۰)، منطقه در چند اقلیم متفاوت قرار گرفته است. به طوری که بر پایه طبقه‌بندی دومارتن در چهار طبقه اقلیمی مرطوب، نیمه مرطوب، مدیترانه‌ای و نیمه خشک جای گرفته است. ابتدای مسیر دارای عرض جغرافیائی ′۲۶ °۳۳ شمالی و طول جغرافیائی ′۱۲ °۴۸ شرقی است؛ و انتهای مسیر نیز از عرض جغرافیائی ′۴۸ °32 شمالی و طول جغرافیائی ′۴ °۴۸ شرقی می‌گذرد (شکل ۱). ناگفته نماند که در این پژوهش برای بررسی پتانسیل زمین لغزش، مسیر راه نواری با پهنای متغیر ۵ تا ۷ کیلومتر و بر مبنای تأثیری که رخداد لغزش می توانسته بر سطح دامنه‌های مسلط به جاده داشته باشد، انتخاب شده است. شکل ۲ نمایی از دو لغزش رخ داده در مسیر مطالعاتی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۱) موقعیت منطقه در زاگرس میانی

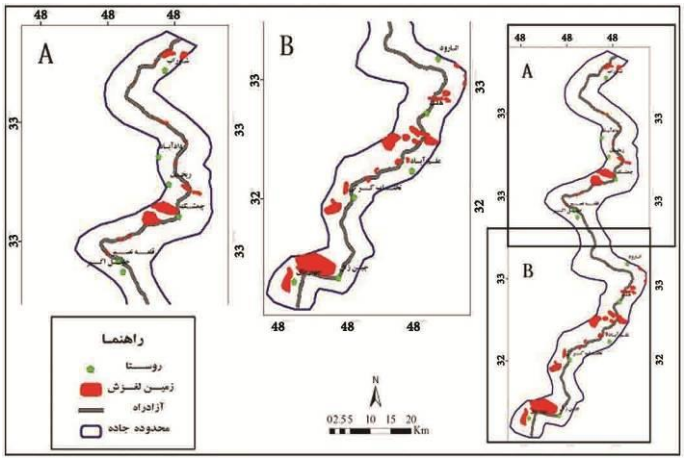
مواد و روش‌ها

در این پژوهش، نقشه‌های پایه را نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تشکیل داده‌اند. تصاویر TM ماهواره لندست جهت تهیه لایه کاربری اراضی و تصاویر Google Earth و IRS (PAN) با شماره‌های (A۴۸/۶۶)، (C۴۷/۶۶) مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۵ برای شناسائی زمین لغزش‌های قبل از احداث جاده. اضافه بر این، برای تکمیل لایه پراکنش زمین لغزش‌ها در کارهای میدانی با استفاده از دستگاه GPS ارتفاع و موقعیت زمین لغزش‌های جدیدی که بعد از عملیات راه‌سازی در روی زمین ثبت شده و با نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای تطبیق داده شده است (شکل ۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۲) لغزش داد آباد در ترانشه‌های مشرف به جاده بر اثر جاده سازی، کیلومتر ۲۲ جاده مطالعاتی، دید به جنوب غرب (الف)، لغزش آب بید به طول ۳۲۰ متر در دامنه های مشرف به جاده که باعث تغییر مسیر اصلی جاده و ایجاد پیچ تند شده است، دید به شمال شرق (ب)

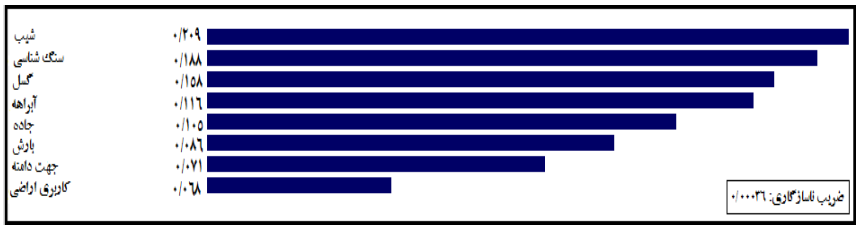


شکل (۳) پراکنش زمین لغزش‌ها در مسیر آزادراه خرم آباد - پل زال

با تعیین لایه‌های اطلاعاتی مبتنی بر داده‌های پیش گفته با استفاده از پرسشنامه دلفی خبره (دلفی) ابتدا اولویت‌بندی لایه‌ها انجام شد. بدیهی است با توجه به ضرورت انجام قضاوت گروهی و کارشناسانه از روش دلفی اقدام به دریافت دیدگاه‌ها و تکمیل پرسش نامه‌ها و جدول‌هائی به وسیله پژوهشگران و کارشناسان با تخصص‌هائی شامل منابع طبیعی، جغرافیای طبیعی و انسانی، محیط زیست و زمین شناسی توزیع و در دو مرحله با رفت و برگشت و تعدیل نظریات بین تمام پژوهشگران تکمیل شد، بنابراین برآیند امتیازات و وزن‌های به دست آمده، ملاک تعیین میزان اهمیت هر یک از معیارها بوده است. بنا بر نتایج پرسشنامه‌ها هشت معیار شامل شیب، جهت دامنه، سنگ‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از جاده، گسل و آبراهه به عنوان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش مشخص شدند. همچنین معیارهای سطح دوم مدل که زیر معیارهای هر یک از معیارهای سطح یک را تشکیل می‌دهند، تعیین و اولویت بندی گردیدند.



