تأثیر گسلش بر احتمال وقوع زمین‌لغزش‌ها، مطالعهٔ موردی: زمین‌لغزش‌های منطقهٔ نرگس‌چال

حجت‌اله صفری*، حامد رضایی، افسانه قجقی؛
دانشگاه گلستان، دانشکدهٔ علوم، گروه زمین‌شناسی

تاریخ: دریافت ۹۷/۰۴/۰۳ پذیرش ۹۸/۰۶/۲۵

چکیده

زمین لغزش‌ها به‌عنوان مخاطرات طبیعی، موجب خسارات فراوانی می‌شوند، در بسیاری از موارد می‌توان با شناخت زمین‌شناسی مناطق مختلف، وقوع زمین‌لغزش‌ها را پیشگویی و با راهکارهای مناسب از وقوع آن جلوگیری کرد. یکی از مناطق مستعد و پرخطر از نظر زمین‌لغزش در البرز شرقی، منطقه نرگس‌چال است. در این پژوهش، به‌کمک روش‌های سنجش از دور، GIS و هم‌چنین مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرایی اقدام به بررسی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش‌ها در منطقه نرگس‌چال شد. در این راستا هفت لایه اطلاعاتی برداری از عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش تهیه شده و به مقادیر موجود در هر لایه اطلاعاتی وزن داده شده و کلاس‌بندی انجام شد. در نهایت با محیط نرم‌افزاری GIS نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شد. نتایج حاصل از تهیه نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که الگوی فضایی بیش‌ترین خطرات زمین‌لغزش به‌صورت نواری پهن با امتداد شمال‌شرق-جنوب‌غربی قابل مشاهده است. نتایج حاصل از بررسی اثر شکستگی‌ها (به‌عنوان عوامل ساختاری) بر پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که عوامل ساختاری نظیر گسل‌های اصلی (و سایر شکستگی‌های مرتبط با آنها) به‌طور غیرمستقیم، با ایجاد شیب‌های تند، ایجاد مناطق خردشده و نامقاوم، ایجاد مناطق چشمه‌سار و ایجاد زلزله‌ها، تعیین‌کننده الگوی پراکنش بیش‌ترین خطر زمین‌لغزش بوده است و تأثیر زیادی بر رخ‌داد این بلای طبیعی داشته‌اند.

واژه‌های کلیدی: منطقهٔ نرگس‌چال، پهنه‌بندی زمین‌لغزش، سنجش از دور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، گسلش

*نویسنده مسئول safari.ho@gmail.com

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

مقدمه

بنا به تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین‌لغزش به جابه‌جایی به‌سمت پایین توده‌ای از مواد روی یک شیب اطلاق می‌شود. زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان مخاطرات طبیعی، از جمله پدیده‌های زمین‌شناسی قابل بررسی و پیش‌بینی هستند که می‌توان با شناخت ویژگی‌های عمومی و زمین‌شناسی مناطق مختلف، پتانسیل رخداد آنها را پهنه‌بندی کرده و در بسیاری از موارد، وقوع آنها را پیش‌گویی کرد. یک نقشه پهنه‌بندی شامل تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مشابه از نظر خطر زمین‌لغزش و عوارض ناشی از آن است. روش های متعددی برای پهنه بندی وجود دارد که همگی آنها باتوجه به سه فرض زیر پایه‌ریزی شده‌اند:

۱. فعالیت لغزش گذشته و نشان‌دهندهٔ استعداد بالای زمین لغزش منطقه دارد.

۲. عوامل مؤثر در زمین‌لغزش قابل شناسایی است.

۳. میزان خطر قابل پیش‌بینی است.

هدف روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کمک به اتخاذ تصمیم‌های مرتبط با محیط‌های شهری و برنامه‌ریزی منطقه‌ای برای کاهش خطر بلایای طبیعی است [۵]. کشور ما نیز با توجه به قرار گرفتن روی کمربند لرزه‌ای و بروز زلزله‌های متعدد و هم‌چنین وضعیت مورفولوژی زمین و زمین‌شناسی در معرض زمین‌لغزش‌های متعدد (ناشی از زلزله و سایر عوامل) و خسارات ناشی از آن قرار دارد، از این‌رو تلاش برای شناخت این پدیده و راه‌های پیش‌بینی آنها اهمیت زیادی دارد. به‌طورکلی روش‌های تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش را می‌توان به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد. روش‌های مستقیم بر شناسایی لندفرم‌های همراه با زمین‌لغزش متکی است. روش‌های غیرمستقیم بر اساس شناسایی عوامل کنترل‌کننده توزیع زمین‌لغزه‌ها و استفاده از وجود این عوامل کنترل‌کننده به‌عنوان معرف‌های پتانسیل زمین‌لغزش بنا نهاده شده‌اند. روش‌های غیرمستقیم از پنج مرحلهٔ اساسی: انتخاب واحدهای کاری (تعیین درجهٔ خطر)، تهیهٔ نقشه‌های پارامتریک (نقشه‌های شیب، سنگ‌شناسی، لرزه‌خیزی، بارندگی و غیره)، وزن‌دهی مناسب به زیرگروه‌های مختلف (وزن‌دهی کور، وزن‌دهی براساس زمین‌لغزه‌های رخداده در منطقه و یا وزن‌دهی بعد از حادثه)، وزن‌دهی مناسب به هرکدام از نقشه‌های عامل در مقایسه با یک‌دیگر و ارزیابی خطر

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

نسبی در هر واحدکاری با استفاده از هم‌پوشانی نقشه‌های عوامل مختلف و جمع کردن وزن‌های حاصل از هر نقشه تشکیل یافته‌اند. در این رابطه افرادی در ایران و سایر نقاط جهان از روش‌های غیرمستقیم پهنه‌بندی استفاده کرده‌اند که در ذیل به مهم‌ترین آنها می‌پردازیم:

- آنبالاگان[1] و همکاران، برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک منطقه کوهستانی هیمالیا، روشی را مبتنی بر نمره‌بندی برای ارزیابی خطر زمین‌لغزه و پهنه‌بندی آن در مناطق کوهستانی به‌کار ابداع کردند [۱۲]. در این روش نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه برمبنای ارزیابی عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزه تهیه شده و محدودهٔ بررسی شده به واحدهای شیبی تقسیم و عوامل مذکور برای هر واحد ارزیابی و امتیاز مربوط تعیین شده بود. سپس جمع امتیازهای مربوط به‌نام خطر برآورد شده کل محاسبه شد. بر اساس عدد شاخص خطر و نسبت دادن وزن به هریک از لایه‌های اطلاعاتی، هر یک از لایه‌ها به پنج رده تقسیم شد. جمع امتیازات برای هر واحد کاری در حالت بیشینه ۱۰ است. بنابراین هرچه جمع امتیازات محاسبه شده بیش‌تر باشد، خطر زمین‌لغزش درآن واحد بیش‌تر است. بر این اساس پهنه‌های لغزشی از نظر خطر نسبی تقسیم‌بندی می‌شوند.
- مورا[2] و وارسون[3]، مجموعهٔ مطالعات موردی انجام شده در رابطه با گسیختگی‌های به‌وقوع پیوسته در نتیجه وقوع زلزله‌های تاریخی و بارندگی‌های سنگین در آمریکای مرکزی را ساماندهی کرده و براساس نتایج به‌دست آمده روشی را برای پیش‌گویی پهنه‌های مستعد گسیختگی شیب پیشنهاد دادند [۲۳]. عوامل استفاده شده شامل پستی و بلندی نسبی، شرایط لیتولوژیک و رطوبت خاک بود. هم‌چنین دو عامل شدت لرزه و شدت بارندگی نیز به‌عنوان عوامل محرک در نظر گرفته شده و بر اساس این روش، شاخص خطر زمین‌لغزش به‌دست آمد.
- حق‌شناس، با بررسی آماری رابطهٔ توزیع زمین‌لغزش‌های طالقان با عوامل زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، اقلیمی و کاربری اراضی، عوامل مؤثر در کنترل توزیع زمین‌لغزش‌ها را شناسایی کرده و برای تحلیل خطر به‌کار گرفت [۶].

1. Anbagalan
2. Mora
3. Wharson

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

- حائری و سمیعی، با تلفیق و اصلاح روش‌های مرسوم یک مدل وزنی منطقه‌ای برای مناطق البرز و جنگل‌های خزری با امتیازبندی هفت متغیر و با هفت کلاس خطر تدوین کردند. آن‌ها مدل را دراستان‌های مازندران و گلستان درابعاد سلولی ۲۵۰۰×۲۵۰۰ متر اجرا و براساس شواهد زمینی و نظر کارشناسی کارایی مدل را سنجیده و آن‌را مطلوب ارزیابی کردند [۷]. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این روش بر اساس هفت عامل توپوگرافی (شیب)، زمین‌شناسی، طول آبراهه‌ها، طول گسل‌ها در هر واحد کاری (سلول)، زمین‌لرزه، شدت بارندگی و رطوبت خاک انجام گرفت.
- محمدخان، نیز عمل پهنه‌بندی خطر حرکت‌های توده‌ای را برای حوضه آبخیز طالقان و با در نظر گرفتن شش عامل شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، بارندگی، جهت دامنه و کاربری اراضی و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام داد [۹]. وزن هر معیار (W) بیان‌گر میزان اهمیت هر عامل نسبت به سایر عوامل است که مجموع ارزش این عوامل باید ۱۰۰درصد باشد. در این روش ابتدا با استفاده از قضاوت کارشناسی که مبتنی بر قضاوت کارشناسی پژوهش‌گر و نتایج سایر تحقیقات در حوضهٔ آبریز مجاور منطقهٔ بررسی شده و مناطقی با شرایط محیطی مشابه اقدام به رتبه‌بندی عوامل به‌ترتیب از اولویت ضعیف تا اولویت حداکثر شد. سپس این رتبه‌ها به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شد. پس از تشکیل جدول مقادیر، برای پهنه‌بندی منطقهٔ بررسی شده این مراحل انجام شد:

۱. مقایسهٔ دو به دو فاکتورها و اولویت‌بندی آنها براساس وزن آنها، برای مقایسهٔ دو به‌دو فاکتورها و تعیین اولویت، ابتدا فاکتورها با هم مقایسه شدند و ارزش‌های مربوط به هر ستون از ماتریس مقایسه، دو به‌دو با هم جمع شدند.
۲. هر عنصر ماتریس بر مقدار کل ستون آن تقسیم شدند.
۳. میانگین عناصر مطرح در هر ردیف از ماتریس استاندارد محاسبه شد. این میانگین‌ها تخمینی از وزن‌های نسبی معیارهای مقایسه شده به‌دست می‌دهند. با استفاده از این روش، وزن‌ها به‌منزلهٔ میانگینی از تمامی راه‌های ممکن از مقایسه معیارها تلقی شدند.

