پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله با استفاده از مدل AHP (مطالعهٔ موردی: منطقه چلکاسر و چهارمحل)

علی‌محمد رجبی*؛ دانشگاه تهران، گروه زمین‌شناسی مهندسی
حسین خسروی؛ دانشگاه قم، گروه ژئوتکنیک

تاریخ: دریافت ۹۵/۰۵/۲۳ پذیرش ۹۵/۰۸/۱۰

چکیده

از مهم‌ترین اثرات ناشی از زلزله ۳۱ خرداد ۱۳٦۹ منجیل (M=۷/۷) وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد در مناطق تحت تأثیر این زلزله بوده است. بررسی و تحلیل مشخصات این زمین‌لغزش‌ها و نحوهٔ توزیع آن‌ها در شناخت مناطق مستعد زمین‌لغزش در زلزله‌های آینده اهمیت به‌سزایی دارد. هدف از این پژوهش شناسایی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در چهارگوش‌های چلکاسر و چهارمحل (منطقه‌ای در نزدیکی رومرکز زلزله منجیل) به مساحت ۳۰۹/۳۰ کیلومترمربع، با استفاده از مدل AHP (دو روش استفاده از دانش کارشناسی و استفاده از دانش داده‌ای و کارشناسی به‌صورت توأم) است. به این منظور، ابتدا با توجه به موقعیت زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته، بررسی‌های تطبیقی و نتایج سایر محققان، ۷ عامل شامل؛ شدت آریاس، زاویهٔ اصطکاک داخلی، چسبندگی، شیب، جهت شیب، ارتفاع و انحنای دامنه شناسایی شد. سپس با استفاده از مدل AHP معیارهای بررسی شده تعیین وزن شده و لایه‌های رستری عوامل مذکور در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شده، نهایتاً پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با دو روش مذکور صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد معیارهای شدت آریاس و انحنای دامنه با وزن‌های ۰/۳۱۷و۰/۰۲۲ به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین تأثیر را بین معیارهای انتخابی دارند. هم‌چنین برای ارزیابی و انتخاب مدل مناسب از دو شاخص مجموع کیفیت (Q_S) و دقت روش (P) استفاده شد. طبق نتایج به‌دست آمده از این دو شاخص روشی که در آن، قضاوت‌ها بر اساس استفاده از دانش داده‌ای و کارشناسی به‌صورت توأم صورت گرفته است، کارایی بهتری نسبت به مدل دیگر دارد.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، زلزلهٔ منجیل، زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، تحلیل سلسله مراتبی

*نویسنده مسئول amrajabi@ut.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

مقدمه

به‌طورکلی زمین‌لغزش‌ها مخصوصاً زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، پدیده‌هایی هستند که طی سال‌های اخیر باعث خسارات زیادی شده است (مهدویفر، ۱۳۸۵؛ رجبی، ۱۳۸۹؛ باقری، ۱۳۹۱). هرچند پژوهش‌های زیادی در بارهٔ شناسایی و توصیف زمین‌لغزش‌ها به‌طور عام انجام شده است اما بررسی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله به‌خصوص در ایران بسیار جوان است. حائری و ستاری (۱۳۷۲)، کمک پناه و حافظی مقدس (۱۳۷۲)، نوگل سادات (۱۳۷۵)، جعفری و همکاران (۱۳۷۹)، تنها در بارهٔ تهیه فهرست و برخی از مشخصات زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل بررسی‌هایی انجام داده‌اند. توفیق ریحانی (۱۳۸۱) در بارهٔ زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله اول تیرماه ۱۳۸۱ آوج، به معرفی چند زمین‌لغزش پرداخته است. مهدوی‌فر و همکاران (۲۰۰۲) با ارائهٔ برخی مشخصات زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله آوج، رابطهٔ بین بزرگی زمین‌لغزش، فاصله از رومرکز و فاصله از گسلش سطحی و فراوانی زمین‌لغزش‌های ناشی از این زلزله را بررسی کرده‌اند. امینی حسینی و همکاران (۱۳۸٤) پژوهش‌هایی در ارتباط با زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله فیروزآباد کجور (هشتم خرداد ماه ۱۳۸۳) انجام داده‌اند. در همهٔ این پژوهش‌ها به معرفی موقعیت برخی از زمین‌لغزش‌ها و برخی از مشخصات آن‌ها پرداخته شده است. مهدویفر (۱۳۸۵) ضمن ارزیابی تحلیلی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله‌های منجیل، آوج و فیروزآباد کجور سامانه‌ای را برای مدیریت ریسک زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در کشور طراحی کرده است. رجبی (۱۳۸۹) و در ادامهٔ پژوهش‌های مهدویفر با توجه به شرایط ایران نسبت به تهیهٔ مدلی برای پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله (برای زاگرس) اقدام کرده است. باقری (۱۳۹۱) با استفاده از نرم‌افزار (CAMEL) طراحی‌شده به‌وسیلهٔ مایلز و کیفر (۲۰۰۹، ۲۰۰۷)، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در محدودهٔ تحت تأثیر زلزله سرعین (۱۳۷۵) پرداخته و نتایج حاصل را با روش مهدویفر (۱۳۸۵)، ارزیابی و مقایسه کرده است. معماریان (۲۰۱۵) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزلهٔ اهر و ورزقان (۱۳۹۱) با استفاده از سه روش تحلیل سلسله مراتبی، روش ارزش اطلاعاتی و روش رگرسیون چندمتغیره پرداخته است

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

زلزلهٔ منجیل در تاریخ ۳۱ خرداد۱۳۶۹ شمسی، به‌بزرگی ۷/۷ در مقیاس سطحی منطقه وسیعی از شمال غرب ایران واقع در استان‌های گیلان و زنجان را به‌شدت تکان داد. این زلزله به‌لحاظ بزرگی و وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از آن از مهم‌ترین زلزله‌های تاریخ ایران محسوب می‌شود که طی پژوهش‌های مختلف، مهم‌ترین زمین‌لغزش‌های ناشی از آن فهرست شده‌اند. توسعهٔ بررسی‌های کمی و کیفی روی زلزله‌هایی که مسبب زمین‌لغزش‌های زیادی بوده‌اند (نظیر زلزله‌های منجیل، آوج، فیروزآباد کجور، سرعین و زلزله اهر و ورزقان)، باعث افزایش شناخت ما ازاین‌گونه حوادث طبیعی و در نتیجهٔ مدیریت خطرات ناشی از آن‌ها می‌شود.

در این تحقیق به‌منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و هم‌چنین پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در منطقهٔ بررسی شده، از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. فرآیند تحلیل سلسه مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و هم‌چنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارد این فرآیند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. علاوه بر این مبنای مقایسه زوجی موجود در این روش قضاوت و محاسبه را تسهیل کرده و مقدار سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره است [۱۶]. در سال‌های اخیر این روش کاربرد زیادی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها داشته است.

هدف از انجام این تحقیق شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله، تعیین میزان تأثیر هر یک بر وقوع این پدیده و نیز تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله با استفاده از روش‌های استفاده شده در این پژوهش است. منابعی که بدین‌منظور استفاده شده‌اند عبارتند از: نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقهٔ طرح، نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ و نیز استفاده از داده‌ها و اطلاعات به‌دست آمده از پژوهش‌های انجام شدهٔ قبلی، در منطقهٔ بررسی شدهٔ مهدویفر (۱۳۸۵) و رجبی (۱۳۸۹).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

منطقهٔ بررسی شده

منطقهٔ بررسی شده بین طول‌های′۳۰ °٤۹ و′٤٥ °٤۹ و عرض‌های"٤٥′۰۰ °۳٦ و "۳۰′٥۲ °۳٦ به مساحت ۳۰۹/۳۰ کیلومترمربع واقع شده است (شکل۱). نزدیک‌ترین و دورترین فاصله رومرکز زلزله منجیل به منطقهٔ بررسی شده به‌ترتیب ۲۰/٦٤ و ٤۲/٤۳ کیلومتر است. مرکز سطحی زلزله در ۲۰/٦٤ کیلومتری گوشه شمال‌غربی منطقهٔ بررسی شده واقع شده است.

