ارزیابی خطر زمین‌لغزش به‌کمک مدل فازی دانش- مبنا و روش ترکیبی فازی- اوزان شاهد در منطقهٔ مسکون-جیرفت

*سمیه اکبر؛ دانشگاه صنعتی اصفهان
حجت‌الله رنجبر، سعید کریمی نسب؛ دانشگاه شهید باهنر کرمان، گروه مهندسی معدن
مهدی عبدالملکی؛ دانشگاه کردستان، گروه مهندسی معدن

تاریخ: دریافت ۹۰/۱۱/۲۰ **پذیرش** ۹۱/۱۱/۱

چکیده

منطقهٔ بررسی شده در جیرفت و زون آتشفشانی سهند- بزمان قرار دارد و از نظر تکتونیکی فعال است. طبق پژوهش‌های قبلی و شرایط منطقه، عوامل گوناگون مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش برآورد شده و اهمیت هرکدام به‌طور کیفی مشخص شده است. سه محدودهٔ زمین‌لغزش در منطقه به‌شیوهٔ مستقیم (کار صحرایی) و به‌کمک عکس‌های هوایی مشخص شده است، که یکی از آن‌ها در نزدیکی روستای محمدآباد مسکون واقع است. هدف از انجام این پژوهش ارزیابی خطر زمین‌لغزش در منطقه است که برای این منظور از دو روش فازی و هیبرید فازی- اوزان شاهد، استفاده شده است. نقشه‌های حاصل از دو روش، انطباق خوبی مخصوصاً در قسمت‌های پرخطر نشان می‌دهند و هم‌چنین با زمین لغزش‌های موجود در منطقه مطابقت دارند. روش هیبریدی با احتیاط بیش‌تر و با توجه به نقاط شاهد، مناطق مستعد لغزش را معرفی می‌کند. در نتیجه مناطق معرفی شده، نسبت به‌روش فازی مساحت کم‌تری اشغال می‌کنند. بنا بر این نقشه‌های حاصل از دو روش هیبریدی و فازی، به‌ترتیب به‌عنوان حد آستانه‌های مینیمم و ماکزیمم خطر لغزش در منطقه مورد توجه قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، ارزیابی، فازی، ترکیبی، فازی-اوزان شاهد

*نویسنده مسئول somaieh.akbar@mi.iut.ac.ir

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

مقدمه

بررسی علمی و جامع پدیدۀ زمین‌لغزش در دنیا به‌دلایل متعدد، از مهم‌ترین مسائل است. از حساس‌ترین و مهم‌ترین مسائل در پروژه‌های عمدۀ عمرانی، مانند انتخاب مسیر احداث بزرگراه‌ها و راه‌های اصلی و فرعی کوهستانی، انتخاب محل احداث سدهای خاکی، بتونی و هم‌چنین آب‌بندها و کانال‌های انتقال آب، احداث تونل‌های عبور و مرور و طرح‌هایی مثل توسعۀ جنگل‌ها و مراتع طبیعی و هرگونه توسعۀ معدنی در گرو بررسی پایداری شیب‌های طبیعی منطقه است. امروزه بحث، شناسایی، مهار و پیش‌گیری از تلفات و خسارات جانی اقتصادی و اجتماعی ناشی از حوادث طبیعی مانند زمین‌لغزه، سیل و زلزله، مورد توجه خاص محافل علمی- تحقیقاتی و مسئولان در اکثر کشورها است.