شکل (۴) ضرایب مقایسه دو به دوئی معیارهای سطح یک در پهنه بندی زمین لغزش مسیر مطالعاتی

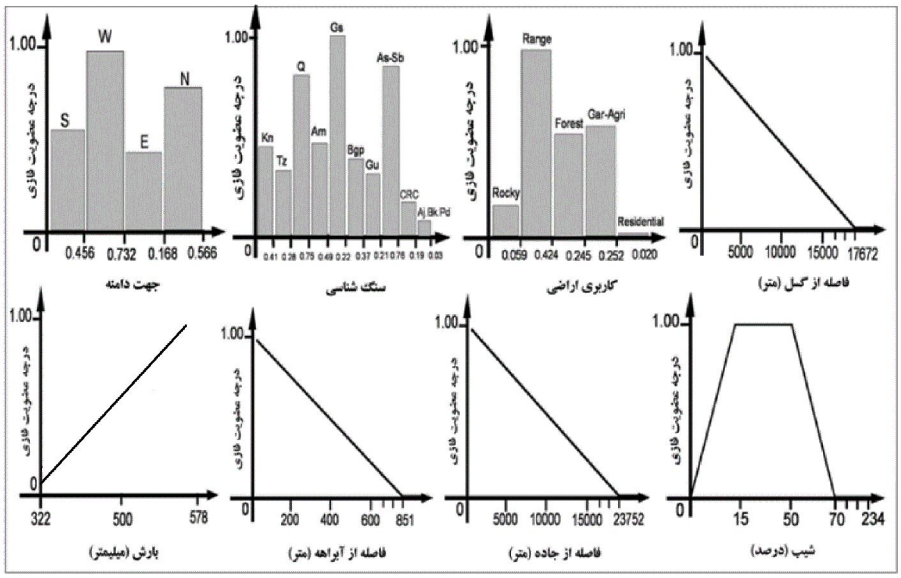
برای نرمال‌سازی معیارهای مؤثر در پهنه بندی، روش‌های مختلفی ارائه شده است که روش طبقه‌بندی فازی از مهم‌ترین و معتبرترین آن‌ها به شمار می‌آید. در واقع مفهوم فازی بودن در روش AHP، به طور غیر مستقیم از مجموعه‌های فازی مورد توجه قرار گرفته است. در این روش با استفاده از عبارت‌های زبانی، مفهوم فازی بودن در تعیین ماتریس‌های مقایسه زوجی دخالت داده می‌شود. یک مجموعه فازی یک تابع عضویت دارد که درجه عضویت بین صفر و یک را به سری اعطا می‌کند. عضویت، درجه ای معین از تعلق شیء به مجموعه فازی را نمایش می‌دهد (ال محسن[1]، ۲۰۰۹). در این مرحله لایه‌های اطلاعاتی و معیارهای سطح دو (زیر معیارها) تعیین شده در مرحله قبل با استفاده از توابع فازی زیر فازی سازی شدند و تمام لایه‌های مطالعاتی به صورت کمی با واحد مشابه و استاندارد قابل مقایسه درآمدند، به طوری که در این مرحله نرمال‌سازی تمام لایه‌ها انجام شد و تمام لایه‌های اطلاعاتی بر اساس رابطه ۱ دارای ویژگی کمی با دامنه‌ای از ارقام پیوسته صفر تا یک شدند.

رابطه (۱)
$$f(x)=\begin{cases}1 & x>a\\ (x_{max}-x)/\Delta x & b>x>a\\ 0 & b>x\end{cases}$$

الگوریتم‌های توابع فازی مورد بحث در این پژوهش از نوع خطی‌اند که در شکل (۵) دیده می‌شوند.