زلزله منجیل

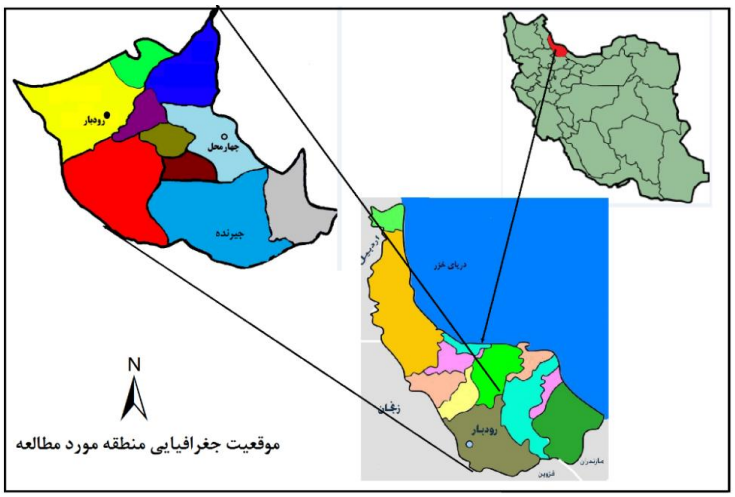
زلزله منجیل در تاریخ ۳۱ خرداد ۱۳٦۹ شمسی، به بزرگی ۷/۷ در مقیاس سطحی منطقه وسیعی از شمال غرب ایران واقع در استان‌های گیلان و زنجان را به‌شدت تکان داد. این زلزله به لحاظ بزرگی و وقوع زمین‌لغزش‌های ناشی از آن یکی از مهم‌ترین زلزله‌های تاریخ ایران محسوب می‌شود که طی بررسی‌های مختلف، مهم‌ترین زمین‌لغزش‌های ناشی از آن فهرست شده‌اند. توسعهٔ پژوهش‌های کمی و کیفی روی زلزله‌هایی که مسبب زمین‌لغزش‌های زیادی بوده‌اند (نظیر زلزله‌های منجیل، آوج، فیروزآباد کجور و سرعین)، باعث افزایش شناخت ما از این‌گونه حوادث طبیعی و درنتیجه مدیریت خطرات ناشی از آن‌ها می‌شود [۷].

زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله منج

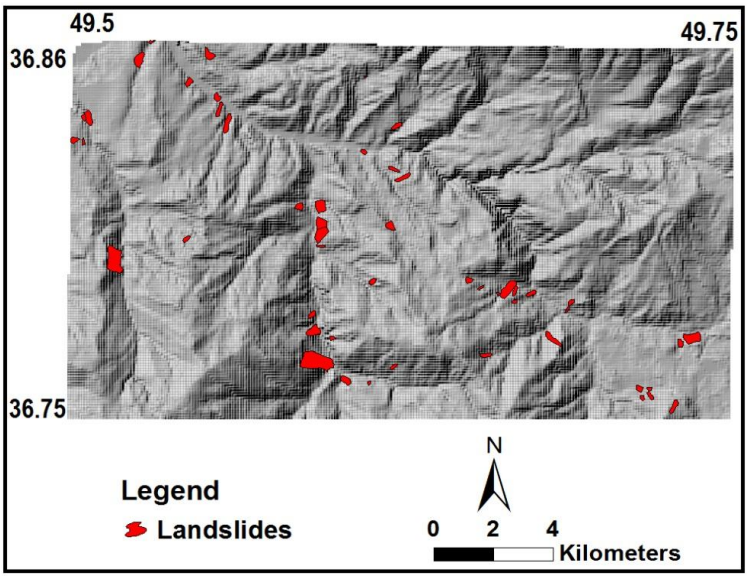
صدها زمین‌لغزش در اثر زلزله منجیل ایجاد شده است که برخی از آن‌ها موجب بسته شدن جاده‌های کوهستانی و بخش‌هایی از جاده اصلی قزوین- رشت شد. علاوه بر این، تعداد بسیار زیادی از خانه‌های روستایی، باغات، مزارع و سیستم‌های آب‌رسانی در اثر وقوع این زمین‌لغزش‌ها تخریب و بیش از ۲۰۰ نفر از اهالی مستقیماً در اثر بروز این پدیده جان خود را از دست داده‌اند [۵]. در محدوده گزارش‌شده‌اند اما با توجه به این‌که این زمین‌لغزش‌ها را محققان مختلف طی ماه‌ها پس از زلزله منجیل ثبت کرده‌اند، آثار زمین‌لغزش‌های کوچک از بین رفته و از این‌رو، تنها زمین‌لغزش‌های بزرگ گزارش شده‌اند.

مهدویفر (۱۳۸۵) ضمن بررسی پژوهش‌های سایر محققان و بررسی‌های صحرایی و مطالعه عکس‌های هوایی تعداد ۵۱ زمین‌لغزش ناشی از این زلزله را در محدودهٔ بررسی شده گزارش کرده است (شکل۲).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]



شکل۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده



شکل۲. نقشهٔ زمین لغزش‌های ناشی از زلزله منجیل در محدودهٔ این پژوهش (مهدویفر، ۱۳۸۵)

بررسی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش‌های منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله علاوه بر تهیهٔ نقشهٔ فهرست زمین‌لغزش‌های منطقهٔ بررسی شده با توجه به‌ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیمی، عوامل انسانی و زیست‌محیطی منطقه و استفاده از پژوهش‌های تطبیقی ۷ عامل مؤثر در وقوع این پدیده شناسایی و بررسی شده است. این عوامل شامل ارتفاع دامنه، شیب، شدت آریاس، زاویهٔ اصطکاک، چسبندگی، انحنای دامنه و جهت شیب است. تهیهٔ این لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار Arc Gis10.3 بدین‌شرح انجام گرفته است: لایهٔ اطلاعاتی مدل ارتفاع رقومی از نقشهٔ توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه استخراج شد. لایه‌های اطلاعاتی شیب، جهت شیب و انحنای دامنه از روی مدل ارتفاع رقومی منطقه تهیه شد. لایهٔ اطلاعاتی شدت آریاس از رقومی کردن نتایج و داده‌های اولیه به‌دست آمده از پژوهش‌های مهدویفر (۱۳۸۵) تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی چسبندگی و زاویهٔ اصطکاک نیز با تهیه و بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه، مشاهدات میدانی و استفاده از داده‌هایی با معرفی خصوصیات مهندسی واحدهای زمین‌شناختی و رقومی کردن نتایج به‌دست آمده از این اقدامات تهیه شدند. لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزلهٔ منطقه چلکاسر و چهار محل به‌صورت شکل ۳ تا ۹ است.

روش تحقیق

در این پژوهش از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش استفاده شده است. AHP روشی نیمه‌کیفی در بررسی زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسه‌های زوجی بین عوامل است و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند [۱۱]. از مزایای این روش، این است که اعمال نظر کارشناسی به‌وسیلهٔ افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. هم‌چنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به‌دست آورد. در این تحقیق از دو روش تحلیل سلسله مراتبی شامل استفاده از دانش کارشناسی و

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

استفاده از دانش داده‌ای و کارشناسی به‌صورت توأم به‌منظور تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده شده است.

روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از دانش کارشناسی

در روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از دانش کارشناسی روش کار بدین‌صورت است که، برای تعیین ارجحیت معیارها و زیرمعیارهای مختلف و تبدیل آن‌ها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسه‌های زوجی استفاده می‌شود، به‌طوری‌که تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به عوامل دیگر به‌صورت جدول ۱ در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل می‌کند [۱۰]. سپس نتایج این مقایسه‌ها، برای محاسبهٔ وزن نسبی معیارها و زیرمعیارها، وزن نهایی زیرمعیارها و نیز محاسبهٔ میزان ناسازگاری مقایسه‌ها به نرم‌افزار Expert Choice11.0 وارد می‌شود. اگر شاخص ناسازگاری محاسبه شده کم‌تر از ۰/۱ باشد نتایج قابل قبول است و در غیر این صورت باید در وزن‌دهی تجدید نظر شود. پس از محاسبهٔ وزن نهایی زیرمعیارها، وزن‌های محاسبه شده را به جدول توصیفی لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر اضافه کرده و در نهایت نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله در منطقه به‌دست می‌آید.

جدول ۱. مقادیر ترجیحات برای مقایسه‌های زوجی [١٦]

اهمیت پارامترها نسبت به یک‌دیگر	مقدار عددی
اهمیت برابر	۱
اهمیت متوسط	۳
اهمیت قوی	۵
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت فوق‌العاده قوی	۹
اهمیت بین فواصل	۲,٤,٦,۸

روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده توأم دانش کارشناسی و داده‌ای

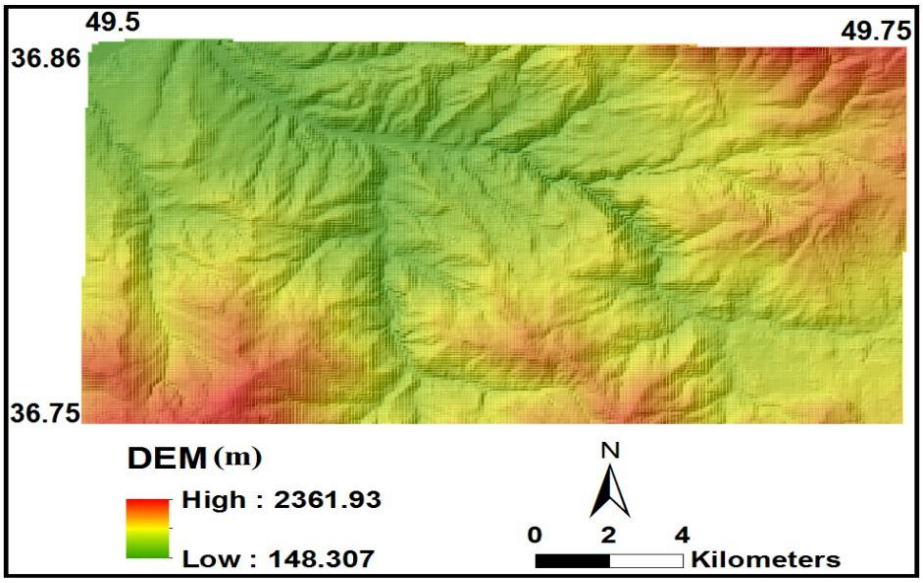
در این روش ابتدا به‌منظور تعیین ارجحیت معیارها از قضاوت‌های شفاهی (جمع‌آوری

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

نظرات کارشناسی) و مانند آن‌چه که در روش قبل توضیح داده شد استفاده می‌شود برای تعیین میزان اهمیت یا وزن (W_i) هر زیر معیار (R) از رابطهٔ (۱) استفاده می‌شود، سپس به‌منظور استانداردسازی اعدادی بین ۱ تا ۱۰ به آن‌ها اختصاص می‌یابد. این اعداد ضریب کلاس وزنی هستند؛ منظور از ضریب کلاس وزنی، ضریبی است که هنگام کلاس‌بندی معیارها در نرم‌افزار Arc Gis برحسب درجهٔ تأثیر هر زیر معیار در وقوع زمین‌لغزش به آن داده می‌شود. پس از محاسبهٔ میزان اهمیت معیارها و زیرمعیارها ابتدا مقادیر (R) در جدول توصیفی اطلاعاتی لایه‌ها وارد شده و در نهایت نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله در منطقهٔ بررسی شده تهیه می‌شود.

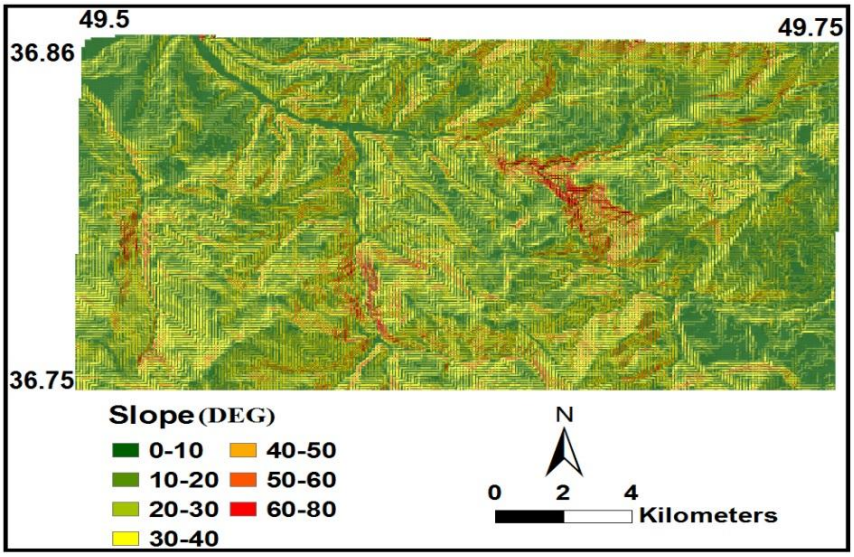
$$W_i = Ln\frac{A}{B} \qquad (۱)$$

که در آن A، مساحت زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس تقسیم بر مساحت همان کلاس، B، مساحت زمین‌لغزش‌ها در منطقه تقسیم بر مساحت منطقه و W_i وزن زیرمعیار i است.

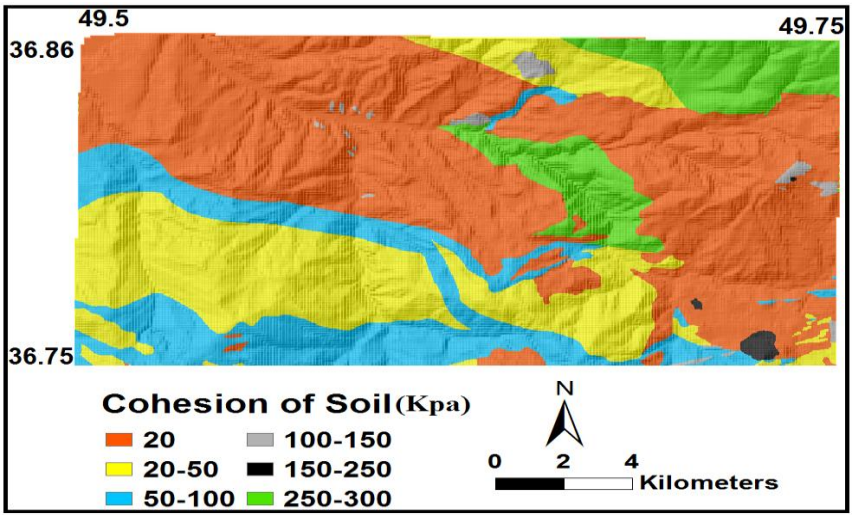


شکل۳. لایهٔ اطلاعاتی ارتفاع در منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