زمین‌شناسی، توپوگرافی، شرایط آب و هوایی منطقه و فاکتورهای انسانی مانند تغییر کاربری زمین و ساخت جاده فاکتورهای مهمی هستند که در ایجاد زمین‌لغزش در یک منطقه نقش دارند. پژوهش‌گران مختلف عوامل مؤثر در زمین‌لغزش را بررسی کرده‌اند [۱]-[۱۲]. نقشه‌های خطر و قابلیت زمین‌لغزش به‌وسیلۀ تکنیک‌های پهنه‌بندی مستقیم و غیرمستقیم تولید می‌شوند. در روش مستقیم درجۀ خطر بر اساس تجربه و دانش فرد محقق در منطقه با توجه به‌شرایط منطقه‌ای تعیین می‌شود. تهیۀ نقشۀ خطر به‌صورت غیرمستقیم با به‌کار گرفتن تکنیک‌های گوناگونی امکان‌پذیر است که در این پژوهش به دو روش فازی دانش- مبنا و هیبرید فازی- اوزان شاهد می‌پردازیم. منطق فازی را در ابتدا پرفسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ معرفی کرد و سپس در علوم مختلف جنبه کاربردی پیدا کرد. برخی محققان روش فازی را در زمینۀ ارزیابی خطر لغزش به‌کار برده‌اند [۱۳]-[۲۱]. بونهام کارتر در سال ۱۹۸۹، روش اوزان شاهد را که بر مبنای تئوری احتمال بیز است، برای پتانسیل‌یابی مواد معدنی استفاده کرد [۲۲]. در سال‌های اخیر این روش در پهنه‌بندی خطر لغزش به‌کار رفته و مقالاتی در این زمینه منتشر شده است [۲۳]-[۲۸]. پروال (۲۰۰۶)، روش هیبرید فازی- اوزان شاهد در تلفیق داده‌های اکتشافی را استفاده کرده است [۲۹].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

منطقهٔ بررسی شده

منطقهٔ بررسی شده از توابع شهرستان جیرفت در استان کرمان است که در زون UTM40 شمالی واقع شده است و محدودهٔ آن از ۵۸۰۸۲۰ تا ۵۹۷۲۵۵ شرقی و از ۳۱۹٤۲۹۵ تا ۳۲۰۷۹۸٦ شمالی به مساحت حدود ۲۲۷۱۳ هکتار است.

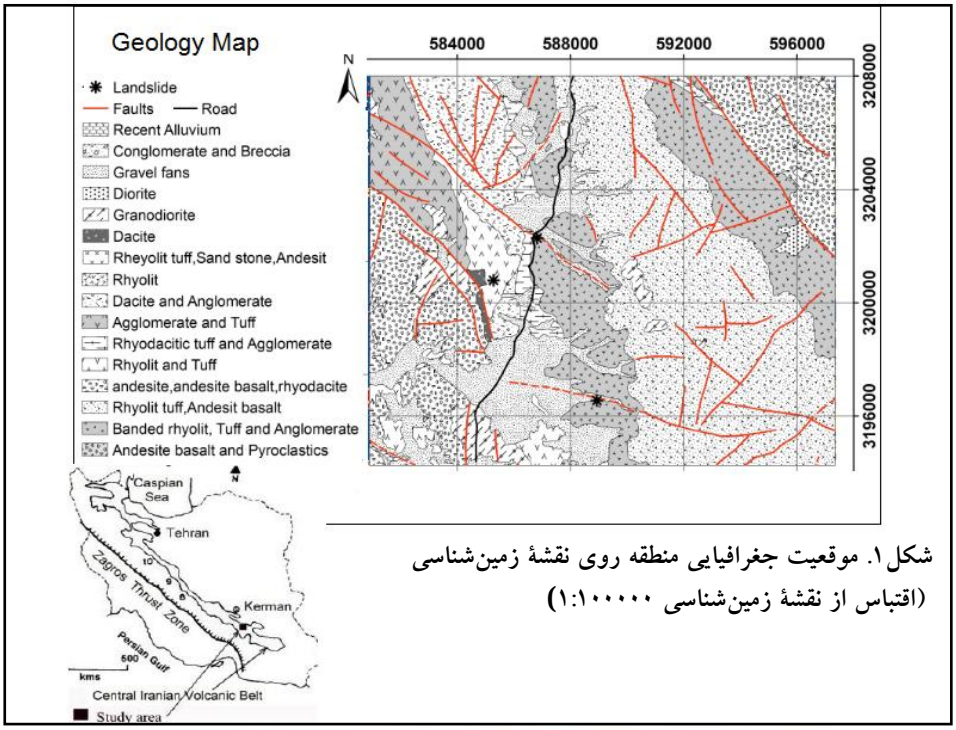
این منطقه از نظر زمین‌شناسی در زون ساختاری موسوم به کمربند آتشفشانی سهند- بزمان قرار گرفته است. جادهٔ جیرفت- کرمان در این منطقه با روند تقریبی شمالی-جنوبی و به موازات کوه‌های بارز عبور می‌کند. تشکیلات عمدهٔ زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های آذرین بیرونی از نوع آندزیت، آندزیت بازالت، ریولیت، ریوداسیت، داسیت و سنگ‌های آذرآواری از نوع آگلومرا و توفیت و از لحاظ سنی مربوط به ائوسن هستند. این توالی در قسمت‌هایی به‌وسیلهٔ توده‌های گرانودیوریتی قطع شده‌اند. سنگ‌های منطقهٔ بررسی شده اکثراً به شدت هوازده و تکتونیزه‌اند. وجود گسل‌های با طول زیاد، چشمه‌های آب گرم و یک گل‌افشان در اطراف محدودهٔ بررسی شده دلیلی بر فعال بودن منطقه از نظر تکتونیکی است. گسل‌های منطقه اکثرا دارای روند شمالی– جنوبی یا شمال غربی– جنوب شرقی هستند (شکل ۱).