[1] - AlMohseen, K. A. A

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۵) الگوی توابع فازی هر یک از معیارهای مؤثر در پهنه بندی لغزش در مسیر مورد مطالعاتی

بعد از فازی سازی تمام زیر معیارها، ضرایب به دست آمده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای تهیه هر یک از نقشه‌ها و نیز نقشه تلفیقی و نهایی پتانسیل خطر لغزش بر اساس رابطه ۲ اعمال گردید و عملیات روی هم‌گذاری لایه‌ها در محیط Arc/GIS در قالب مدل رستری انجام شد. شکل **6** نحوه اجرای فرآیند F-AHP را به صورت ساده و شماتیک نمایش می‌دهد.

$$f(x) = \sum w_i \mu(x_i)$$

رابطه (۲)

در این رابطه $f(x)$ برآورد نهایی خطر بر مبنای معیار های پهنه بندی خطر زمین لغزه است، W_i وزن هر یک از معیارهای ورودی به مدل AHP، و $\mu(X_i)$ عضویت فازی هر یک از معیارها بر مبنای تابع خطی فازی است. لازم به ذکر است که اولویت بندی معیارهای سطح یک و دو برای محاسبه پتانسیل خطر لغزش با پرسشنامه دلفی به دست آمد. ضرایب و وزن آن‌ها با بهره‌گیری از مدل AHP در محیط نرم‌افزار Expert choice در نتیجه مقایسه دو به دویی معیارهای سطح یک با هم و معیارهای سطح دو با هم با معیار درجه اهمیت تعریف شده به وسیله ساعتی (۱۹۷۷) و بر مبنای نتایج به دست آمده از پرسشنامه‌ها، انجام شد. اولویت و ضریب هر معیار محاسبه گردید (در اینجا فقط نمودار ضرایب سطح یک آورده شده است).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

روش وزن‌دهی فرآیند سلسله مراتبی از روش‌های رایج و کاربردی برای تحلیل فضائی و جغرافیائی و پهنه بندی است. این روش که به وسیله ساعتی[1] (۱۹۷۷) ابداع شده، روشی سلسله مراتبی برای وزن دهی به معیارها و انتخاب بهترین گزینه برای هدفی مشخص را به کار می‌گیرد، با وجود محبوبیت زیاد این مدل، غالباً از آن به خاطر ناتوانی در یکی کردن ابهام‌ها و ادراکات تصمیم گیرنده نسبت به اعداد دقیق انتقاد می‌شود. از آنجائی که عدم قطعیت یکی از معمول‌ترین مشخصه‌های مسائل تصمیم‌گیری است، روشF-AHP[2]برای پاسخ گوئی به این مشکل ایجاد شد (میکیلوف و اسوتینس[3]، 2004). به همین دلیل در این پژوهش از این روش که به تصمیم گیران اجازه می‌دهد تا تقدم‌های حدودی یا انعطاف پذیر خود را با اعداد فازی بیان کنند و در این موارد عدم قطعیت را در قضاوت‌ها وارد کنند، استفاده شد. شکل (۶) نحوه اجرای فرآیند F-AHP را به صورت ساده و شماتیک نمایش می‌دهد.

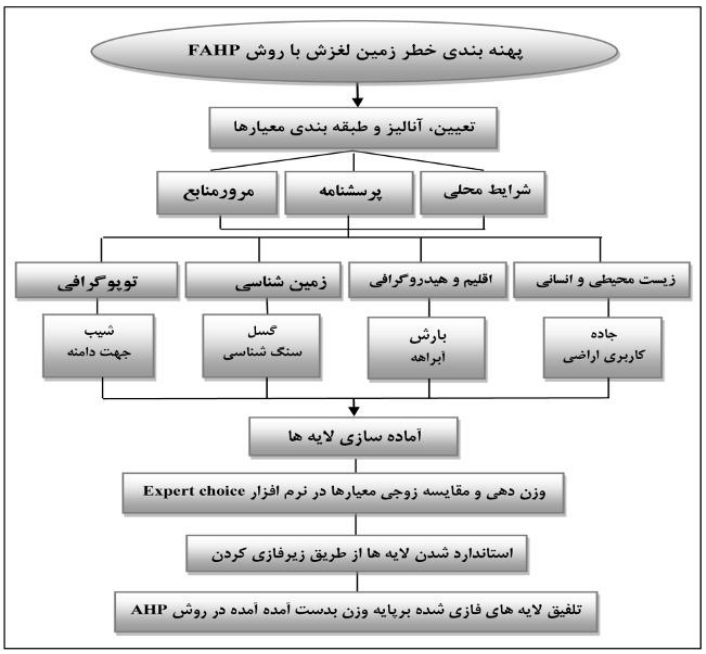
لایه‌های اطلاعاتی در سامانه اطلاعات جغرافیائی و نرم افزار Arc/GIS، با ساختار رستری و ابعاد پیکسل ۵۰ ×۵۰ متر و سیستم مختصات یکسان UTM با پروجکشن WGS 84 تجزیه، تحلیل و تعریف گردیده‌اند.