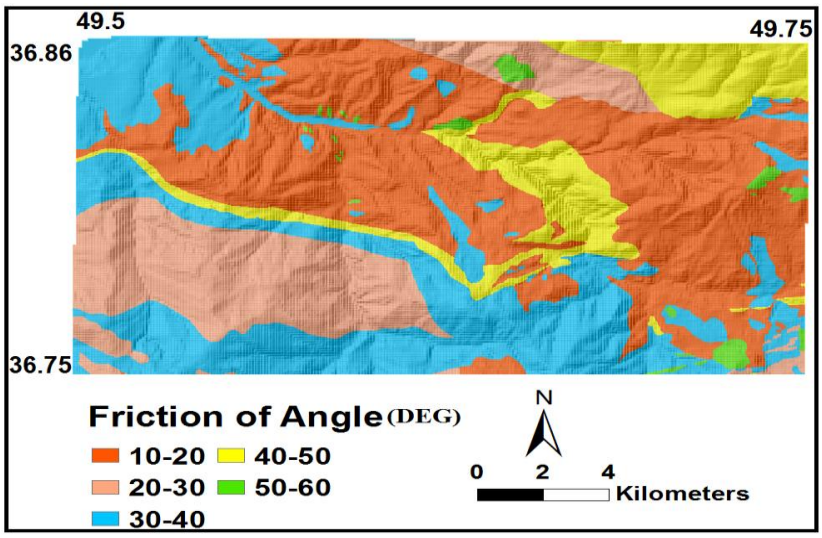


شکل٤. لایهٔ اطلاعاتی شیب در منطقهٔ بررسی شده

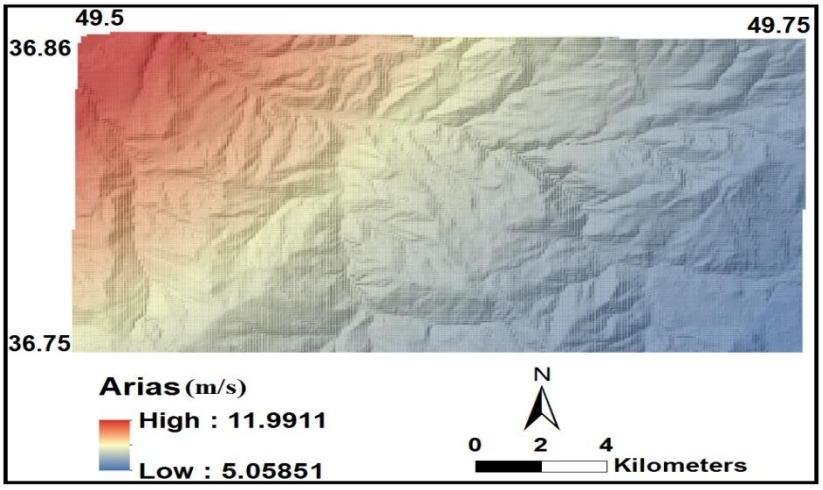


شکل٥. لایهٔ اطلاعاتی چسبندگی در منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

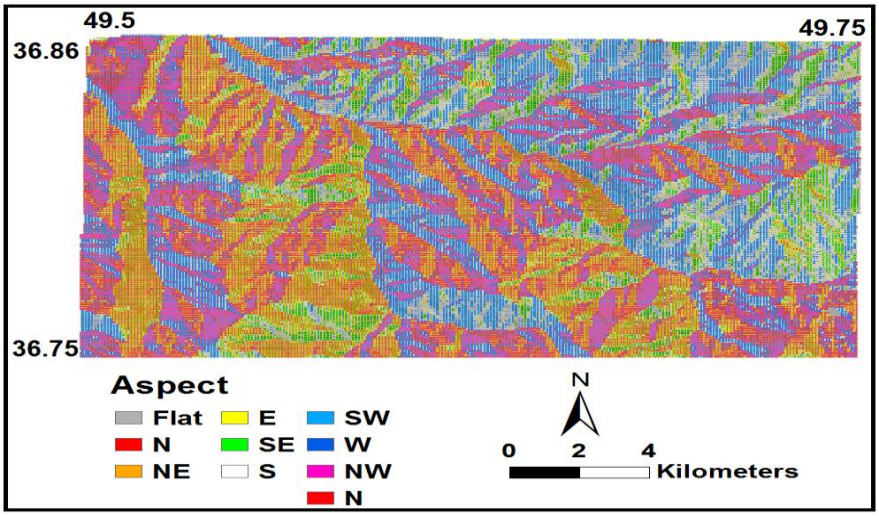


شکل٦. لایهٔ اطلاعاتی شدت آریاس در منطقهٔ بررسی شده

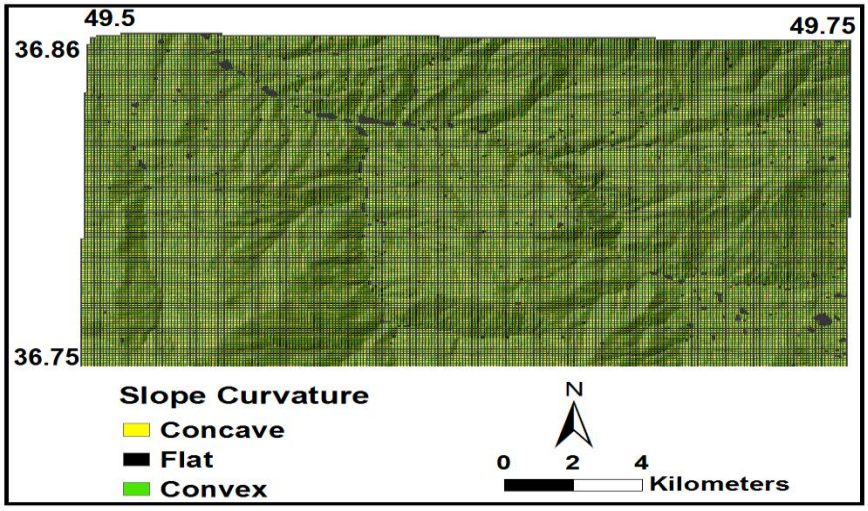


شکل٧. لایهٔ اطلاعاتی زاویهٔ اصطکاک در منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]



شکل۸. لایهٔ اطلاعاتی جهت شیب در منطقهٔ بررسی شده



شکل۹. لایهٔ اطلاعاتی انحنای دامنه در منطقهٔ بررسی شده

نتایج

وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها در روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

پس از این‌که قضاوت بین معیارها و زیرمعیارها را کارشناسان براساس جدول ١ انجام دادند، در ادامه نتایج این مقایسه‌ها به‌منظور محاسبهٔ وزن نسبی عوامل و طبقات آن‌ها و در نهایت وزن نهایی زیرمعیارها، هم‌چنین تعیین میزان ناسازگاری قضاوت‌ها در نرم‌افزار Expert Choice11.0 وارد شد. در جدول ٢ قضاوت‌های صورت گرفته و وزن‌های نسبی محاسبه شده برای معیارها و در جدول‌های ٣ و ٤ نیز قضاوت‌های صورت گرفته بین زیرمعیارها و هم‌چنین وزن‌های نسبی و نهایی حاصل شده با نرم‌افزار آورده شده است. در جدول ٥ نیز میزان ناسازگاری قضاوت‌ها آمده است.