در این پژوهش با توجه به بررسی کارهای انجام گرفته، روش امتیازبندی آنباگالان با استفاده از قابلیت‌های محیط GIS مناسب دانسته شد و شواهد صحرایی حکایت از آن

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

داشت که مهم‌ترین عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش منطقه پارامترهایی نظیر عوامل لیتولوژی، ساختاری (میزان خردشدگی واحدهای سنگی)، شیب زمین، وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت لرزه‌خیزی [۸]، وضعیت آب‌های زیرزمینی و پراکنش جغرافیایی زمین‌لغزش‌های موجود هستند. به‌نظر می‌رسد که یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌ها، ساختارهای منطقه (به‌ویژه گسلش) باشند، به‌گونه‌ای که در پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها، اثر این عامل به‌خوبی نمایان است.

لرزه‌خیزی و گسلش فعال، شیب‌های تند دامنه‌ای، رخنمون‌های سنگی گسلیده و نرم به‌همراه متوسط بارش بالا شرایطی را فراهم کرده است که در بسیاری از مناطق البرز شرقی، پتانسیل رخداد حرکات ثقلی بزرگ مقیاس وجود داشته باشد. یکی از مناطق مستعد زمین‌لغزش در البرز شرقی منطقه نرگس‌چال (در مسیر آزادشهر–شاهرود) است (شکل ۱) که به تازگی در آن زمین‌لغزش روستای نرگس چال رخ داده است. این روستا تحت این لغزش بزرگ‌مقیاس جابه‌جا شده و جزء مناطق پرخطر استان گلستان محسوب می‌شود. در این پژوهش، ابتدا سعی خواهد شد که پدیده رخداد زمین‌لغزش‌ها در این منطقه به‌درستی شناسایی شده و ابعاد واقعی آن مشخص شود. سپس به بررسی عوامل ایجاد آن پرداخته شود و در ادامه با تهیه لایه‌های‌برداری (از عوامل مؤثر) در محیط GIS اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش کرده و در نهایت اثر (وزن) عوامل ساختاری در بین عوامل مؤثر مشخص شود.

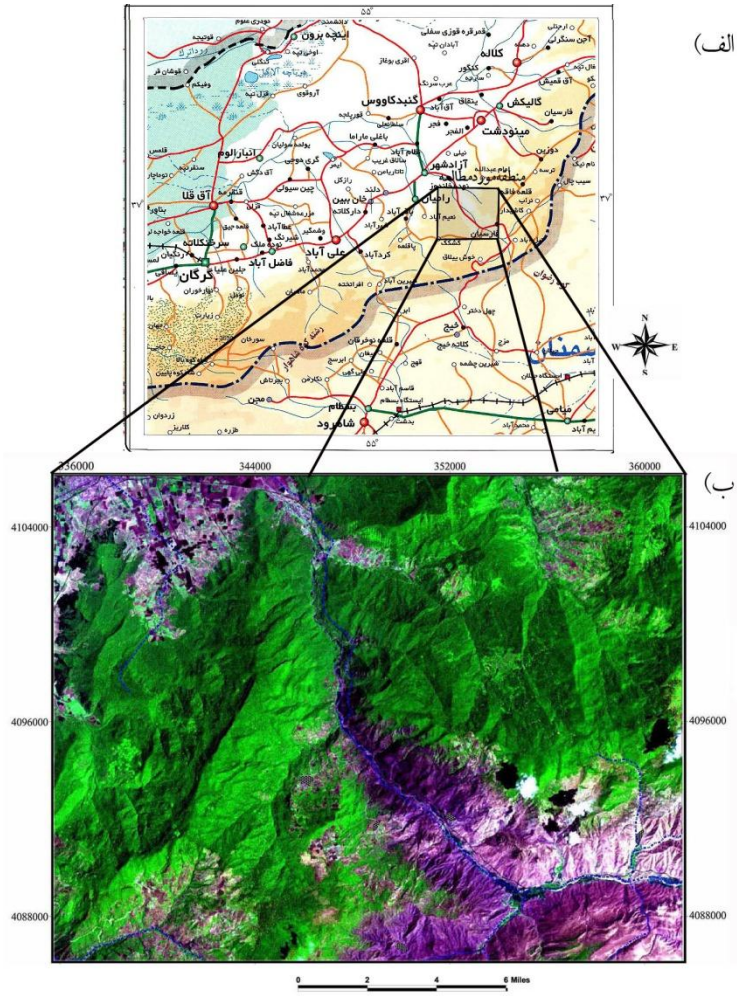
زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقهٔ بررسی شده در بخش شرقی کمربند کوهزاد البرز (در شمال ایران) قرار گرفته است. این کمربند، به‌عنوان بخشی از رشته کوه‌های آلپ– هیمالیا با پهنای حدود ۱۰۰ کیلومتر و طولی حدود ۹۰۰ کیلومتر از قفقاز کوچک در غرب تا کپه داغ در شرق گسترش داشته و حوضه خزر جنوبی را احاطه می‌کند [۱۳]، [۱٤]، [۲۰]. این رشته کوه طی فازهای کوهزایی آلپی به شکل کنونی خود درآمده است [۲۲]. به‌همین دلیل، این کمربند منطقه‌ای با دگرشکلی فعال را در درون منطقه برخوردی بین صفحه عربی و اوراسیا به مساحت ۳ میلیون مترمربع را تشکیل داده است [۱۰]، [۱۱]، [۱۵]. در البرز شرقی، ساختارها روند شمال شرقی– جنوب

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

غربی دارند و گسلش راندگی بارزترین شکل تغییر ساختاری در منطقه است. گسلش فعال، آتشفشان‌های عهد حاضر و ارتفاعات بلند از مهم‌ترین ویژگی‌های این مناطق است [۱۰]، [۱۱]. بررسی‌های اولیه نشان می‌دهد که اغلب سازوکار کانونی زلزله‌ها در نوار البرز، نشان‌دهندهٔ دو نوع گسلش معکوس و امتدادلغز چپ‌بر روی گسله‌های موازی با روند البرز است [۱٦]، [۱۸].



شکل ۱. الف) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی ب) تصویر ماهواره‌ای اصلاح‌شده

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

سکانس نسبتاً کاملی متشکل از سازندهایی به سن دونین تا ژوراسیک در منطقه نهشته شده‌اند. سازندهای این سکانس رسوبی شامل: خوش‌ییلاق (ماسه سنگ،سنگ جوش،سنگ آهک و مارن و شیل)، مبارک (آهک دولومیتی بیتومینه شده)، درود-روته (آهک روشن متوسط تا ضخیم لایه، کنگلومرا و ماسه سنگ)، الیکا (دولومیت و آهک ورمیکوله)، شمشک (توالی شیل زغال‌دار، ماسه سنگ و مارن)، دلیچای (آهک مارنی و مارن) و لار (آهک ضخیم لایه) است [۱]. ستیغ‌های بلند و دره‌های عمیق و پرشیب مهم‌ترین عوارض ریخت‌شناسی منطقه است. بررسی آرایش و نوع آبراهه‌ها نشان می‌دهد که این عوارض تابعی از وضعیت ساختارها (روند گسل‌ها) و لیتولوژی سنگ‌های مسیر است. به‌گونه‌ای که در بیش‌تر نقاط، آبراهه‌ها با امتداد شمال غرب-جنوب شرقی در مسیر عبور گسل (زون گسلش) قرار گرفته‌اند و به‌همین دلیل، شکل اکثر آبراهه‌ها در منطقهٔ بررسی شده خطی است. تنها مورد استثناء، آبراهه‌های بخش جنوب شرقی هستند که الگوی شاخه درختی را به‌نمایش گذاشته‌اند [۳].

روش انجام کار

در این پژوهش، به‌کمک روش‌های سنجش از دور، GIS و هم‌چنین مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرایی به بررسی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش‌ها در منطقه نرگس‌چال اقدام شد. در این راستا هفت لایه اطلاعاتی برداری با کمک اطلاعات و آمار موجود و پیمایش‌های دقیق صحرایی از وضعیت ساختارها، لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی، لرزه‌خیزی، آب‌های زیرزمینی و زمین‌لغزش‌های موجود تهیه شد و در ادامه کار، به مقادیر موجود در هر لایه اطلاعاتی وزن داده شده و کلاس‌بندی انجام شد. با کمک محیط GIS اقدام به‌روی هم انداختن لایه‌ها و جمع جبری مقادیر تمام لایه‌ها در هر پیکسل شد و در نهایت با کمک این محیط نرم‌افزاری نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه شد. سپس برای بررسی وزن عوامل ساختاری در این پهنه‌بندی، اقدام به قرار دادن لایه ساختاری روی نقشهٔ پهنه‌بندی در محیط GIS کرده و ارتباط فضایی ساختارها با مناطق با پتانسیل لغزش بالا بررسی و ارزیابی شد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در این بخش به‌کمک روش‌های مختلف به تهیهٔ هفت لایه اطلاعاتی شامل: عوامل ساختاری، لیتولوژی، شیب زمین، وضعیت پوشش گیاهی، وضعیت لرزه‌خیزی، وضعیت آب‌های زیرزمینی و پراکنش جغرافیایی زمین‌لغزش‌های موجود اقدام شد که بدین‌شرح است:

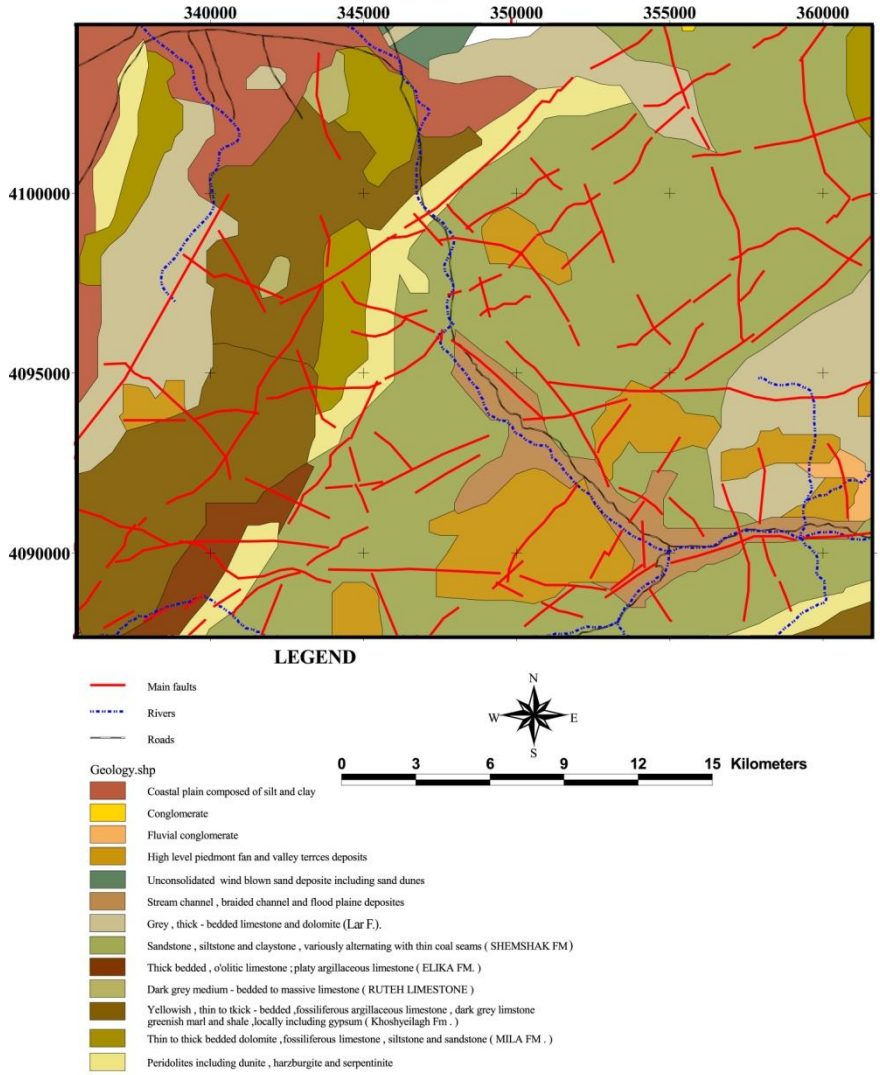
۱. **لایهٔ واحدهای سنگی**: برای تشخیص لیتولوژی های مختلف [۲]، [۲۱]، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای Landsat 7 ETM+ تهیه و تصویری با رنگ کاذب (RGB 7-4-1) ساخته شد. سپس با اعمال فیلترهای بالاگذر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه تصویر یادشده بارزسازی شد (شکل ۱ ب). سپس به‌کمک روش نیمه‌خودکار مشاهده‌ای لایه‌های مختلف با سنگ‌شناسی متفاوت در منطقه شناسایی شده و به‌صورت نقشهٔ چینه‌شناسی آماده شد. سپس با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و از طریق کنترل‌های میدانی لایه‌های سنگی با لیتولوژی‌های متفاوت از هم تفکیک شد (شکل ۲).

۲. **لایه شکستگی‌ها:** برای شناسایی اولیه شکستگی‌ها، با اعمال فیلترهای جهت‌دار[1] در جهات ٤٥، ۹۰، ۱۳۵، ۱۸۰ درجه روی تصویر (شکل ۳ الف) اقدام به شناسایی و استخراج شکستگی‌های در قالب خطواره موجود در منطقه شد [۲۱]. سپس از طریق کنترل‌های میدانی (اندازه‌گیری‌های صحرایی) گسله‌های اصلی و فرعی شناسایی و بررسی شدند. در ادامه با استفاده از محیط نرم‌افزاری GIS به رقومی کردن گسل‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای اقدام شد (شکل ۳ ب).

برای محاسبهٔ تراکم شکستگی‌ها در منطقهٔ بررسی شده، ابتدا شبکه‌ای ترسیم شد که دارای سلول‌هایی با ابعاد ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر بود [۲۰]. سپس نقطه مرکزی هر سلول در مرکز آن ترسیم شد (شکل ٤ الف). در ادامه مختصات هر نقطه مرکزی محاسبه شده است. سپس در محیط نرم‌افزار Arcview اقدام به اندازه‌گیری و قرائت مجموع طول شکستگی‌های استخراج شده در هر سلول کرده و در جدول همراه شبکه مورد نظر ثبت شد. در نهایت بر اساس جدول همراه شبکه ترسیمی، سطوح هم‌پتانسیل ترسیم شده و این خروجی به‌عنوان نقشهٔ تراکم شکستگی‌ها یا نقشه هم‌شکستگی[2] تهیه شد (شکل ٤ ب).

1. Convolution/ Directional
2. Iso Fracture

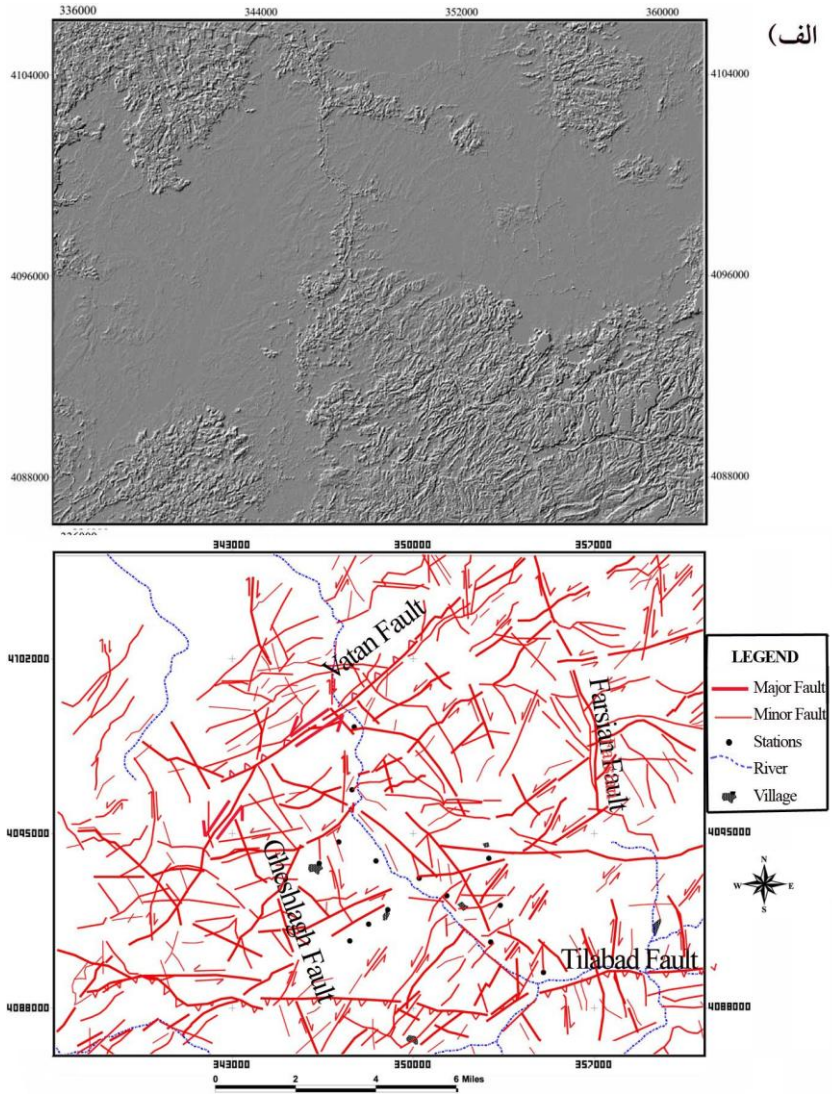
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]



شکل ۲. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ بررسی شده

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

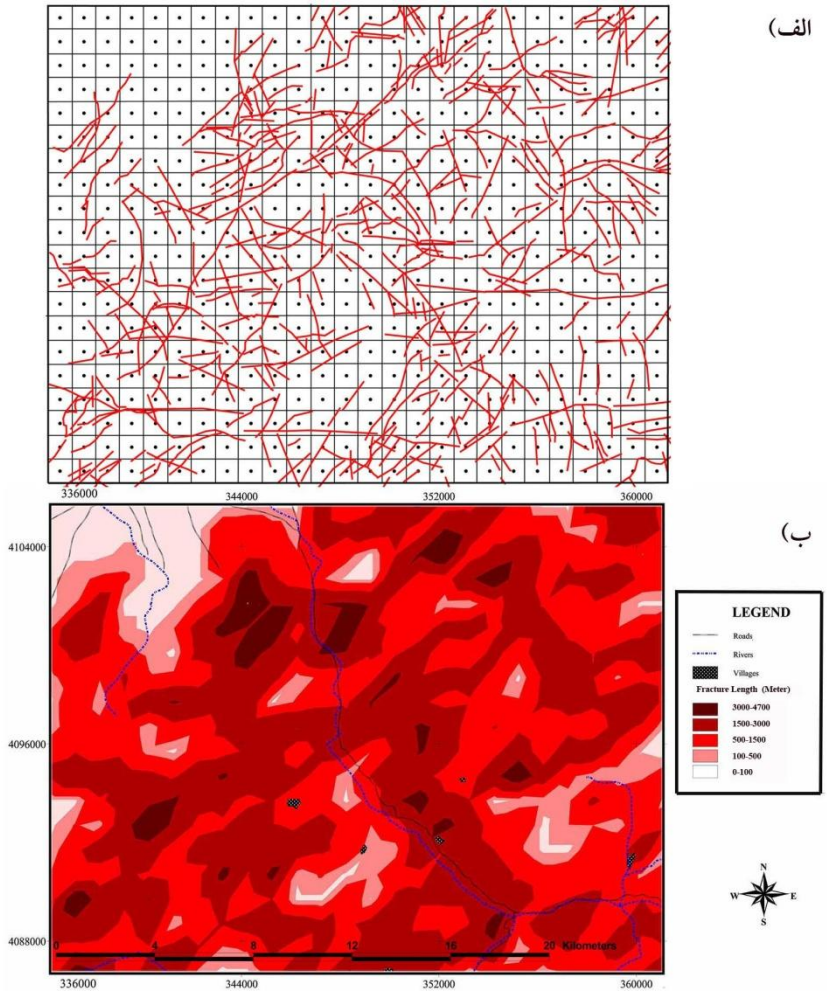
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]