نتایج

برای تهیه نقشه پتانسیل خطر زمین لغزش مسیر مطالعاتی، هشت متغیر مورد استفاده قرار گرفت. این معیارها که عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش در مسیر مورد نظر شناسائی شده‌اند شامل شیب، جهت دامنه، کاربری اراضی، سنگ شناسی، بارش، فاصله از گسل، آبراهه و جاده می‌باشند. که با استفاده سامانه اطلاعات جغرافیایی این نقشه‌ها، با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها (شکل ۲) قطع داده شده، مقدار و درصد لغزش در هر طبقه بدست آمده است. بررسی‌های به عمل آمده نشان داد حدود ۸۲ درصد از زمین لغزش‌ها در محدوده شیب ۵۰ – ۱۵ درصد رخ داده‌اند. در شیب‌های بسیار زیاد معمولاً جنس دامنه‌ها سنگی است و استحکام بیشتری دارد، فقط ۷ درصد زمین لغزش‌ها را به خود اختصاص داده است. با توجه به تنوع سنگ شناسی

[1] -Saaty., T. A.
12 - Fuzzy Analytic Heirarchy Procsss
[3] - Mikhailov. L, Tsvetinov. P

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل(۶) مراحل اجرای روش F-AHP جهت پهنه بندی خطر لغزش در مسیر مورد مطالعاتی

منطقه و حساسیت متفاوت واحد های سنگی به زمین لغزش، اکثر زمین لغزش‌ها بر روی سازند های گچساران و آسماری رخ داده‌اند. این سازند ها به علت دارا بودن نهشته های حاصل از تشکیلات مارن و رس و آهک، به میزان ۱۵۸۶۶۰۳۴ مترمربع (۵۱ درصد مساحت منطقه)؛ بالغ بر ۶۴ درصد مساحت لغزش‌های محدوده مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. فرسایش و زیربری پای دامنه‌ها به وسیله جریان‌های پرسرعت سیلابی، فرآیندی است که عامل بسیاری از حرکات توده ای از جمله زمین لغزش است. به طوری که حدود ۶۳ درصد از لغزش‌ها دقیقاً در دامنه های منتهی به رودخانه، مسیل و یا آبراهه‌ها به وقوع پیوسته‌اند. به عبارت بهتر حدود ۱۹۹۲۷۴۳۵ متر مربع از لغزش‌ها یعنی ۸۰ درصد از زمین لغزش‌ها تا فاصله ۲۰۰ متری از آبراهه رخ داده‌اند. احداث جاده بدون در نظر نگرفتن اصول ژئومورفولوژیکی باعث از بین رفتن تکیه گاه در شیب‌های تند شده و در صورت مساعد بودن توده از نظر زمین شناسی، وقوع زمین لغزش را سبب می‌شود. لغزش داد آباد نمونه گویای این ناپایداری جاده ای در مسیر آزادراه خرم آباد - پل زال است (شکل ۳). بررسی‌ها نشان‌دهنده رقم بالای تراکم گسلی در منطقه است (KM/KM^2 DF= 0/255 KM/). اگرچه بارش در ناپایداری دامنه‌ها از عوامل مهم به شمار می‌رود. اما در منطقه مورد مطالعه به دلیل موقعیت خاص جغرافیائی، میزان بارش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

دارای تغییرات مکانی و زمانی نسبتاً زیادی نیست، ولی شدت و دوام بارش‌ها می‌تواند در بروز زمین لغزش‌ها نقش مؤثری داشته باشد. با توجه به یکسان بودن تقریبی مساحت دو جهت دامنه شرقی و غربی، میزان لغزش‌های رخداده در دامنه غربی تقریباً دو برابر دامنه شرقی است؛ که می‌تواند ناشی از قرار گرفتن این دامنه‌ها در معرض بادها و توده‌های هوای بارش‌زای غربی باشد. از قطع دادن نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها با نقشه طبقات ارتفاعی ملاحظه گردید که بیشترین مقدار لغزش در محدوده ارتفاعی ۹۰۰ - ۵۰۰ متر رخ داده است؛ در حالی که بیشترین طبقه ارتفاعی در محدوده مورد نظر در دامنه ارتفاعی ۱۷۰۰ - ۱۳۰۰ متر است. در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر به علت وجود رخنمون‌های سنگی مقدار لغزش به کمترین مقدار خود رسیده است (حدود ۷ درصد). در رابطه با تأثیر کاربری اراضی، با توجه به بکر بودن بخش زیادی از منطقه و دسترسی سخت به این منطقه کوهستانی تغییر چندانی در کاربری زمین توسط انسان صورت نگرفته است، ضمناً باید خاطر نشان کرد که درصد بالای زمین لغزش‌ها در مناطق جنگلی و مرتعی منطقه از طرفی می‌تواند ناشی از وسعت زیاد این کاربری‌ها به خصوص جنگل در محدوده مورد مطالعه است.