جدول٢. ماتریس مقایسهٔ زوجی و وزن‌های نسبی *محاسبه* شده برای عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش آن‌ها به‌روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی)

عوامل مؤثر	مقایسهٔ زوجی ماتریس									وزن نسبی
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	
عوامل مؤثر										
شدت آریاس (١)	١	٢	٢	٣	٥	٧	٩			٠/٣٢
زاویهٔ اصطکاک (٢)		١	١	٣	٥	٧	٧			٠/٢٣
شیب (٣)			١	٢	٣	٥	٧			٠/١٩
چسبندگی (٤)				١	٣	٥	٧			٠/١٣
جهت شیب (٥)					١	٥	٥			٠/٠٨
ارتفاع (٦)						١	٣			٠/٠٣
انحنای دامنه (٧)							١			٠/٠٢

وزن دهی به زیرمعیارها در روش AHP (استفاده از دانش داده‌ای و کارشناسی)

در این روش تعیین ارجحیت معیارها با قضاوت‌های شفاهی و نظر کارشناسی صورت می‌گیرد که در واقع از همان نتایج به‌دست آمده از روش قبل استفاده می‌شود. اما برای محاسبهٔ تأثیر زیرمعیارها در این روش از رابطهٔ ١ استفاده می‌شود. به این منظور نقشهٔ دوسوم از زمین‌لغزش‌ها را با لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر قطع داده و یک‌سوم از زمین‌لغزش‌های باقی‌مانده را برای ارزیابی سیستم در نظر گرفته شده‌اند. در ادامه وزن‌های به‌دست آمده از این رابطه برای طبقات مختلف عوامل باید استانداردسازی شوند. برای استانداردسازی اعدادی بین ١ تا ١٠ به هر یک از آن‌ها *اختصاص* می‌یابد به‌صورتی که هر چه تأثیر آن طبقه در بروز زمین‌لغزش بیش‌تر باشد عدد بزرگ‌تر، و هر چه تأثیر کم‌تری در زمین‌لغزش داشته باشد عددی کوچک‌تری به آن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

نسبت داده می‌شود. به این اعداد ضریب کلاس وزنی می‌گویند. در جدول ٦ وزن‌های به‌دست آمده برای زیرمعیارها و ضریب کلاس وزنی اختصاص‌یافته به آن‌ها آمده است.

جدول۳. ماتریس مقایسهٔ زوجی و وزن‌های نسبی و نهایی محاسبه شده برای زیرمعیارهای عوامل مؤثر به‌روش AHP (با استفاده از دانش کارشناسی)

زیرمعیارهای	مقایسهٔ زوجی ماتریس									وزن	وزن
عوامل	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩	نسبی	نهایی
شیب											
(١) ٥٠-٦٠	١	١	٢	٣	٣	٣	٥			٠/٢٦	٠/٠١١
(٢) ٤٠-٥٠		١	٢	٣	٣	٣	٤			٠/٢٥	٠/٠٢١
(٣) ٣٠-٤٠			١	٢	٢	٣	٤			٠/١٧	٠/٠٢٩
(٤) ٢٠-٣٠				١	٢	٢	٣			٠/١١	٠/٠٤٣
(٥) ١٠-٢٠					١	١	١			٠/٠٨	٠/٠٦٦
(٦) >٦٠						١	٢			٠/٠٧	٠/٠٦٧
(٧) ٠-١٠							١			٠/٠٤	٠/٠١٩
انحنای دامنه											
محدب (١)	١	١	٥							٠/٤٨	٠/٠٠٨
مقعر (٢)		١	٣							٠/٤١	٠/٠٠٧
صاف (٣)			١							٠/١١	٠
ارتفاع											
(١) ٨٠٠-١٠٠٠	١	١	٢	٢	٣	٣	٤	٦	٧	٠/٢٢	٠/٠٠٤
(٢) ١٤٠٠-١٦٠٠		١	٢	٣	٣	٣	٣	٥	٦	٠/٢١	٠/٠٠٥
(٣) ٤٠٠-٦٠٠			١	٢	٣	٤	٤	٥	٦	٠/١٨	٠/٠١٠
(٤) ١٠٠٠-١٢٠٠				١	٢	٣	٣	٥	٥	٠/١٣	٠/٠٠٣
(٥) ٢٠٠-٤٠٠					١	٢	٢	٣	٥	٠/٠٨	٠/٠١٢
(٦) ١٤٨-٢٠٠						١	١	٣	٤	٠/٠٦	٠/٠٠٧
(٧) ٦٠٠-٨٠٠							١	٣	٣	٠/٠٦	٠/٠٠٢
(٨) ١٢٠٠-١٤٠٠								١	٣	٠/٠٤	٠/٠١٢
(٩) ١٦٠٠-٢٣٦٢									١	٠/٠٢	٠/٠٠١

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

جدول٤. ماتریس مقایسهٔ زوجی و وزن‌های نسبی نهایی محاسبه شده برای زیرمعیارهای هر یک از عوامل مؤثر به‌روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی)

عوامل مؤثر	مقایسه زوجی ماتریس									وزن نسبی	وزن نهایی
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٩		
شدت آریاس											
(١) >١٠	١	٣	٥	٥	٧	٩				٠/٤٦	٠/٠٠٧
(٢) ٩-١٠		١	٣	٣	٥	٧				٠/٢٤	٠/٠١٢
(٣) ٨-٩			١	٢	٥	٥				٠/١٤	٠/٠٢٢
(٤) ٧-٨				١	٣	٣				٠/٠٩	٠/٠٣٤
(٥) ٦-٧					١	٣				٠/٠٥	٠/٠٦٠
(٦) ٥-٦						١				٠/٠٣	٠/١١٥
چسبندگی											
(١) ٠-٢٠	١	٢	٣	٤	٥	٦				٠/٣٨	٠/٠٤٧
(٢) ٢٠-٥٠		١	٢	٣	٤	٥				٠/٢٥	٠/٠٣٠
(٣) ٥٠-١٠٠			١	٢	٣	٤				٠/١٦	٠/٠١٩
(٤) ١٠٠-١٥٠				١	٢	٣				٠/١٠	٠/٠١٢
(٥) ٢٠٠-٢٥٠					١	٢				٠/٠٦	٠/٠٠٨
(٦) ٢٥٠-٣٠٠						١				٠/٠٤	٠/٠٠٥
زاویهٔ اصطکاک											
(١) ٠-٢٠		١	٢	٣	٤	٥				٠/٤٢	٠/٠٨٤
(٢) ٢٠-٣٠			١	٢	٣	٤				٠/٢٦	٠/٠٥٣
(٣) ٣٠-٤٠				١	٢	٣				٠/١٦	٠/٠٣٢
(٤) ٤٠-٥٠					١	٢				٠/١	٠/٠٢٠
(٥) ٥٠-٦٠						١				٠/٠٦	٠/٠١٢
جهت شیب											
(١) E	١	٢	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨	٠/٢٩	٠/٠١٧
(٢) NE		١	١	٢	٣	٤	٤	٥	٧	٠/١٩	٠/٠٠٢
(٣) Flat			١	٢	٢	٣	٣	٥	٥	٠/١٦	٠/٠١٨
(٤) NW				١	١	٢	٣	٣	٤	٠/١	٠/٠٢٨
(٥) W					١	٢	٣	٣	٥	٠/٠٩	٠/٠٠٥
(٦) SW						١	١	٢	٣	٠/٠٥	٠/٠٠٣
(٧) SE							١	٢	٣	٠/٠٥	٠/٠٠٥
(٨) S								١	٣	٠/٠٣	٠/٠٠٩
(٩) N									١	٠/٠٢	٠/٠١٠