شکل ۳. الف) اعمال فیلتر جهت‌دار (٤٥ درجه) روی تصویر ماهواره‌ای، ب) استخراج و دسته‌بندی گسل‌های منطقه

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

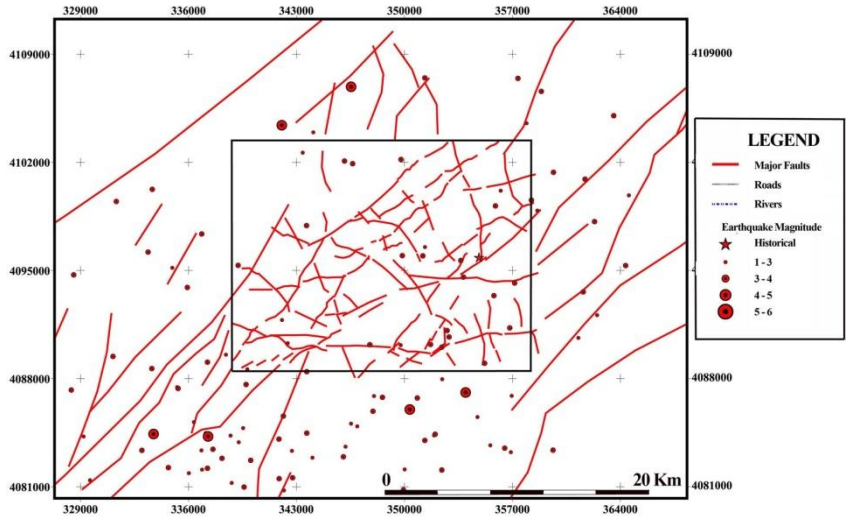


شکل ٤. الف) ترسیم شبکه با ابعاد ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر و محاسبه طول شکستگی‌ها، ب) ترسیم نقشه چگالی شکستگی‌ها

۳. **لایه وضعیت لرزه‌خیزی منطقه:** با استفاده از داده‌های موجود در کاتالوگ‌هایی که از مؤسسات معتبری نظیر: موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا برگرفته شد، لایهٔ اطلاعاتی به تهیهٔ شد. به این صورت که مشخصاتی نظیر مختصات جغرافیایی، زمان رخداد، بزرگای

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

زلزله و عمق زلزله به‌صورت فایل اکسل excel در آمده و تبدیل به فایلی با پسوند *.DBF شد. در ادامه فایل مذکور فراخوانده شده و کانون زلزله‌های منطقه و پیرامون بر اساس بزرگا رسیم شد (شکل ۵). در منطقه یک زلزله تاریخی در بخش شرقی منطقه موجود است. باید این مسئله را در نظر داشت که با توجه به این‌که عمده اثرات زلزله به‌ویژه خرابی‌های آن در رومرکز زلزله رخ می‌دهد و این واقعیت که در صورت در نظر گرفتن زلزله‌های بزرگ بسیار دور از منطقهٔ بررسی شده، اثرات آن‌ها در یک منطقهٔ بسیار کوچک قابل تفکیک و پهنه‌بندی نیست، به‌همین دلیل تراکم کانون‌های زلزله به‌عنوان معیاری محلی برای سنجش خطرات زلزله در نظر گرفته شد.

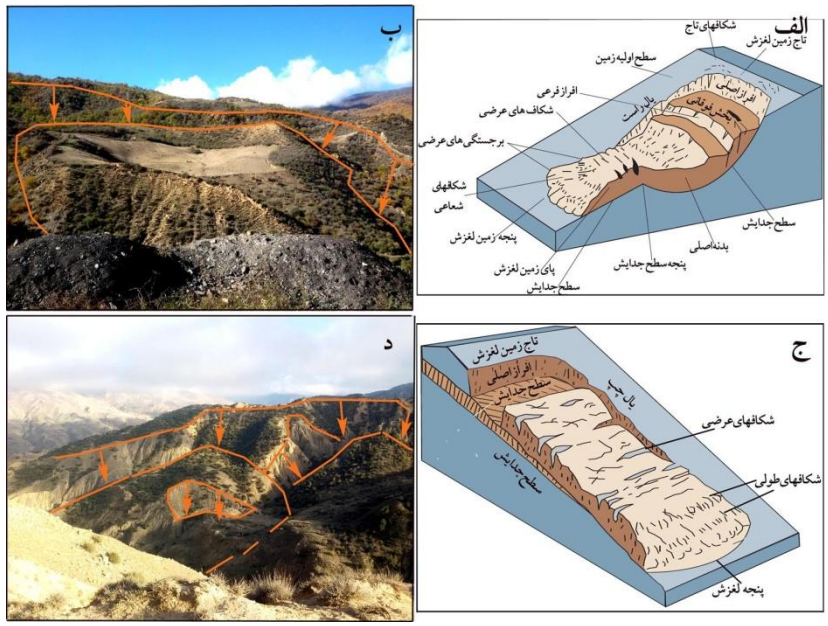


شکل ۵: نقشه لرزه‌زمین‌ساختی منطقه مورد بررسی (داخل کادر) و پیرامون

٤. لایه زمین‌لغزش‌های رخ‌داده: برای تهیه لایه زمین‌لغزش‌های رخ‌داده در منطقهٔ بررسی شده، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای محدوده‌هایی که در آنها زمین‌لغزش‌های قدیمی رخ‌داده بودند، بر اساس شکل ریخت‌شناسی زمین‌لغزش‌ها (که شامل محدوده‌هایی فرولغزیده به‌صورت تغییرات ناگهانی شیب و وجود افراز در بالادست آنها)، مشخص شده و در محیط GIS رقومی شدند (شکل ۷ الف). در ادامه با کنترل‌ها و پیمایش‌های صحرایی (شکل ٦) محدوده‌های استخراج شده از زمین‌لغزش‌ها تصحیح و نهایی شدند

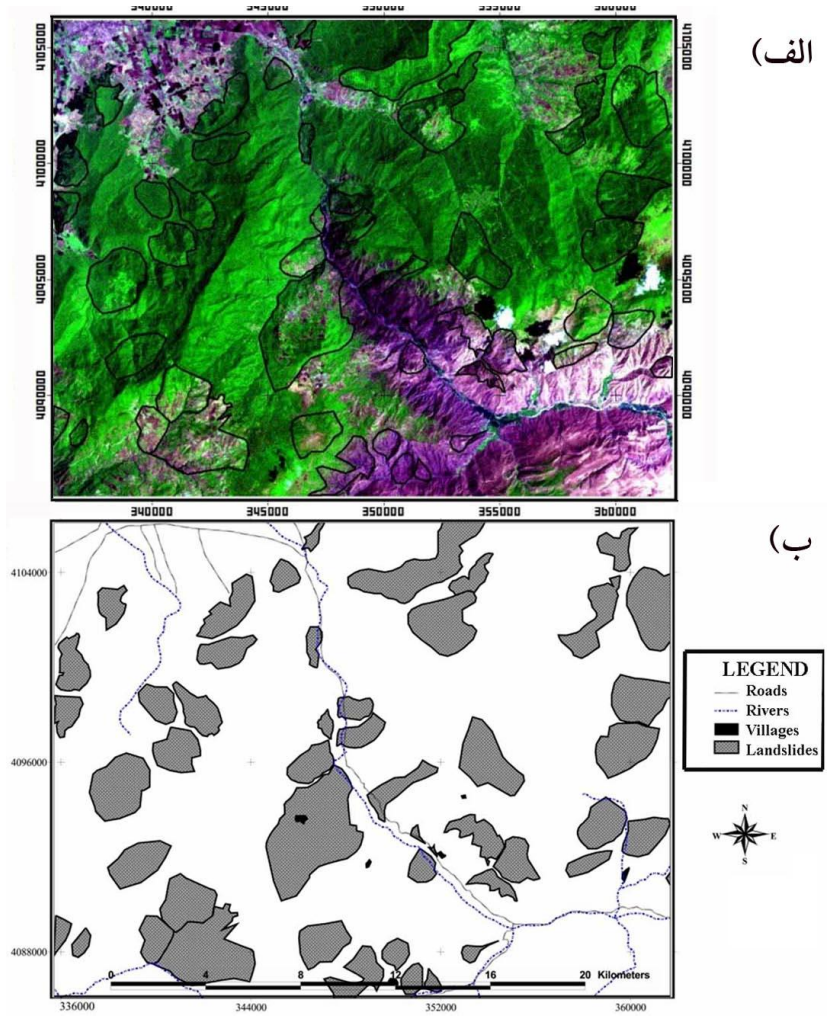
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

(شکل ۷ ب). شایان توجه است که با عنایت به تقسیم‌بندی وارنز [۲۵]، زمین‌لغزش‌ها با توجه به وضعیت شیب شکست به دو ردهٔ اصلی چرخشی با لغزش در یک سطح منحنی (شکل ٦ الف) و انتقالی با لغزش در یک سطح صاف (شکل ٦ ج) تقسیم می‌شوند. با توجه به‌این‌که در لغزش‌های چرخشی معمولاً در بدنه اصلی لغزش، شیب منفی (نسبت به شیب عمومی محل) ایجاد می‌شود و معمولاً مقیاس این نوع لغزش‌ها بزرگ‌تر از انواع انتقالی است، به‌نظر می‌رسد که قریب به اتفاق لغزش‌هایی که روی تصویر ماهواره‌ای (شکل ۷ الف) مشخص شده‌اند، از نوع لغزش‌های چرخشی باشند.