از نظر شرایط آب و هوایی، مورفولوژی کوهستانی بر منطقه حاکم است. طبق آمار سال ۱۳۸۳ سازمان هواشناسی در ایستگاه جیرفت، متوسط درجهٔ حرارت سالیانه ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد، متوسط درجهٔ حرارت نیم‌سال اول ۳۱/۸ و متوسط درجهٔ حرارت نیم‌سال دوم ۱۸/۲ درجه بوده است. میانگین بارندگی، در پربارش‌ترین ماه یعنی بهمن، ۱۳۰ میلی‌متر و در کم‌بارش‌ترین ماه یعنی تیر، صفر میلی‌متر، است.

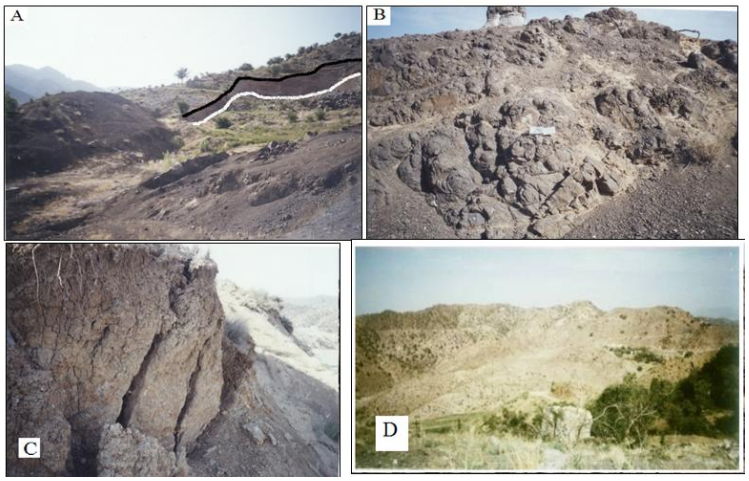
سه نقطهٔ زمین‌لغزش در منطقه گزارش شده، که به‌کمک برداشت‌های صحرایی و عکس‌های هوایی تأیید شده است (شکل ۱ و۲). هم‌چنین پژوهش‌های ابتدایی بر روی عوامل مؤثر در زمین لغزش‌های منطقه انجام گرفته است [۳۰]، [۳۱].