سپس میزان اهمیت آن‌ها در رخداد لغزش (به ترتیبی که در جدول ۱ و شکل ۴ از بالا به پائین آمده است)، با پرسشنامه دلفی اولویت بندی و توسط نرم افزار Expert choice وزن دهی شدند (جدول ۱). همچنین زیر معیارهای مؤثر هر معیار خطر با توجه به لایه‌های اطلاعاتی موجود و بر مبنای انتخاب خبره به دست آمدند که در این مقاله به دلیل گستردگی آن‌ها از نمایش آن‌ها صرف نظر شده است.

جدول (۱)مقایسه زوجی عوامل مؤثّر در وقوع لغزش در نرم افزارExpert Choice در مسیر مطالعاتی

CR:۰/۰۰۳۶	شیب	سنگ شناسی	گسل	رود	جاده	بارش	جهت شیب	کاربری اراضی	وزن نهایی
شیب	۱	۱ / ۱۱	۱ / ۳۵	۱ / ۷۲	۱ / ۹۰	۲ / ۳۷	۳ / ۱۶	۳ / ۱۷	۰/۲۰۹
سنگ شناسی	۰ / ۹۰	۱	۱ / ۱۳	۱ / ۵۷	۱ / ۸۳	۲ / ۲۰	۲ / ۷۱	۲ / ۸۵	۰/۱۸۸
گسل	۰ /۷۴	۰ / ۸۸	۱	۱ / ۳۵	۱ / ۵۱	۱ / ۸۰	۲ / ۲۸	۲ / ۲۷	۰/۱۵۸
رود	۰ / ۵۸	۰ / ۶۳	۰ / ۷۴	۱	۱ / ۰۸	۱ / ۳۱	۱ / ۵۷	۱ / ۷۱	۰/۱۱۶
جاده	۰ / ۵۲	۰ / ۵۴	۰ / ۶۶	۰ / ۹۲	۱	۱ / ۲۳	۱ / ۴۲	۱ / ۵۷	۰/۱۰۵
بارش	۰ / ۴۲	۰ / ۴۵	۰ / ۵۵	۰ / ۷۶	۰ / ۸۱	۱	۱ / ۱۴	۱ / ۲۸	۰/۰۸۶
جهت شیب	۰ / ۳۱	۰ / ۳۶	۰ / ۴۳	۰ / ۶۳	۰ / ۷۰	۰ / ۸۷	۱	۱	۰/۰۷۱
کاربری اراضی	۰ / ۳۰	۰ / ۳۵	۰ / ۴۲	۰ / ۵۸	۰ / ۶۳	۰ / ۷۸	۱	۱	۰/۰۶۸

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

پس از اولویت‌بندی به هر یک از معیارهای سطح یک و زیر معیارهای هر یک از آن‌ها، با استفاده از توابع کاهشی - افزایشی فازی، زیر فازی شدند و تمام لایه‌های اطلاعاتی به صورت کمی با واحد مشابه و استاندارد قابل مقایسه در آمدند (شکل ۳).

در نهایت لایه‌های اطلاعاتی فازی سازی شده از طریق اعمال ضرایب حاصل از مقایسه زوجی و وزن دهی شده AHP ترکیب شدند و لایه نهایی پتانسیل خطر وقوع زمین لغزش در پنج طبقه خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم برای محدوده آزادراه خرم آباد - پل زال محاسبه و تقسیم بندی گردید (شکل ۵). بر حسب نتایج به دست آمده از مدل، منطقه دارای پتانسیل بالائی از لحاظ وقوع زمین لغزش است (جدول ۲).