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

جدول ٥. مقادیر میزان ناسازگاری مدل‌های AHP

مدل ها	نرخ ناسازگاری‌ها
قضاوت معیارها	٠/٠٦
شدت آریاس	٠/٠٦
زاویهٔ اصطکاک	٠/٠٢
شیب	٠/٠٢
چسبندگی	٠/٠٢
جهت شیب	٠/٠٢
ارتفاع	٠/٠٤
انحنای دامنه	٠/٠٣
کل سیستم	٠/٠٤

جدول٦. وزن مؤثر و ضریب کلاس وزنی محاسبه‌شده برای طبقات عوامل مؤثر به‌روش تحلیل سلسله مراتبی (استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای)

عوامل مؤثر (وزن نسبی)	طبقات عوامل	W_i	ضریب کلاس وزنی	عوامل مؤثر (وزن نسبی)	طبقات عوامل	W_i	ضریب کلاس وزنی
شدت آریاس (٠/٣١٧)	٥–٦	−٠/١٤	٧	شیب (٠/١٨٧)	٠–١٠	−٠/٠٧	٦
	٦–٧	−٠/١٥	٦		١٠–٢٠	−٠/٣٥	٤
	٧–٨	٠/٢٢	٩		٢٠–٣٠	−٠/٠٦	٧
	٨–٩	−٠/٢٣	٥		٣٠–٤٠	−٠/١٠	٥
	٩–١٠	٠/٠٥	٨		٤٠–٥٠	٠/٤٦	٨
	>١٠	٠/٤٨	١٠		٥٠–٦٠	١/٧٩	١٠
زاویهٔ اصطکاک (٠/٢٣٤)	٠–٢٠	−٠/٧٠	٦		>٦٠	٠/٦٦	٩
	٢٠–٣٠	٠/٧٢	٩	چسبندگی (٠/١٢٩)	٠–٢٠	−٠/٢٥	٦
	٣٠–٤٠	٠/٠٤	٨		٢٠–٥٠	٠/٥٩	٩
	٤٠–٥٠	−٠/٥٥	٧		٥٠–١٠٠	−٠/١٥	٧
	٥٠–٦٠	١/٣٨	١٠		١٥٠–٢٠٠	٠/٣٩	٨
انحنای دامنه (٠/٠٢٢)	مقعر	٠/٠١٤	١٠		٢٠٠–٢٥٠	٢/٣١	١٠
	صاف	−٠/٠٠٧	٨		٢٥٠–٣٠٠	−٥/٦١	٥
	محدب	٠/٠٠٣	٩	جهت شیب (٠/٠٧٧)	FLAT	٠/١٥	٨
ارتفاع دامنه (٠/٠٣٤)	١٤٨–٢٠٠	−٠/٣٩	٦		N	٠/١٤	٧
	٢٠٠–٤٠٠	٠/٨٣	٩		NE	٠/٤٨	٩

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

عوامل مؤثر (وزن نسبی)	طبقات عوامل	W_i	ضریب کلاس وزنی	عوامل مؤثر (وزن نسبی)	طبقات عوامل	W_i	ضریب کلاس وزنی
	٤٠٠–٦٠٠	٠/٠٦	٧		E	٠/٦٨	١٠
	٦٠٠–٨٠٠	–٠/٥١	٥		SE	–٠/٨٠	٣
	٨٠٠–١٠٠٠	١/٠٣	١٠		S	–٠/٧٨	٤
	١٠٠٠–١٢٠٠	٠/٣٢	٨		SW	–٠/٨٩	٢
	١٢٠٠–١٤٠٠	–٠/٨٢	٤		W	–٠/٦٢	٥
	١٤٠٠–١٦٠٠	–١/٣٤	٢		NW	–٠/٥٤	٦
	١٦٠٠–٢٤٠٠	–٦/١٥	٣		-	–	–

تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی)

پس از تعیین وزن نسبی هر یک از معیارها و زیرمعیارها و در نهایت محاسبه وزن نهایی زیرمعیارها، ابتدا وزن نهایی به‌دست آمده برای زیرمعیارها را در غالب یک ستون جدید به جدول توصیفی لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر اضافه کرده سپس با استفاده از ابزار Weighted Sum که یکی از ابزارهای جعبه‌ابزار ArcToolbox در محیط نرم‌افزارArc Gis10.3 است نقشه‌های معیارها را بر اساس ستون وزن‌های نهایی با یک‌دیگر تلفیق و نقشهٔ پهنه‌بندی استخراج شد. سپس نقشهٔ تهیه شده براساس نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی به چهار پهنهٔ خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد. در نهایت نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله برای منطقه چلکاسر و چهارمحل به‌دست آمده است (شکل ۱۰).

تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به‌روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای)

در این روش پس از این‌که وزن معیارها و نیز ضریب کلاس وزنی برای هر یک از زیرمعیارها به‌دست آمد، ابتدا ضرایب کلاس وزنی محاسبه شده را در غالب یک ستون جدید به جدول توصیفی لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر اضافه کرده و در ادامه با استفاده از ابزار Weighted Sum در محیط نرم‌افزار Arc Gis10.3 ابتدا وزن‌های به‌دست آمده برای عوامل مؤثر را به هر یک از نقشه‌های عوامل اعمال کرده سپس بر اساس ستون ضرایب کلاس وزنی، نقشه‌ها را با یک‌دیگر تلفیق کرده و نقشهٔ پهنه‌بندی استخراج شد. در ادامه و براساس نقاط عطف منحنی

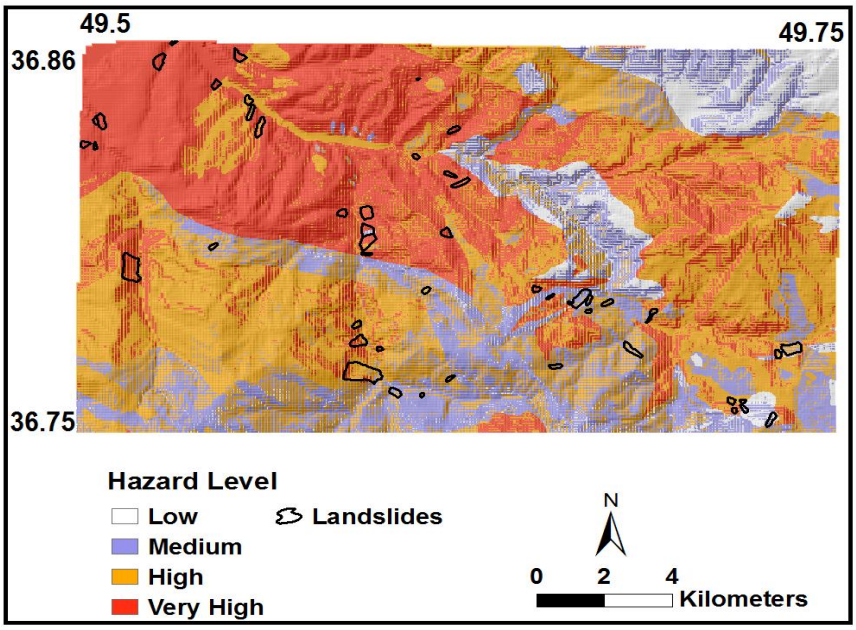
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

فراوانی تجمعی نقشهٔ تهیه شده را به چهار پهنهٔ خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شده و به این ترتیب نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله برای منطقه چلکاسر و چهارمحل به‌دست آمده است (شکل ۱۱).