شکل ٦. الف و ج) اشکالی شماتیک از زمین‌لغزشی چرخشی و انتقالی [٢٤]، ب) زمین‌لغزشی چرخشی در جنوب‌شرق وطن، د) زمین‌لغزش انتقالی مرکب در جنوب‌غرب نرگس‌چال

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

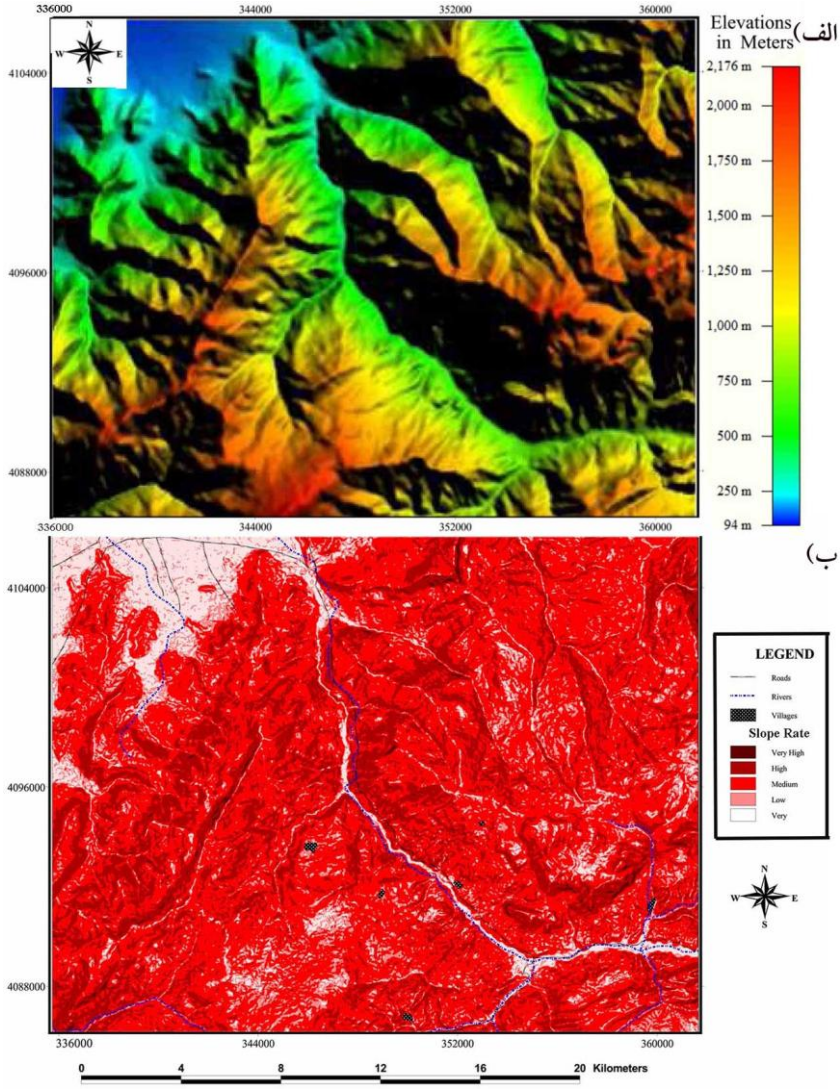


شکل ۷. الف) استخراج پهنه‌های زمین‌لغزش از تصاویر ماهواره‌ای، ب) نقشه زمین‌لغزش‌های قدیمی در منطقه

۵. **لایه وضعیت شیب منطقه:** نقشهٔ شیب و جهت شیب از مواردی هستند که در اکثر موارد در تجزیه‌های مکانی استفاده می‌شوند. برای اینکار ابتدا با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی۱/۲۵۰۰۰ منطقه، مدل رقومی ارتفاعی تهیه شد (شکل ۸ الف). سپس بر اساس آن اقدام به کلاس‌بندی شیب و تهیه نقشه شیب کردیم (شکل ۸ ب).

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

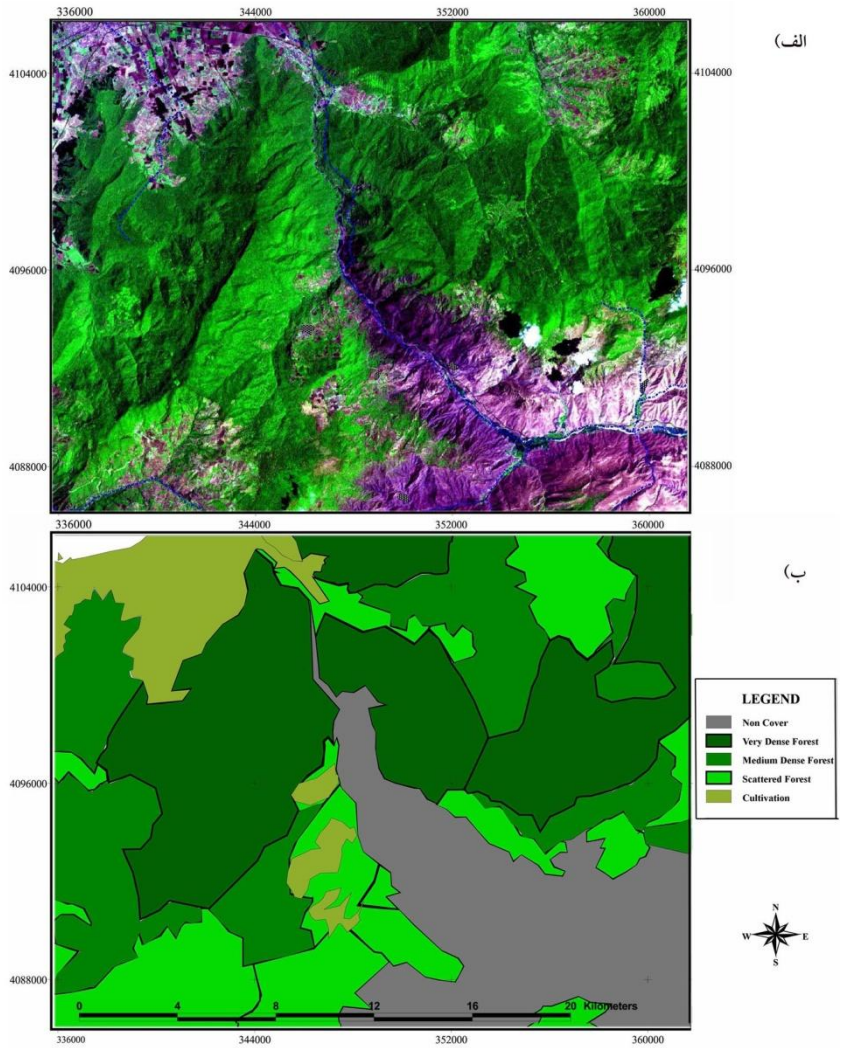


شکل ۸. الف) مدل رقومی ارتفاعی زمین (DEM)، ب) نقشه کلاس‌بندی شیب منطقه

۶. لایه پوشش گیاهی: برای تهیهٔ این لایه در محیط نرم‌افزار GIS از روش‌های سنجش از دور و پیمایش‌های صحرایی استفاده شد. به این ترتیب که با کمک تصویر ماهواره‌ای، منطقهٔ بررسی شده از نظر نوع پوشش به پنج کلاس: جنگل انبوه، جنگل با پوشش

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

متوسط، جنگل با پوشش کم، زمین‌های کشاورزی و بدون پوشش گیاهی تقسیم و استخراج شد (شکل ۹ الف). سپس با استفاده از نقاط کنترلی، محدوده‌های ترسیمی اصلاح و نهایی شدند (شکل ۹ ب).

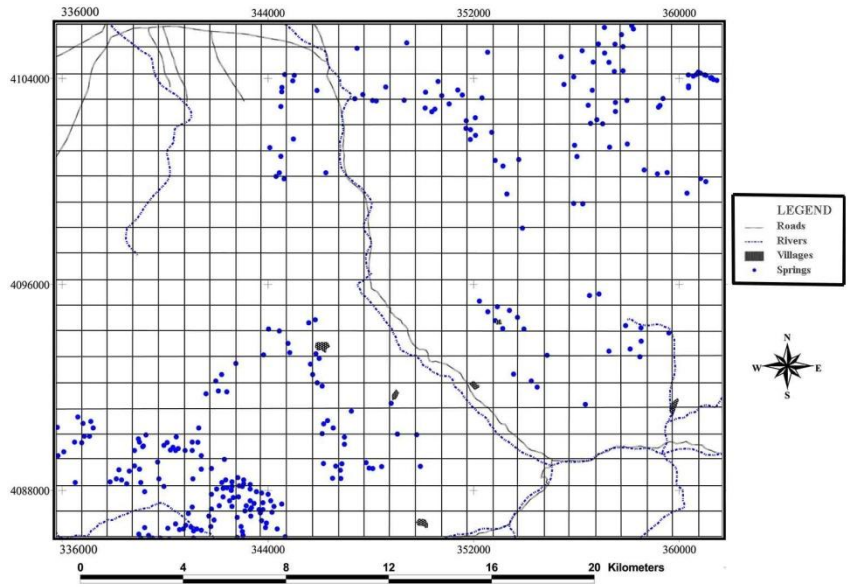


شکل ۹. الف) استخراج انواع پوشش گیاهی از تصویر ماهواره‌ای، ب) رقومی و ترسیم کردن پهنه‌های شناسایی شده

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

۷. **لایه اطلاعات مکانی چشمه‌ها:** ابتدا بانک اطلاعاتی مربوط به چشمه‌ها (تهیه شده به‌وسیلهٔ شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان) بازبینی شد. موقعیت مکانی برخی از چشمه‌ها نیز به‌وسیلهٔ GPS جمع‌آوری شد. سپس جدول اطلاعاتی چشمه‌ها شامل موقعیت مکانی چشمه‌ها (با مختصات UTM[1]) و مشخصات مهم آنها در محیط اکسل با فرمت DBF4 ذخیره شد. در محیط GIS جدول مورد نظر فراخوانی شده و لایه نقطه‌ای از چشمه‌ها در محیط GIS تهیه شد (شکل ۱۰ الف). در ادامه، برای تهیهٔ نقشه تراکم چشمه‌ها، در شبکه تهیه شده با سلول‌های ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر تعداد چشمه‌های موجود در واحد هر سلول محاسبه شده و به جدول اطلاعات لایه‌برداری مورد نظر افزوده شد. سپس نقشه تراکم چشمه‌ها نیز به‌صورت سطوح هم‌پتانسیل ترسیم شد (رجوع شود به شکل ۱۱).



شکل ۱۰. لایه اطلاعاتی از وضعیت پراکنش چشمه‌ها در هر پیکسل ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر در منطقه

1 - Universal Transverse Mercator

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

بررسی لایه‌های اطلاعاتی

۱. **بررسی وضعیت لیتولوژی:** عمده‌ترین رخنمون سنگی در منطقهٔ مربوط به گروه شمشک است (شکل ۲) که در بخش‌های مرکزی و جنوبی رخنمون یافته است. این گروه که از توالی شیل، مارن و ماسه‌سنگ تشکیل یافته است، بسیار نرم و فرسایش‌پذیر بوده است و عمده زمین‌لغزش‌ها در این سازند رخ داده‌اند. ارتفاعات منطقه عمدتاً از سازند آهکی لار تشکیل شده که بسیار سخت و مقاوم به فرسایش هستند. این سازند عمدتاً در بخش شمالی منطقه رخنمون دارد. نهشته‌های کواترنر نیز بیش‌تر پیرامون دره اصلی منطقه که رودخانه تیل‌آباد در آن جریان دارد، مشاهده می‌شوند.