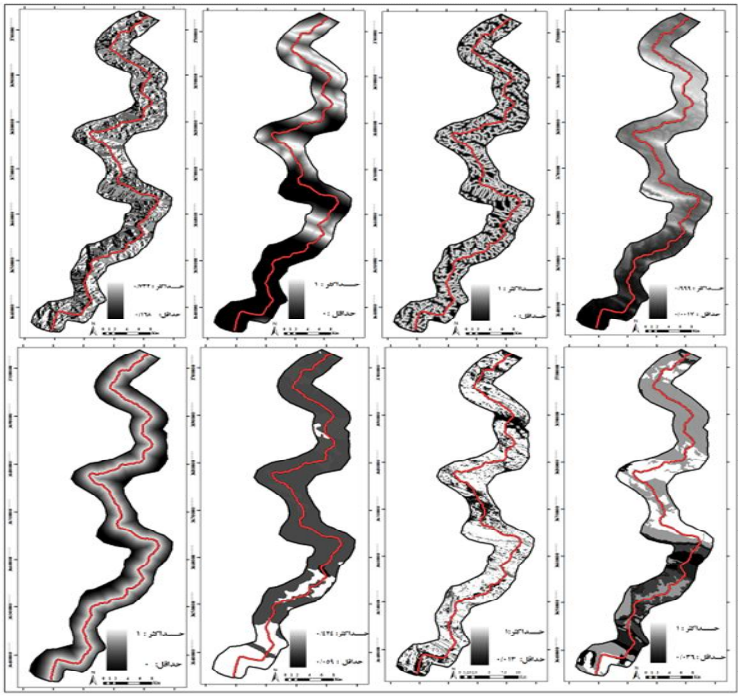
پس از تعیین پهنه های خطر زمین لغزش توسط مدل تحلیل سلسله مراتبی ـ فازی، با بهره-گیری از روش Cross Tabulate Area در محیط تحلیلگر Arc/GIS، به میزان تطابق این مدل با واقعیت موجود در منطقه مطالعاتی پرداخته شد. بدین صورت که پس از انجام کلاسه بندی با ارزش‌های مشابه برای نقشه های نهایی پتانسیل خطر (پنج طبقه) میزان صحت هر یک از طبقات خطر با میزان لغزش‌های رخ داده با عملگر CrossTabulate Area برای هر یک از طبقات خطر انجام شد و فراوانی پیکسل‌های مشابه (درصد تطابق) در طبقات مختلف خطر بر اساس رابطه ۳ تعیین شد.

رابطه (۳)

$$\text{درصد تطابق} = \frac{\text{مجموع تعداد پیکسل های قطر اصلی}}{\text{مجموع کل پیکسل ها}}$$

با به‌کارگیری این تکنیک مشخص گردید که مدل F-AHP در مقایسه با مدل ارزش اطلاعاتی تقریباً در تمامی طبقات خطر به جزء طبقه متوسط با واقعیت موجود لغزش‌های رخ داده انطباق دارد. همچنین مدل ارزش اطلاعاتی نیز در پهنه‌بندی طبقه کم‌خطر بهترین تطابق را با واقعیت موجود در منطقه مطالعاتی دارد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

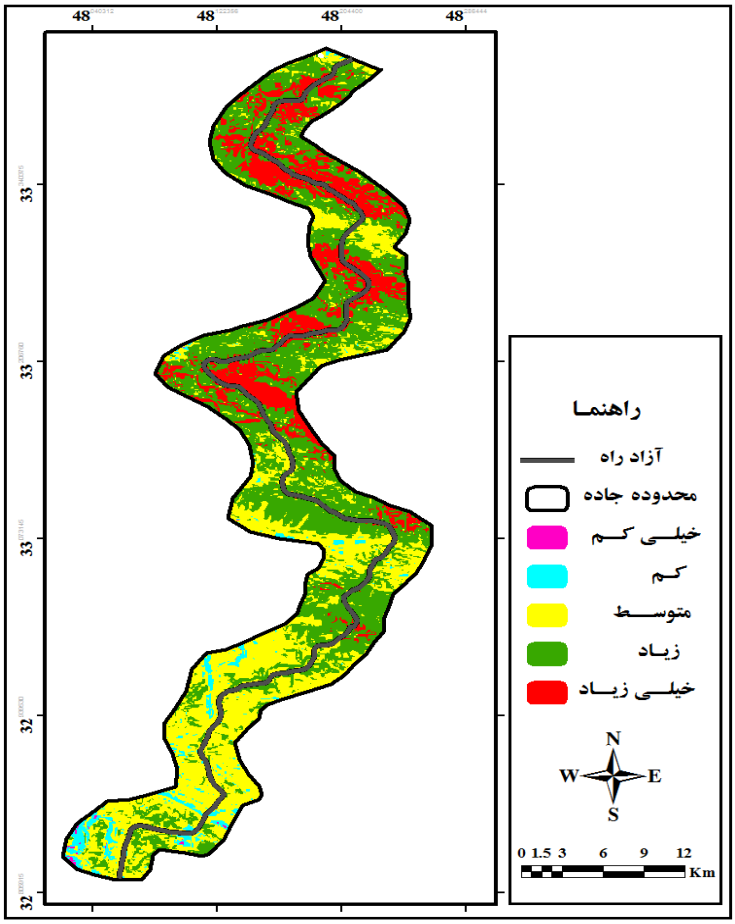


شکل (۷) نقشه فازی شده هر یک از معیارهای مؤثر در پهنه بندی لغزش در مسیر مورد مطالعاتی

جدول (۲) مساحت طبقات پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش F-AHP