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]



شکل۱. موقعیت جغرافیایی منطقه روی نقشهٔ زمین‌شناسی (اقتباس از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰)



شکل ۲. A) یک زمین لغزش در منطقه را نشان می‌دهد که تاج لغزش با خط مشکی و قلهٔ زمین لغزش با خط سفید نشان داده شده است B) هوازدگی پوست‌پیازی که در منطقه مشاهده می‌شود و در سنگ‌های آگلومرا در بالا نشان داده شده است C) ترک‌های ناشی از لغزش در منطقهٔ بررسی شده D) سنگ‌های آلتره شده در منطقه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

مواد و روش‌ها

پژوهش‌های جامع روی نمونه‌های زمین‌لغزش موجود در محدوده، خصوصیات مختلف منطقه و هم‌چنین پژوهش‌های قبلی انجام شده، در تعیین معیارهای مؤثر در وقوع لغزش و هم‌چنین اهمیت هر معیار، ما را کمک می‌کند.

با تعیین مدل مفهومی منطقه، لایه‌های اطلاعاتی مختلف به‌فرمت رقومی تنظیم شده و با هم‌دیگر تلفیق می‌شوند. نرم‌افزارهای لازم برای تهیه، تلفیق و تفسیر داده‌ها شامل نرم افزارهای ENVI، Arc Map و Matlab است.

به‌علت وجود نقاط شاهد کم از زمین‌لغزش در منطقه، دو روش دانش-مبنا برای تهیهٔ مدل ترکیبی لایه‌ها در نظر گرفته شده که شامل روش فازی بر مبنای دانش و روش هیبریدی فازی-اوزان شاهد است.

در این پژوهشی هدف ما، به‌روزرسانی و معرفی مناطق دارای پتانسیل لغزش در منطقه مذکور، برای انجام پژوهش‌های در مقیاس بزرگ‌تر است.

۱. مدل مفهومی زمین‌لغزش در منطقه

عوامل مختلفی در ایجاد زمین‌لغزش مؤثرند که برای بررسی باید داده‌های مربوط به تمام عوامل جمع‌آوری شده و نقش آن‌ها در زمین‌لغزش تعیین گردد. در این پژوهش، با توجه به پژوهش‌های انجام شده، عوامل گوناگون مؤثر در لغزش تعیین گردیده و به‌صورت لایه‌های رقومی ارائه شدند. که در ادامه شرح داده می‌شوند.

با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته در منطقه و بررسی‌های کلی انجام گرفته بر روی زمین‌لغزش‌ها، معیارهای لغزش در منطقهٔ بررسی شده تعیین گردیدند که به چند گروه کلی شامل عوامل توپوگرافی و ساختاری، لیتولوژی، کاربری‌زمین و آلتراسیون تقسیم می‌شوند. هم‌چنین عواملی مانند میزان بارندگی، سطح آب‌های زیرزمینی، لرزه‌خیزی و ضخامت خاک برجا نیز در پتانسیل لغزش مؤثرند که در این پژوهش به‌دلایل مختلف از جمله یک‌سان بودن شرایط برای کل محدودهٔ بررسی شده و یا در دسترس نبودن اطلاعات کافی مورد توجه قرار نگرفته‌اند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

عوامل توپوگرافی شامل شیب سطحی، جهت شیب، انحنای سطح[۱] و ارتفاع نسبی[۲] هستند. مهم‌ترین عامل در حرکت یک ذره بر روی یک سطح شیب‌دار نیروی گرانش است. نقش این نیرو زمانی آشکار می‌گردد که مؤلفهٔ وزن به دو مؤلفه تجزیه گردد. وظیفه مؤلفهٔ عمودی، نگاه داشتن جسم روی سطح شیب‌دار و عمل‌کرد مؤلفهٔ مماسی، برهم‌زدن تعادل و حرکت آن به سمت پایین است. بر اثر افزایش شیب و ارتفاع، نیروهای رانشی افزایش می‌یابند. عامل شیب سطحی ارتباط مستقیم با پتانسیل لغزش دارد و در دامنه‌های با شیب تند احتمال وقوع لغزش افزایش می‌یابد. هم‌چنین طبق پژوهش‌های انجام شده در منطقه بررسی شده، رطوبت در دامنه‌های شمالی بیش‌تر است‌که در نتیجه پتانسیل لغزش نیز در آن‌ها بیش‌تر است.