تجزیه و تحلیل نتایج

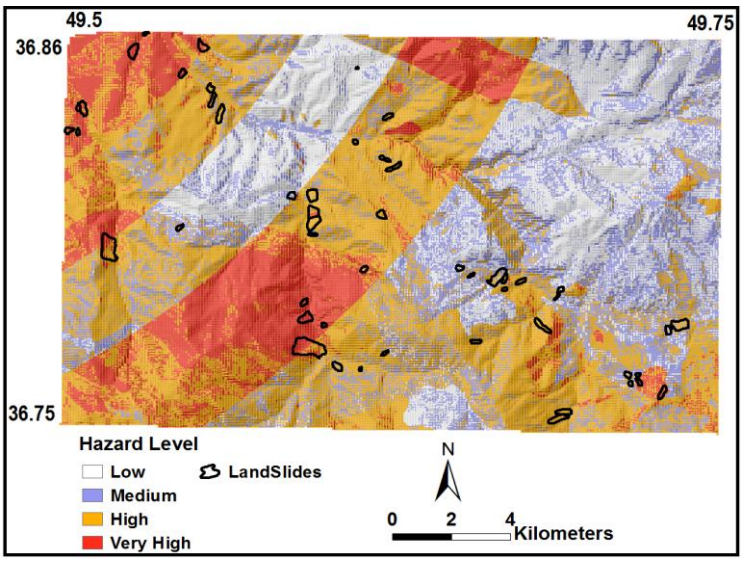
صحت‌سنجی و ارزیابی مدل‌ها

به‌منظور صحت‌سنجی و ارزیابی دقت مدل‌ها در این پژوهش از دو شاخص به نام‌های مجموع کیفیت (QS) و دقت روش (P) استفاده شده است. برای این کار ابتدا نقشه یک‌سوم زمین‌لغزش‌ها را با نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمده در این پژوهش قطع داده شد. سپس با استفاده از روابط حاکم بر هر روش به محاسبه مقدار دو پارامتر Q_S و P پرداخته شد.



شکل ۱۰. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله به روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی) در منطقه چلکاسر و چهارمحل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]



شکل۱۱. نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله به‌روش AHP (استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای) در منطقهٔ چلکاسر و چهارمحل

۱. صحت یا مجموع کیفیت (QS)

برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه شود، که این محاسبه در قالب رابطهٔ(۲) انجام شود [۲۰].

$$D_r = \frac{\frac{S_i}{A_i}}{\frac{\sum_i^n S_i}{\sum_i^n A_i}} \qquad (۲)$$

که در آن، S_i؛ مجموع مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر، A_i؛ مساحت iامین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی؛ و n؛تعداد رده‌های خطر است.

مجموع کیفیت که از طریق رابطهٔ (۲) محاسبه می‌شود، نشان‌دهندهٔ صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش است. معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر و هفت قرار می‌گیرد. البته از بعد نظری حدی برای آن وجود ندارد. در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

ارزیابی روش‌ها هر چه مقدار مجموع کیفیت (QS) در روشی بیش‌تر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیش‌تری دارد. مقدار مجموع کیفیت از رابطهٔ (۳) به‌دست می‌آید [۲۰]:

$$Q_S = \sum_{i=1}^{n}((D_r - 1)^2 \times S) \qquad (۳)$$

که در آن، Q_S؛ مجموع کیفیت، D_r؛ نسبت تراکم، S؛ نسبت مساحت هر رده خطر به مساحت کل منطقه و n؛ تعداد کلاس خطر است.

۲. دقت روش (P)

عبارت است از نسبت مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد به مساحت کل آن پهنه‌ها، رابطهٔ (٤) [۲۱].

$$P = \frac{KS}{S} \qquad (٤)$$

که در این رابطه، P؛ دقت روش در پهنه‌های دارای خطرزیاد و خیلی زیاد، KS؛ مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های دارای خطرزیاد و خیلی‌زیاد و S؛ مساحت پهنه‌های خطر مرتبط است.

در جدول ۷ نتایج به‌دست آمده برای شاخص‌های مذکور نشان داده‌شده است.

جدول ۷. محاسبهٔ پارامترهای Q_S و p برای مقایسه روش‌های استفاده شده در این پژوهش

روش	گستره لغزشی	A (Km^2)	L (Km^2)	A (%)	L (%)	D_r	QS	P
AHP (دانش داده‌ای و کارشناسی)	خطر کم	٦٤/٣٠٣	٠/٠٢٧	٢٠/٧٩٥	٢/٨٩٣	٠/١٣٩	٠/٤٠	٠/٠١٦
	خطر متوسط	٦٨/٣٣٩	٠/٠٨٦	٢٢/١٠٠	٩/١٦١	٠/٤١٥		
	خطر زیاد	١٢٦/٠١٢	٠/٥٦٤	٤٠/٧٥١	٦٠/٤٦٣	١/٤٨٤		
	خطر خیلی زیاد	٥٠/٥٧٢	٠/٢٥٧	١٦/٣٥٤	٢٧/٤٨٣	١/٦٨٠		
AHP (دانش کارشناسی)	خطر کم	٢١/٠٥	٠/٠١٩	٦/٨١	٢٠/٠٢٥	٠/٠٧٥	٠/٣٧	٠/٠٠٦
	خطر متوسط	٦٢/٢٢	٠/١٤٠	٢٠/١٢	١٤/٩٤٧	٠/١٨٨		
	خطر زیاد	١٣٠/١٢	٠/٣٠٢	٤٢/٠٨	٣٢/٤٠١	٠/١٩٥		
	خطر خیلی زیاد	٩٥/٨٤	٠/٤٧٣	٣٠/٩٩	٥٠/٦٢٧	٠/٤١٣		

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

بحث

نتایج به‌دست آمده از مقایسه‌های زوجی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش نشان می‌دهد ارجحیت نسبی عوامل به‌ترتیب شامل عامل شدت آریاس، زاویهٔ اصطکاک، شیب، چسبندگی، جهت شیب، ارتفاع و انحنای دامنهٔ است. بیش‌ترین تأثیر در زیرمعیارها برای زیرمعیار ١١/٥٤–١٠ مربوط به عامل شدت آریاس و نیز کم‌ترین تأثیر نیز برای زیرمعیار صاف از عامل انحنای دامنه است. هم‌چنین با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمده، در مدل اول ٧٣ درصد و در مدل دوم ٥٧ درصد از سطح منطقه را پهنه‌های خطرزیاد و خیلی‌زیاد تشکیل داده‌اند که نشان دهندهٔ حساسیت زیاد منطقهٔ بررسی شده به پدیدهٔ زمین‌لغزش ناشی از زلزله است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از صحت‌سنجی و ارزیابی مدل‌ها و مقایسهٔ نقشهٔ تهیه شده به‌روش تحلیل سلسله مراتبی (استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای) و روشی که در آن صرفاً از دانش کارشناسی استفاده شده است نشان می‌دهد که نقشهٔ حاصل از روشی که در آن برای وزن‌دهی به پارامترها از دانش کارشناسی و داده‌ای به‌صورت توأم استفاده شده است، تطابق بیش‌تری با نقشهٔ فهرست زمین‌لغزش‌های منطقه دارد.