۲. **بررسی وضعیت ساختاری منطقه:** ناحیهٔ بررسی شده دچارگسلش شده و شبکه‌ای از شکستگی‌های پیچیده را به نمایش می‌گذارد. به‌همین دلیل، عمده‌ترین ساختارهای موجود در منطقه شامل گسل‌ها و درزه‌ها است. در منطقهٔ بررسی شده چهار پهنه گسل اصلی وطن، فارسیان، قشلاق و تیل‌آباد وجود دارند که چهارچوب ساختاری منطقه را رقم زده‌اند (شکل ۳). گسل وطن با طول ۲۵ کیلومتر به‌صورت اریب بخش شرق- شمال‌شرقی منطقه را بریده است. مکانیسم این گسل این معکوس با مقداری مؤلفه راستالغزچپ‌بر است. گسل فارسیان با طول ۲۰ کیلومتر و امتداد شمالی- جنوبی در شرق منطقهٔ بررسی شده قرار گرفته است. مکانیسم حرکتی این گسل راستالغز راست‌بر با مقداری مؤلفه معکوس است. گسل تیل‌آباد با طول ۲٦ کیلومتر با امتداد شرقی- غربی در جنوب منطقهٔ بررسی شده قرار گرفته است و مکانیسم حرکتی این گسل معکوس با مقدار کمی مؤلفه راستالغز چپ‌بر است.

۳. **بررسی وضعیت لرزه‌خیزی منطقه:** بررسی وضعیت فضایی کانون زلزله‌های رخ‌داده نشان می‌دهد که کانون زلزله‌های منطقه به‌صورت نوار پهنی با امتداد شمال‌شرق- جنوب‌غربی (موازی با امتداد گسل وطن) رخ داده‌اند. روستاهای وطن، نرگس‌چال و رحیم‌آباد درون این پهنه قرار گرفته‌اند. عمده زلزله‌ها دارای بزرگای ۵-۳ است. تنها زلزله تاریخی ثبت شده در منطقهٔ در محل برخورد این پهنه از زلزله‌ها با گسل فارسیان (شمال روستای

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

فارسیان) رخ داده است. به‌نظر می‌رسد که بیش‌ترین زمین‌لغزش‌ها در درون این پهنه از کانون‌های زلزله رخ داده باشند (شکل ۵).

۴. **بررسی زمین‌لغزش‌های موجود:** بررسی وضعیت فضایی پراکنش زمین‌لغزش‌هایی که قبلاً رخ‌داده‌اند (شکل ٦)، نشان می‌دهد که زمین‌لغزش‌ها در منطقهٔ بررسی شده ظاهراً به‌صورت پراکنده دیده می‌شوند اما با کمی دقت معلوم می‌شود که عمده زمین‌لغزش‌ها به‌صورت نواری پهن با امتداد شمال‌شرقی- جنوب‌غربی گسترش یافته‌اند. بزرگ‌ترین زمین‌لغزش‌ها در بخش مرکزی این نوار در حدفاصل وطن-نرگس‌چال-رحیم‌آباد قرار گرفته‌اند (شکل ۷).

۵. **بررسی وضعیت شیب:** بررسی وضعیت شیب منطقه در مدل رقومی ارتفاعی و هم‌چنین وضعیت کلاس‌بندی شیب (شکل ۸) نشان می‌دهد که بیش‌ترین شیب مربوط به بخش غرب- شمال‌غربی است که مربوط به صخره‌های گسلی درون زون گسله وطن است. در درجهٔ دوم وجود سازند آهکی صخره‌ساز لار در ارتفاعات، در حالی که در پایین‌دست آنها سازند نرم و شکل‌پذیر شمشک قرار گرفته است، شرایطی را فراهم کرده که در گذر از ارتفاعات به‌سمت دره رودخانه تیل‌آباد، بخش‌های بالایی دره شیب زیادی دارند.

٦. **بررسی وضعیت پوشش گیاهی:** بررسی وضعیت پوشش گیاهی در نقشهٔ تهیه شده (شکل ۹) نشان می‌دهد که عمده پوشش گیاهی در ارتفاعات میانی (روی سازند شمشک) است. در حالی که بخش بالایی ارتفاعات به‌دلیل وجود سازند مقاوم لار، خاک کم ضخامتی تشکیل شده و به‌همین دلیل رشد درختان بسیار کم صورت پذیرفته است این بخش در رده دارای پوشش کم جنگلی تا بدون پوشش قرار می‌گیرد (شکل ۹). در اطراف رودخانه روی تراس‌های آبرفتی پیرامون رودخانه، کشاورزی انجام شده و پوشش به‌صورت زمین‌های کشاورزی است.

۷. **بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی:** به‌دلیل این‌که عمده منطقه دارای پوشش سنگی بوده است و به‌غیر از کف و در حریم رودخانه‌ها، پوشش آبرفتی چشم‌گیری وجود ندارد، عملاً تشکیل آبخوان‌های عمده آبرفتی غیرممکن بوده است. به‌همین دلیل، برای بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی باید به پراکنش چشمه‌ها توجه شود. بررسی وضعیت فضایی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

پراکنش چشمه‌ها نشان می‌دهد (شکل ۱۰) که عمده چشمه‌ها در بخش‌های جنوب‌غربی و شمال‌شرقی (منطبق بر رخنمون سازندهای لار و دلیچای) در طول نواری است که بیش‌ترین کانون‌های زلزله و زمین‌لغزش‌های رخ‌داده ، در آن قرار می‌گیرند. به خط‌شدگی چشمه‌ها در طول گسل‌های اصلی حکایت از آن دارد که این چشمه‌ها احتمالاً مرتبط با زون‌های گسلش بوده و این ساختارها در کنترل محل تظاهر چشمه‌ها نقش داشته باشند.

وزن‌دهی و کلاس‌بندی لایه‌های اطلاعاتی:

پس از تهیه لایه‌های مورد نیاز از وضعیت ساختارها، لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی، لرزه‌خیزی، آب های زیرزمینی و زمین‌لغزش‌های به‌وقوع پیوسته قدیمی در منطقه، براساس خصوصیات هر لایه، وزن‌دهی به‌کمیت محتوای هر لایه بر اساس قضاوت مهندسی و در نظر گرفتن واقعیت‌های موجود انجام گرفت [۱۷] (جدول ۱). در این پژوهش از منطق بولین برای مکانیابی معیارها استفاده شد. زیرا با توجه به قضاوت کارشناسی انجام گرفته، تفکیک لایه‌های اطلاعاتی و دادن وزن‌های متفاوت به آنها تقریباً غیرممکن است. هم‌چنین، با توجه این که هدف اصلی پژوهش این است که پس از پهنه‌بندی لغزش نسبت به اهمیت لایه ساختاری قضاوت شود، عملاً در نظر گرفته منطقی دیگر و داشتن سیستم وزن‌دهی غیریکسان سبب خطا در این مورد می‌شود.

هم‌چنین کل سطح منطقه به پیکسل‌هایی[1] با فواصل ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متری شبکه‌بندی شد. هر لایه یک جدول همراه خود[2] (Table Attribute) داشته که وزن هر پیکسل در داخل آن ثبت شد. در نهایت بر اساس این وزن‌دهی، اقدام به تهیهٔ نقشه تراکم مقادیر (پارامترها) برای هر لایه اطلاعاتی شد (شکل ۱۱ الف تا ز).

نقشه‌های ذکرشده بر اساس تراکم موجود و تأثیری که بر ایجاد زمین‌لغزش در منطقه دارا بودند به پنج رده (وزن) ذیل تقسیم شدند:

- تراکم خیلی بالا، دارای بالاترین وزن و بالاترین ریسک (عدد وزنی= ۵) شد.

1. Pixels
2. Attribute Table

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

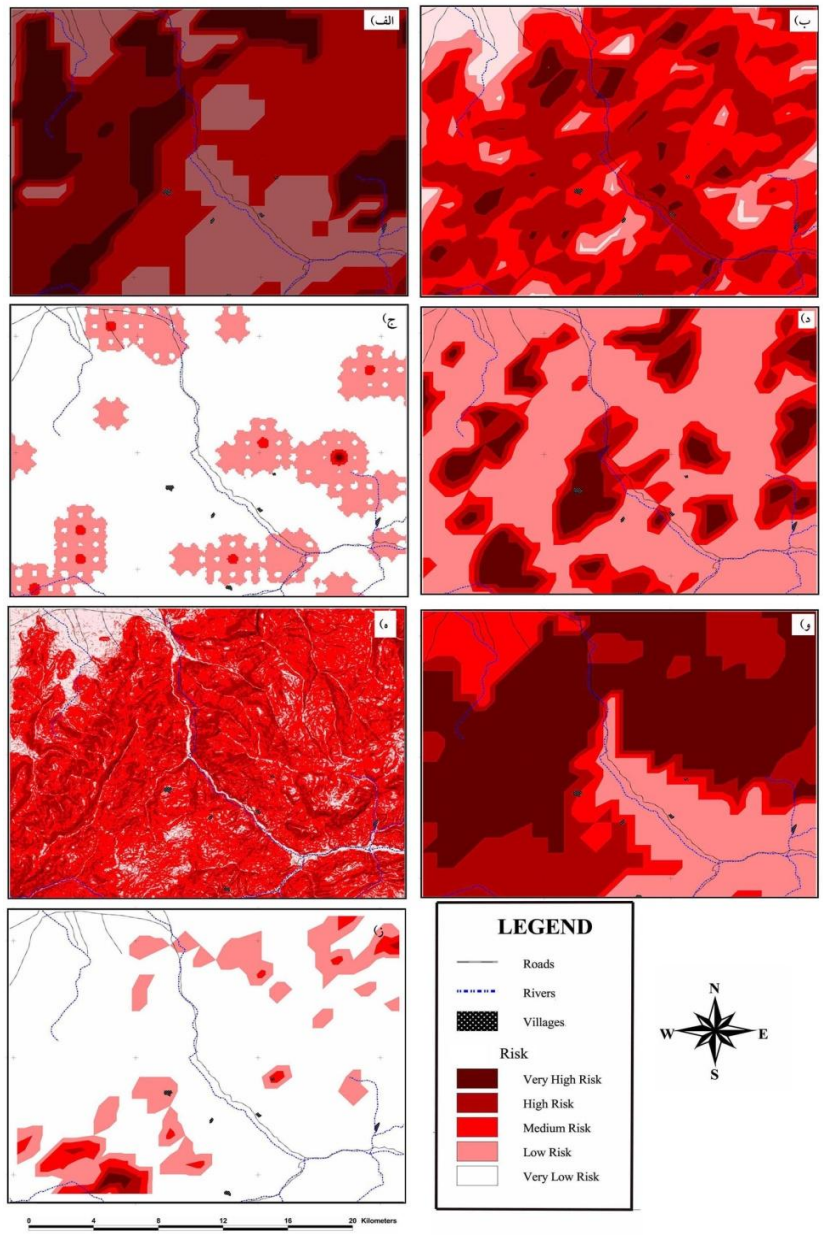
- تراکم بالا، دارای وزن بالا و ریسک بالا (عدد وزنی= ٤) شد.
- تراکم متوسط، دارای وزن متوسط و ریسک متوسط (عدد وزنی= ٣) شد.
- تراکم کم، دارای وزن کم و ریسک کم (عدد وزنی= ٢) شد.
- تراکم خیلی کم، دارای وزن خیلی کم و ریسک خیلی کم (عدد وزنی= ١) شد.