انحنای سطح وضعیت مورفولوژی منطقه را نشان می‌دهد. واضح است که بعد از بارندگی شدید، شیب‌های دارای تقعر (به سمت بالا) آب بیش‌تری جذب می‌کنند و مدت بیش‌تری این آب را در خود نگه می‌دارند و قابلیت لغزش را افزایش می‌دهد. در عوض شیب‌هایی که به سمت بالا تحدب دارند، از نظر مورفولوژیکی ارتباطی با زمین‌لغزش ندارند.

منظور از ارتفاع نسبی، اختلاف ارتفاع در دو نقطهٔ مجاور هم است. مثلاً در دشت ارتفاع نسبی کم است، اما در یک منطقه با اختلاف ارتفاع شدید مانند کوه و دره، ارتفاع نسبی افزایش می‌یابد. واضح است که با افزایش ارتفاع نسبی، پتانسیل لغزش افزایش می‌یابد.

عوامل ساختاری شامل گسل‌ها و آبراهه‌های موجود در منطقه است. ساخت‌های زمین‌شناختی نامناسب مانند چین‌خوردگی و گسلش از عوامل ناپایداری دامنه‌ها است.

هم‌چنین تراکم آبراهه‌ها و نقاط تلاقی آن‌ها می‌تواند پتانسیل‌لغزش را افزایش دهد. زیرا علاوه بر افزایش رطوبت و سطح آب در این مناطق، می‌توانند نشانه وجود شکستگی‌های بیش‌تر در مسیر باشند.

در مورد نقش جنس زمین‌شناسی نیز باید گفت که برخی مواد استعداد بیش‌تری برای ناپایدارسازی دامنه دارند. منطقهٔ بررسی شده عمدتاً از سنگ‌های آذرین بیرونی و آذرآواری تشکیل شده است، و واحدهای مستعد لغزش مانند رسوبات کواترنری، خاک‌های برجا، لایه رسی، لس‌ها و سنگ‌هایی مانند شیل و مارن در منطقه دیده نمی‌شود، بنا بر این عامل تأثیرگذار،

۱. Curvature ۲. Relative relief

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

دگرسانی واحدهای آذرین است. زیرا آلتراسیون باعث دگرگونی سنگ‌ها می‌شود و تغییرات کانی‌شناسی در آن‌ها به‌وجود می‌آورد. این تغییرات می‌تواند منشأ فرسایش سنگ و در نتیجه کاهش مقاومت سنگ شود که خود می‌تواند به پیشرفت زمین لغزش کمک کند. پوشش گیاهی منطقه عمدتاً از نوع زمین‌های کشاورزی است. کشاورزی مخصوصاً در دامنه‌ها، باعث جذب آب در دامنه و در نتیجه افزایش وزن مخصوص مواد موجود روی دامنه و در نهایت لغزش آن به سمت پایین دامنه می‌شود. در هنگام احداث جاده، نیاز به خاک‌برداری‌ها و خاک‌ریزی‌های مختلفی است که این عملیات باعث به‌هم‌خوردن تعادل موجود می‌شود. تنها جادهٔ مهم در منطقهٔ مورد نظر جاده جیرفت-کرمان است.

۲. لایه‌های ورودی

۲-۱. عوامل توپوگرافی: چهار عامل مقدار شیب، جهت شیب، ارتفاع نسبی و انحنای سطح در ایجاد پتانسیل لغزش شناخته شده‌اند که در ادامه توضیح داده می‌شوند.

نقشهٔ مقدار شیب و جهت شیب به‌کمک مدل ارتفاعی رقومی منطقه تهیه شد که در شکل ۳ آورده شده است. برای ایجاد مدل ارتفاعی رقومی از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور استفاده شد.