طبقات پهنه بندی	مساحت طبقه (مترمربع)	درصد طبقات	مساحت زمین لغزش (مترمربع)	زمین لغزش (درصد)
خیلی کم	۲۲۷۷۷۰/۲۲	۰/۱۵	۷۵۹۱/۴۰	۰/۰۳
کم	۱۶۰۶۷۴۲۷/۱۴	۳/۳۴	۳۵۶۷۹۵/۹۸	۱/۴۶
متوسط	۱۵۸۱۹۰۲۶۳/۶۲	۳۲/۸۹	۱۰۰۴۳۴۲۷/۳۵	۴۰/۹۹
زیاد	۲۲۳۶۱۶۹۷۹/۰۴	۴۶/۵۰	۱۰۳۳۹۴۹۲/۱۱	۴۲/۱۹
خیلی زیاد	۸۲۱۵۷۴۵۷/۶۹	۱۷/۰۸	۳۷۵۷۷۴۴/۹۳	۱۵/۳۳
جمع	۴۸۰۹۲۷۵۹۵/۰۰	۱۰۰	۲۴۵۰۵۰۵۱/۷۷	۱۰۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]



شکل (۸) پهنه بندی احتمال رخداد زمین‌لغزش در مسیر آزاد راه مورد مطالعه با روش F-AHP

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت مطالعه عوامل موثر در بروز خطر زمین لغزش و شناسائی مناطق حساس از نظر ناپایداری دامنه ای در مسیر آزادراه خرم آباد - پل زال، روش مطالعه و تحلیل مبتنی بر نظر کارشناسانه و بهره گیری از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) قرار گرفت. برای نرمال سازی و طبقه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی از سیستم طبقه‌بندی منطق فازی استفاده شد. تمام محاسبات و تلفیق لایه‌ها در محیط سامانه اطلاعات جغرافیائی (GIS) انجام گرفت و نقشه ای با پنج پهنه خطر وقوع لغزش به دست آمد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

با روی هم‌گذاری لایه‌های مختلف، نقشه‌ای نهایی به دست آمده که نشان‌دهنده پتانسیل خطر خیلی بالا در جاده مورد نظر است؛ به طوری که مساحت پهنه‌هایی با خطر خیلی زیاد حدود ۱۵ درصد و خطر زیاد حدود ۴۲ درصد ناپایداری‌های مسیر را تشکیل می‌دهد. این مناطق از ابتدای آزادراه تا کیلومتر ۴۵ جاده را شامل می‌شوند. مساحت پهنه های خطر کم و خیلی کم جاده حاکی از آن است که فقط حدود ۲ درصد از مساحت کل محدوده مورد مطالعه دارای پتانسیل وقوع لغزش است و بیشتر منطبق بر نقاط انتهائی جاده می‌باشد.

بررسی تأثیر هر یک از عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش در مسیر مطالعاتی نشان داد عامل شیب، سنگ شناسی و آبراهه به ترتیب عوامل مؤثر در بروز زمین لغزش در جاده مورد نظر هستند. به طوری که حدود ۸۲ درصد از زمین لغزش‌ها در محدوده شیب ۵۰ - ۱۵ درصد رخ داده‌اند. عامل سنگ شناسی به علت دارا بودن نهشته های حاصل از تشکیلات مارن و رس و آهک در دو سازند گچساران و آسماری بالغ بر ۶۴ درصد مساحت لغزش‌های محدوده مورد مطالعه را به خود اختصاص داده است. فرسایش و زیرشوئی پای شیب‌ها و دامنه‌ها به وسیله جریان‌های پر سرعت سیلابی، فرآیندی است که عامل بسیاری از حرکات توده ای از جمله زمین لغزش در مسیر مورد مطالعه است. به طوری که حدود ۶۳ درصد از لغزش‌ها دقیقاً در دامنه های منتهی به رودخانه، مسیل و یا آبراهه‌ها به وقوع پیوسته‌اند. به عبارت بهتر حدود ۸۰ درصد از زمین لغزش‌ها تا فاصله ۲۰۰ متری از آبراهه اتفاق افتاده‌اند. در کنار این سه عامل، احداث جاده بدون در نظر نگرفتن اصول ژئومورفولوژیکی باعث از بین رفتن تکیه گاه در شیب‌های تند شده و در صورت مساعد بودن توده از نظر زمین شناسی، وقوع زمین لغزش در جاده را سبب شده است. لغزش داد آباد نمونه گویای این ناپایداری جاده ای در مسیر آزادراه خرم آباد - پل زال است.

منابع و مآخذ

۱. ایزانلو، اسماعیل (۱۳۷۶) **بررسی قابلیّت داده های سنجش از دور و GIS برای پهنه بندی خطر حرکات توده ای در حوضه رود خانه بیدوار**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریائی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲. ثروتی، محمد رضا؛ حسین زاده، محمد مهدی؛ خضری، سعید؛ منصوری، عادل (۱۳۸۷) **پهنه بندی حرکات توده ای در مسیر سنندج - دهگلان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در محیط GIS**، سپهر، شماره ۶۸، ۲۵.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

۳. حاتمی فرد، رامین؛ موسوی، سید حجت؛ علی مرادی، مسعود (۱۳۹۱) **پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم آباد**، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۳، ۴۳ – ۶۰.