جدول ١. وزن‌دهی به کمیت محتوای هر لایه بر اساس قضاوت مهندسی و در نظر گرفتن واقعیت‌های موجود

وزن‌دهی (ریسک) / لایه مورد نظر	کلاس ٥ (ریسک خیلی زیاد)	کلاس ٤ (ریسک زیاد)	کلاس ٣ (ریسک متوسط)	کلاس ٢ (ریسک کم)	کلاس ١ (ریسک خیلی کم)
لیتولوژی (جنس لایه‌ها)	رسوبات کواترنری	سازند شمشک (بخش‌های شیلی و مارنی)	سازند خوش ییلاق (عمدتاً بخش‌های آواری)	سنگ‌های آذرین بعضاً آلتره شده	آهک‌های میلا، روته، الیکا و لار
ساختارها (طول گسلش-متر)	٤٧٠٠-٣٠٠٠	١٥٠٠-٣٠٠٠	٥٠٠-١٥٠٠	١٠٠-٥٠٠	٠-١٠٠
شیب (درجه شیب)	٤٦-٩٠	٢٦-٤٥	١١-٢٥	٦-١٠	٠-٥
نوع پوشش گیاهی	بدون پوشش	زمین‌های کشاورزی	کم پشت جنگلی	نیمه انبوه جنگلی	جنگلی متراکم
لرزه‌خیزی (بزرگا و الگوی فضایی)	با کانون-هایی با بزرگای ٥	با کانون‌هایی با بزرگای ٤	با کانون‌هایی با بزرگای ٣	با کانون‌هایی با بزرگای ٢	بدون کانون زلزله
آب‌های زیرزمینی (پراکنش چشمه‌ها)	٩-١٢ چشمه	٦-٩ چشمه	٣-٦ چشمه	١-٣چشمه	بدون چشمه
زمین‌لغزش‌ها (سطح اشغالی)	٪٧٦-١٠٠	٪٥١-٧٥	٪٢٦-٥٠	٪٦-٢٥	٪٥ >

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]



شکل ۱۱. تهیهٔ نقشه‌های وضعیت هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی بر اساس وزن‌دهی و کلاس‌بندی انجام شده برای لایه‌های: الف) لیتولوژی، ب) گسل‌ها، ج) لرزه‌خیزی، د) زمین‌لغزش‌های قدیمی، ه) شیب، و) پوشش گیاهی، ز) پراکنش چشمه‌ها

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

در این پژوهش از منطق بولین برای مکان‌یابی معیارها استفاده شد. زیرا با توجه به قضاوت کارشناسی انجام گرفته، تفکیک لایه‌های اطلاعاتی و دادن وزن‌های متفاوت به آنها تقریباً غیرممکن است. هم‌چنین، با توجه این که هدف اصلی پژوهش این است که پس از پهنه‌بندی لغزش نسبت به اهمیت لایه ساختاری قضاوت شود، عملاً در نظر گرفته منطقی دیگر و داشتن سیستم وزن‌دهی غیریکسان سبب خطا در این مورد می‌شود. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS اقدام به‌روی هم قرار دادن لایه‌های برداری ایجاد شده، شد. با توجه به مطالب ذکر شده، هر لایه دارای پنج رده وزنی: ریسک خیلی بالا (۵)، بالا (٤)، متوسط (۳)، پائین (۲) و خیلی پایین (۱) شدند. پس از روی هم قرار دادن لایه‌ها، اقدام به جمع جبری مقادیر وزن لایه‌های مختلف در هر پیکسل (هر سلول شبکه) شد که بالطبع برای هر سلول جمع یاد شده در یک طیف عددی ۳۵- ۷ قرار گرفت (شکل ۱۲). سپس طیف یاد شده به پنج ردهٔ ریسک دارای وزن‌های مشخص، تقسیم‌بندی شد [۱۹] که عبارت از گروه‌های ذیل است:

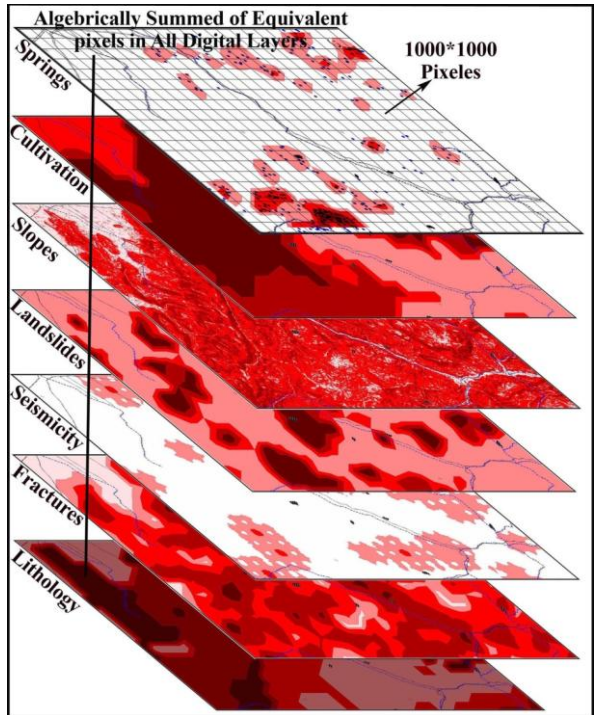
- ریسک خیلی زیاد (۳۵- ۳۱)
- ریسک زیاد (۳۰- ۲۵)
- ریسک متوسط (۲٤- ۱۹)
- ریسک کم (۱۸- ۱۳)
- ریسک خیلی کم (۱۲- ۷)

سپس بر اساس جمع جبری مقادیر در لایه‌های مختلف هر سلول، اقدام به تهیهٔ سطوح هم پتانسیل شد و به این ترتیب نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه شد (شکل ۱۳).

با توجه به نقشهٔ خطر زمین‌لغزش تهیه شده برای منطقهٔ بررسی شده، می‌توان به این نتیجه رسید که الگوی بیش‌ترین تمرکز خطر زمین‌لغزش در دو امتداد است که عبارتند از: الف) نوار پهنی با امتداد شمال‌شرق- جنوب‌غربی در بخش شمالی منطقه که بر زون گسلیده‌ای است که هم‌روند با گسل وطن است (شکل ۳ و ٤) منطبق شده است و ب) دو روند شمالی- جنوب در بخش‌های غربی و شرقی منطقه که بر گسل‌هایی نظیر گسل فارسیان

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

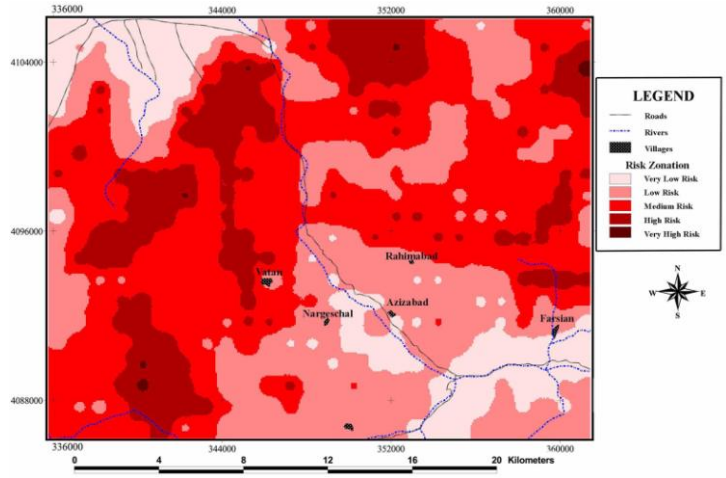
و قشلاق منطبق هستند (شکل ۱۳). روند اول هم‌چنین منطبق بر تراکم چشمه‌ها (شکل ۱۰) و زمین‌لغزش‌های قدیمی (شکل ۷) و رخنمون های سنگی عمدتاً از نوع شیلی و مارنی سازند شمشک (شکل ۲) هستند. بیش‌ترین ریسک خطر زمین‌لغزش در بخش‌های جنوب غربی (رودبار قشلاق)، غربی (محدوده وطن-نرگس‌چال) و تا حدودی شمالی منطقه (جنوب سوسرا) دیده می‌شوند. کم‌ترین ریسک خطر زمین‌لغزش در بخش مرکزی است که علیرغم این‌که پوشش ندارند، چون شیب کم بوده است و واحدهای سنگی مقاوم (نظیر سازندهای آهکی) دارند، ریسک خطر کم شده است.