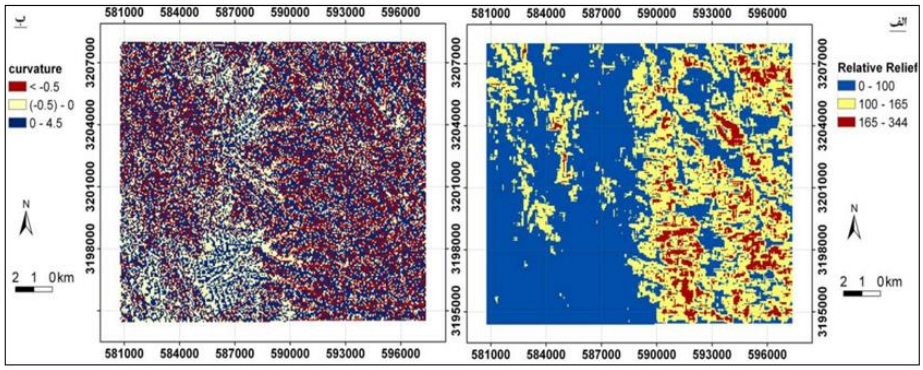
به‌وسیلهٔ ابزار آنالیز مکانی، پنجره‌ای مربعی شکل با ابعاد ۵*۵ پیکسل، بر روی مدل ارتفاعی رقومی منطقه منطبق گردید و اختلاف بین بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع موجود در پنجره، به پیکسل مرکزی نسبت داده شد، بدین‌صورت نقشهٔ ارتفاع نسبی منطقه تهیه شد (شکل ٤).

برای ایجاد لایهٔ نشان‌دهندهٔ انحنای سطح نیز از مدل ارتفاعی رقومی[۱] منطقه استفاده شد. مقادیر به‌دست آمده بزرگ‌تر از صفر نشان‌دهندهٔ تحدب رو به افزایش و مقادیر به‌دست آمده منفی نشان‌دهندهٔ تقعر رو به افزایش هستند. مقدار صفر نشان‌دهندهٔ مناطق پست است. عموماً مقادیر بین ۰/۵- تا ۰/۵ نشان‌دهنده مناطق تپهٔ ماهوری[۲] (پستی و بلندی ملایم) است، و مقادیر بین٤- تا ٤ کوهستان‌های با شیب شدید (پستی و بلندی شدید) را نشان می‌دهند [۳۲]. بر اساس مدل مفهومی نقشه مذکور تهیه شده و به سه کلاس مطابق شکل ۲ تقسیم‌بندی شده است

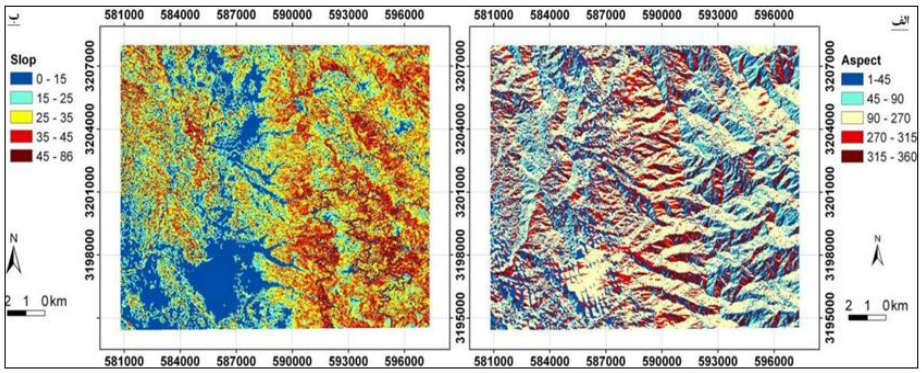
۱. Digital Elevation Model (DEM) ۲. Hilly areas

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]



شکل۳. الف) لایهٔ جهت شیب، ب) لایهٔ مقدار شیب



شکل ٤. الف) نقشهٔ ارتفاع نسبی در محدوده که از مدل ارتفاع رقومی منطقه حاصل گردید؛ ب) نقشهٔ انحنای سطح. مقادیر کوچک‌تر از ۰/۵- تقعر در مناطق با مورفولوژی شدید، و مقادیر بین ۰ و ۰/۵- تقعر در مناطق تپه ماهوری را نمایش می‌دهد