نتیجه‌گیری

به‌طورکلی زمین‌لغزش‌ها به‌خصوص زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله نوعی حرکات دامنه‌ای هستند که منجر به جابه‌جایی مواد سطحی در دامنه‌های پرشیب می‌شود. وقوع خسارت‌هایی از قبیل از بین رفتن مناطق مسکونی، افزایش میزان فرسایش خاک، پر شدن سریع سدها، تخریب راه‌های ارتباطی و پل‌ها، کاهش حاصل‌خیزی خاک و مشکلات بسیارزیاد دیگر را نیز در بر دارد. داشتن اطلاعات کافی در خصوص مناطقی مستعد حرکات دامنه‌ای است برای کاهش خسارات جانی و مالی الزامی است. از این رو پهنه‌بندی خطر با مدل‌های مناسب یکی از اقدامات اساسی در مدیریت خطر مناطق مختلف کشور محسوب می‌شود.

در این پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش های ناشی از زلزله در منطقه چلکاسر و چهارمحل ٧ عامل تأثیرگذار بررسی شده است. بعد از تهیهٔ نقشهٔ عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

با استفاده از دو روش تحلیل سلسله مراتبی؛ ۱) با روی‌کرد استفاده از دانش کارشناسی و ۲) استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای به‌صورت توأم، اقدام به تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناشی از زلزله برای منطقهٔ بررسی شده است. در روش اول تعیین ارجحیت معیارها و زیرمعیارها طبق نظرات کارشناسی صورت گرفت و در روش دوم برای وزن‌دهی به معیارها از همان نتایج روش اول استفاده شد ولی برای تعیین اهمیت هر یک از زیرمعیارها از دانش داده‌ای و درواقع از زمین‌لغزش‌های رخ داده ناشی از زلزله در منطقه بررسی شده استفاده شد.

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد ارجحیت نسبی عوامل به‌ترتیب شامل عامل شدت آریاس، زاویهٔ اصطکاک، شیب، چسبندگی، جهت شیب، ارتفاع و انحنای دامنه است. هم‌چنین با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی به‌دست آمده، در مدل اول ۷۳ درصد و در مدل دوم ۵۷ درصد از سطح منطقه را پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد تشکیل داده‌اند که نشان‌دهندهٔ حساسیتزیاد منطقهٔ بررسی شده به پدیدهٔ زمین‌لغزش ناشی از زلزله است.

طبق نتایج به‌دست آمده از بررسی و ارزیابی دو مدل در روشی که در آن از دانش کارشناسی و داده‌ای با هم استفاده شده بود مقدار شاخص مجموع کیفیت (Q_S) برابر ۰/٤۰ و مقدار دقت روش (P) برابر با ۰/۰۱٦ به‌دست آمد. این در حالی است که در روشی که در آن تنها از دانش کارشناسی برای وزن‌دهی به معیارها و زیرمعیارها استفاده شد مقدار مجموع کیفیت و دقت روش به‌ترتیب برابر ۰/۳۷ و ۰/۰۰٦ محاسبه شد. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت، روش تحلیل سلسله مراتبی(AHP) که در آن برای تعیین ارجحیت معیارها و زیرمعیارها از دانش کارشناسی و داده‌ای به‌صورت توأم استفاده شده است کارایی بهتری نسبت به مدل دیگر داشته و نتایج آن به واقعیت نزدیک‌تر است. به‌علاوه این‌که در تفکیک پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد نیز بهتر عمل می‌کند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

تقدیر و تشکر

از آقایان دکتر فاطمی‌عقدا، دکتر مهدویفر، دکتر خامه‌چیان، دکتر نیکودل، دکتر حق‌شناس، مهندس معماریان و عدالت برای همکاری و در اختیار گذاشتن تجربیات مؤثرشان تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

١. مهدویفر م.ر."ارزیابی تحلیلی و طراحی سامانه مدیریت ریسک زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در کشور" پایان‌نامه دکتری پژوهشکده زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله(١٣٨٥).

٢. رجبی ع.م."بررسی احتمالی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در ایران،" پایان‌نامه دکتری زمین‌شناسی گرایش مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس (١٣٨٩).

٣. باقری، و."پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله (مطالعه موردی زلزله اردبیل)،" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه خوارزمی تهران(١٣٩١).

٤. حائری، س.م.، ستاری م.ح.، "لغز شهای بزرگ بوقوع پیوسته بر اثر زلزله ٣١ خرداد ماه ١٣٦٩ منجیل"، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران، معاونت شهرسازی و معماری وزارت مسکن و شهرسازی(١٣٧٢).

٥. کمک پناه ع.، حافظی مقدس ن.،"پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران، جلد ششم: شناسایی و به نقشه درآوردن زمین‌لغزه‌های مهم تحریک‌شده در زلزله خردادماه ١٣٦٩ منجیل." پژوهشکده زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله(١٣٧٢).

٦. نوگل سادات م.،"طرح جامع خطر رانش استان گیلان." کارفرما: زیر کمیته زلزله و لغزش لایه‌های زمین معاونت شهرسازی و معماری وزارت مسکن و شهرسازی(١٣٧٥).

٧. جعفری م.ک.، منتظرالقائم س.، مهدویفر م. ر.، حیدری م.، "مطالعات زمین لغز شهای مرتبط با زلزله در البرز (گزارش مرحله اول)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله(١٣٧٩).

٨. توفیق ریحانی م.ح.، "پیآمدهای زمین شناختی زلزله چنگوره-آوج، مجموعه مقالات سمینار درس هایی از زلزله چنگوره- آوج، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن(١٣٨١).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

۹. امینی حسینی ک.، مهدویفر م.ر.، کشاورز بخشایش م.، خزاعی ب.، آزادی الف.، سهرابی بیدار ع.، روانفر س ا.، کمالپور ف.، رخشنده م .، بانکی ش.، "گزارش شناسایی زمین لغز شهای ناشی از زلزله ۱۳۸۳فیروزآباد-کجور، پژوهشنامه زلزله شناسی و مهندسی زلزله(۱۳۷۵)، جلد۷، شماره ۲.

۱۰. قدسی پور ح.،"فرآیند تحلیل سلسله مراتبی." چاپ هفتم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر(۱۳۸۸).

11. Ayalew L., Yamagishi H., "The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains", Central Japan. Geomorphology, 65,(2005) 15-31.

12. Jibson R.W., "Regression models for estimating coseismic landslide displacement", Engineering Geology (2007).

13. Del Gaudio V., Wasowski J., "Seismic rock fall hazard in the sele river valleyT southern Italy", Thomas Thelford (2000).

14. Keefer D. K., "Landslides caused by earhquakes. Geological Society American Bulletin", 95 (1984) 406-421.

15. Mahdavifar M. R., Solaymani S., Jafari M. K., "Landslides triggered by the Avaj", Iran earthquake of June 22. Engineering Geology, 86 (2002) 166-182.

16. Saaty T. L., "Axiomatic foundation of analytical hierarchy process", Journal of Management science, Vol. 31, No. 7 ((1986)) 841-855.

17. Komac M., "A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia", Geomorphology, 74 (2006) 17-28

18. Miles S. B., Keefer D. K., "Toward a Comprehensive Areal Model of Earthquake- Induced Landslides , Natural Hazard Center (2009a).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]

19. Memarian P., Mahdavifar M., "Distribution and Characteristics of Landslides Induced by the Varzeghan Ahar Earthquake Doublet (Mw=6.4 and Mw= 6.3) in 2012 in Azerbaijan E Sharghi, Northwest of Iran. IPL Symposium (2002) 35.
20. Gee, M. D.,"Classification of River Basin", Central Italy, Environmental management, 25 (1992) 247-263.
21. Jade S., Sarkar S., "Statistical Models for Slope Instability", Classifications Engineering Geology, 36 (1993) 91-98.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.4.3.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.4.635]