شکل ۱۲. روی هم انداختن لایه‌ها در محیط GIS و جمع جبری مقادیر هر پکسل برای تمامی لایه‌ها

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]



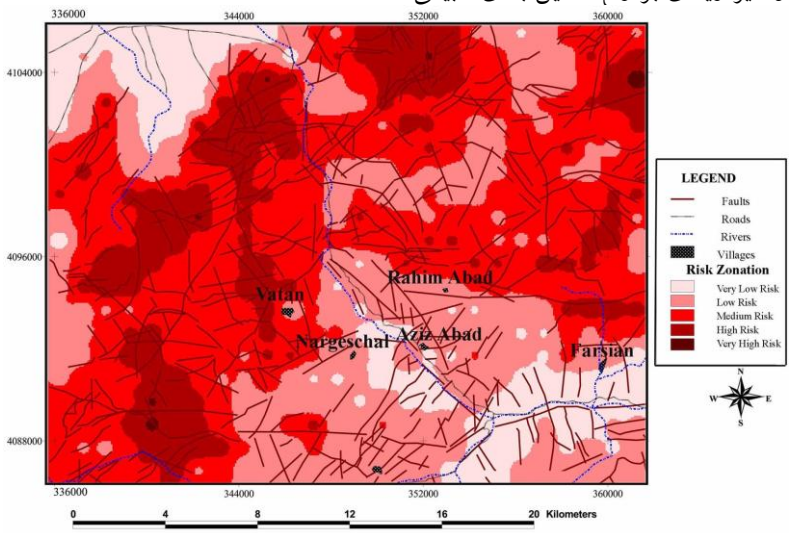
شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه نرگس‌چال و پیرامون

بررسی وزن عوامل ساختاری بر وقوع زمین‌لغزش‌ها

با کمک قابلیت‌های محیط GIS، می‌توان محل گسل‌ها را از نظر موقعیت فضایی با نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه کنترل و مقایسه کرد (شکل ١٤). با این مقایسه متوجه می‌شویم که الگوی فضایی بیش‌ترین خطرات زمین‌لغزش در دو امتداد شمال‌شرق-جنوب-غربی (در بخش شمالی منطقه) شمالی-جنوب (در بخش‌های غربی و شرقی منطقه) است (شکل ۱۳). [۳]، [٤]. این الگوی نواری منطبق بر زون‌های گسلیده‌ای است که هم‌روند با گسل‌های وطن، فارسیان و قشلاق بوده است و هم‌چنین منطبق بر تراکم چشمه‌ها و زمین-لغزش‌های قدیمی و رخنمون سازند شمشک است. با توجه به این‌که شیب‌های تند بر محل صخره‌های گسلی منطبق است، می‌توان نتیجه گرفت که گسل‌ها با ایجاد شیب‌های تند و مناطق خردشده و نامقاوم به‌طور غیرمستقیم تاثیر به‌سزایی در رخداد زمین‌لغزش در منطقه داشته‌اند. شاید به‌همین دلیل باشد که الگوی بیش‌ترین خطر زمین‌لغزش هم امتداد با گسل‌های اصلی نظیر گسل‌های وطن، قشلاق و فارسیان بوده است. هم‌چنین الگوی فضایی پراکنش محل کانون‌های زلزله و محل چشمه‌ها نیز از این روندها پیروی می‌کنند. به‌همین دلیل

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

می‌توان نتیجه گرفت که عوامل ساختاری نظیر گسل‌های اصلی (و سایر شکستگی‌های مرتبط با آنها) به‌طور غیرمستقیم، با ایجاد شیب‌های تند، ایجاد مناطق خردشده و نامقاوم، ایجاد مناطق چشمه‌سار و ایجاد زلزله‌ها، تعیین‌کننده الگوی پراکنش بیش‌ترین خطر زمین‌لغزش است وتأثیر زیادی بر رخ‌داد این بلای طبیعی داشته‌اند.



شکل ۱۴. نقشهٔ در برگیرنده پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و گسل‌های اصلی منطقه نرگس‌چال برای بررسی ارتباط فضایی گسلش و ایجاد پهنه‌هایی با ریسک خطر بالای زمین‌لغزش

نتیجه‌گیری

یکی از مناطق مستعد زمین‌لغزش در البرز شرقی منطقه نرگس‌چال است که در حدفاصل روستاهای وطن- نرگس‌چال- قشلاق- فارسیان قرار داشته و به تازگی در آن زمین‌لغزش روستای نرگس‌چال رخ داده است. به‌کمک روش‌های سنجش از دور و هم‌چنین مشاهدات و اندازه‌گیری‌های صحرایی اقدام به بررسی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش‌ها در این منطقه شده و در این راستا هفت لایهٔ اطلاعاتی برداری تهیه شده و در محیط GIS با روی هم‌قرار آنها اقدام به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شد. نتایج حاصل از بررسی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش تهیه شده، نشان می‌دهد که الگوی فضایی بیش‌ترین خطرات زمین‌لغزش به‌صورت

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

نوارهایی با امتدادهای شمال‌شرق-جنوب‌غربی و شمالی-جنوبی قابل مشاهده است. این نوارها منطبق بر زون گسلیده‌ای است که هم‌روند با گسل وطن، قشلاق و فارسیان است و هم‌چنین منطبق بر تراکم چشمه‌ها و زمین‌لغزش‌های قدیمی و رخنمون سازند شمشک است. بیش‌ترین ریسک خطر زمین‌لغزش در بخش‌های جنوب‌غربی (رودبار قشلاق)، غربی (محدودهٔ وطن-نرگس‌چال) و تا حدودی شمالی در منطقهٔ بررسی شده دیده می‌شوند و کم‌ترین ریسک خطر زمین‌لغزش در بخش مرکزی است که علت آن شیب کم توپوگرافی و وجود واحدهای سنگی مقاوم است.

هم‌چنین، نتایج حاصل از بررسی اثر شکستگی‌ها (به‌عنوان عوامل ساختاری) بر پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نشان می‌دهد که عوامل ساختاری نظیر گسل‌های اصلی (و شکستگی‌های رده دوم مرتبط با آنها) به‌طور غیرمستقیم، با ایجاد شیب‌های تند، ایجاد مناطق خردشده و نامقاوم، ایجاد مناطق چشمه‌سار و ایجاد زلزله‌ها، تعیین‌کننده الگوی پراکنش بیش‌ترین خطر زمین‌لغزش است وتأثیر زیادی بر رخ‌داد این بلای طبیعی داشته‌اند.

منابع

۱. آقانباتی ع.، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران (۱۳۸۳) ۵۸۶.

۲. علوی‌پناه س. ک .، "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)"، انتشارات دانشگاه تهران (۱۳۸۲).

۳. قجقی ا.، "تأثیر عوامل ساختاری بر زمین لغزش‌های منطقه نرگس‌چال"، رسالهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه گلستان، (۱۳۹۶) ۱۱۶.

۴. قجقی ا.، صفری ح.، رضایی، ح.، "بررسی اثر گسلش بر زمین‌لغزش‌های یال شمالی البرز شرقی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS"، سی و چهارمین گردهمایی علوم زمین، تهران (۱۳۹۵).

۵. شریعت‌جعفری م.، "زمین‌لغزش: مبانی و اصول پایداری شیب های طبیعی"، انتشارات سازه، (۱۳۷۵) ۲۰۰.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

٦. حق‌شناس ا.، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و ارتباط آن با تولید رسوب در طالقان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، (۱۳۷۵) ۱۸۳.

۷. حائری س. م.، سمیعی ا. ج.، "روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تأکید بر پهنه‌های مازندران"، فصلنامهٔ علوم زمین، سال ششم، شمارهٔ ٢٤-٢٣ (١٣٧٦) ١٥-٢.

۸. حافظی‌مقدس ن.، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مناطق لرزه‌خیز"، پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس (۱۳۷۲).

۹. محمدخان ش.، "ارائه مدل منطقه‌ای پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای، مطالعه موردی: حوضه آبخیز طالقان"، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران (۱۳۸۰).

10. Allen M., Jackson J., Walker R., "Late Cenozoic reorganization of the Arabia- Eurasia collision & comparison of short- term & long-term deformation rates", Tectonic Journal, No: 23, TC 2008, doi: 10.1029/2003 TC001530 (2004).

11. Allen M. B., Ghassemi M. R., Shahrabi M., Qorashi M., "Accommodation of Late Cenozoic oblique shortening in the Alborz range, Northern Iran", Journal of structural Geology., No. 25 (2003) 659-672.

12. Anbalagan and manag point, "Landslide hazard mapping based on geological attribatec" (1991).

13. Berberian M., Yeats R. S., "Patterns of Historical Earthquake Rupture in Iranian Plateau", Bull. Seim. Am. 89 (1999) 120-139.

14. Djamour Y., Vernant P., Bayer R., Nankali H. R., Ritz J., Hinderer J., Hatam Y., Luck B., Moigne N., Sedighi M., Khorrami F., "GPS & gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range", Iran, Geophysical Journal International, No.183 (2010) 1287-1301.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

15. De Mets C., Gordon R. G., Argus D. F., Stein S., "Current Plate Motions", International Journal of Geophysics, No. 101 (1990) 425- 478.
16. Gorshkov A. L., Mokhtari M., Piotrovskaya E. P., "The Alborz Region: Identification of Seismogenic Nodes with Morphostructural Zoning & Pattern Recognition", Spring Journal, Vol: 11, No: 1 (2009) 1- 15.
17. Gupta R. P., Jushi B. C., "Landslide hazard zoning using the GIS approach-A case study from the ramanga catchment", Himalaya, Engineering geology, 28 (1940) 119-137.
18. Jackson J. A., Priestley K., Allen M. B., Berberian M., "Active tectonics of the South Caspian Basin", Geophysical Journal International 148 (2002) 214-245.
19. Safari H., Khedri Gharibvand L., "Gas leakage hazard zonation of Masjed-i-Soleiman area, Zagros, Iran, using GiT", Natural Hazards, DOI 10.1007/s11069-015-2022-1, Vol. 80, (2016)1257-1278.
20. Safari H, Gholami M, "Tectonic Evolution of Southern Limb of Eastern Alborz, Iran" International Geoinformatics Research Development Journal. Vol: 2, Issue: 1 (2011) 1-13.
21. Sabins Floyd F., "Remote sensing principle and interpretation" W. H. Freeman and company, New York, (1996) 119-176.
22. Stocklin J., "North Iran: Alborz Mountains" Geological Society of London, Special Publications, Vol: 4, (1974) 213- 2334.
23. Mora S., Vahrson, W. G., "Determinacion ”a priori” de la amenaza de deslizamientos utilizando indicadores morfodinamicos", Tecnologia, No. 1, Vol. 3 (1993) 32

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]

24. United States Geological Survey (USGS), "The landslide handbook: a guide to understanding landslides", report No. 1325, by: Highland, L.M. and Bobrowski, P., (2008) 129.

25. Varnes D. J., "Movement types and process, in Schuster, R.L., Krizek, R.J., eds, Landslides analysis and control", Transportation research board, Special report No. 176, National Research Council, Washington, (1978) 11-23.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2025-12-09]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1399.14.3.4.6]