۴. روستائی، شهرام؛ احمد زاده، حسن (۱۳۹۱) **پهنه بندی مناطق متأثّر از خطر زمین لغزش در جادّه تبریز – مرند با استفاده از سنجش از دور و GIS**، *پژوهش‌های* ژئومورفولوژی کمّی، شماره ۱، ۵۸ – ۴۷.

۵. ریاضی، برهان؛ خراسانی، نعمت الله؛ کرمی، محمود؛ هوشیار دل، بنفشه (۱۳۸۵) **بررسی اثرات حمل‌ونقل جاده ای و ریلی بر حیات وحش جانوری و ارائه رهنمودهای لازم**، علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۳۰، ۵۳- ۶۵.

۶. شادفر؛ صمد، یمانی؛ مجتبی، قدوسی؛ جمال، غیومیان؛ جعفر (۱۳۸۶) **پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تحلیلی سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیزچالکرود تنکابن)**، پژوهش و سازندگی، شماره ۷۵، ۱۱۸ – ۱۰۹.

۷. شمسی پور، علی اکبر؛ شیخی، محمد (۱۳۸۹) **پهنه بندی مناطق حساس و آسیب پذیری محیطی در ناحیه غرب فارس با روش طبقه بندی فازی و فرآیند سلسله مراتبی**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۳، ۵۳ – ۶۸.

۸. فلاح تبار، نصرالله (۱۳۷۹)**تأثیر برخی عوامل جغرافیایی بر راه‌های کشور**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۳۸، ۴۷- ۵۵.

۹. کلارستاقی، عطاالله؛ حبیب نژاد، محمود؛ احمدی، حسن (۱۳۸۶) **مطالعه وقوع زمین لغزش‌ها در ارتباط با تغییر کاربری اراضی و جاده ساری**، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۲، ۸۱ – ۹۱.

۱۰.کوشکی، ابوذر (۱۳۸۵) **مخاطرات محیطی جاده خرم آباد-پل‌دختر با تأکید بر ژئومورفولوژی**، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت معلّم.

۱۱. محمودی، فرج الله (۱۳۷۸) مطالعه و بررسی رانش و ناپایداری دامنه ای مسیر سنندج- مریوان (نگل تا قلعه جی)، قسمت ژئومورفولوژی، انتشارات اداره راه و ترابری.

۱۲. نظری، داریوش (۱۳۸۶) **نقش حمل‌ونقل در توسعه پایدار، راه ابریشم**، سال دوازدهم، شماره ۸۵، ۱۶ - ۳۰.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]

Al-Mohseen, K.A.A., (2009) ***Drought Index Assessment for Fatha Region Using Fuzzy Logic Approach***, Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, held 23-27, at the University of Georgia. Athens, Georgia.

Gruber, S., Huggel, C., Pike, R., (2009), ***Modeling mass movements and landslide susceptibility***, Developments in Soil Science, 33: 527-550.

Kanungo, D. P., Arora, M. K.,Sarkar, S., Gupta,R. P., (2006) ***A comparative study of conventional, ANN, black box, fuzzy and combined neural and fuzzy weighting procedures for landslide susceptibility zonation in Darjeeling Himalayas***, Engineering Geology, 85: 347-366.

Komac. M., (2006) ***A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia***, Geomorphology, 74: 17–28

Larsen .M. C., Parks. J. E., (1997) How wide is a road? The association of roads and mass wasting in a forested Montana environment, *Earth Surface Processes and Landforms*,22: 835-848

Mikhailov, L., Tsvetinov. P., (2004) ***Evalution of services using a fuzzy analytic hierarchy process***. Applied Soft Computing, 5: 23– 33.

Montgomery,D.R., (1994) ***Road surface drainage,channel initiation, and slope Instability***, water resource. RES., 30: 1925-1932

Naderi, F., Naseri, B, Karimi. H, Habibi e Bibalani, GH, (2010) ***Efficiency evalution of different landslide susceptibility mapping method (Case study: Zangvan Watershed, Ilam province)***, First international conference of soil and roots engineering relationship (LANDCON1005), Ardebil Province, Iran.

Saaty, T.A., (1997) *A* ***Scaling Method for Priorities in Hierarchial Structures***, Journal of Mathematical Psychology, 15: 234-281

Yalcin, A., (2008) ***GIS based landslide susceptibility maping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey)***, Comparisons of result and confirmation Catena, 72: 1- 12.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-09]