۲-۲. عوامل ساختاری: فاصله ازگسل‌ها و تراکم آبراهه‌ها[۱]، دو عامل ساختاری مؤثر در منطقه‌اند، که هر یک به‌طور جداگانه مورد بررسی و توجه قرار می‌گیرند. گسل‌های موجود در منطقه مطابق شکل ۵، تا محدودهٔ ۷۵۰ متر، در سه کلاس بافر شده‌اند. واضح است که نزدیکی به گسل با پتانسیل لغزش ارتباط مستقیم دارد.

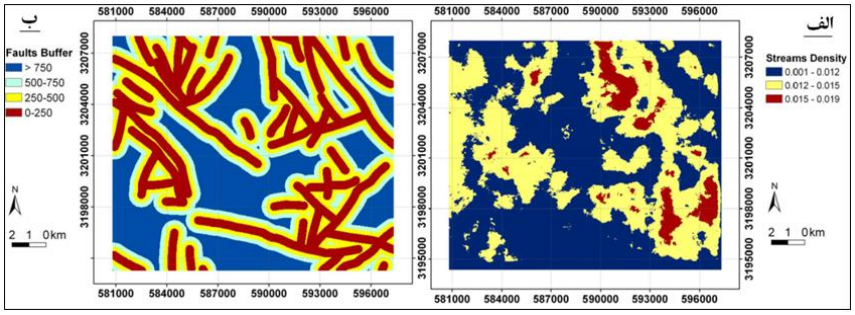
برای ایجاد لایهٔ تراکم آبراهه‌ها، در ابتدا فایل رقومی آبراهه‌ها، از نقشه‌های توپوگرافی استخراج می‌شود. نقشهٔ تهیه شده، با سلول‌های مربعی به ابعاد حدود۵۰ متر شبکه‌بندی شده، سپس معیارهـای تراکم آبـراهه‌ها شامل طول، تعـداد نقاط تقاطع و تعداد آبراهه‌ها در هر سلول

۱. Drainage Density

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

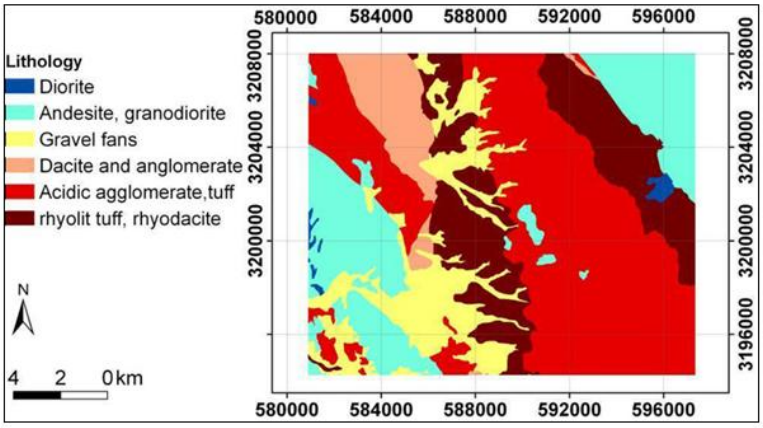
[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

محاسبه شد. نقاط محاسبه شده به نقطهٔ مرکزی هر سلول نسبت داده شد. سپس جمع سه فاکتور مذکور به‌صورت مدل سطحی ارائه شد که مطابق شکل ۵، نمایان‌گر تراکم آبراهه‌ها در هر نقطه از محدوده است



شکل ۵. الف) لایهٔ چگالی آبراهه‌ها که با استفاده از سه فاکتور طول، تعداد و نقاط تقاطع آبراهه‌ها تهیه شده است. ب) بافر گسل‌های منطقه در فاصله‌های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متر

۲-۳. لایه لیتولوژی: واحدهای مختلف سنگ‌شناسی، از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج و رقومی شدند. چنان‌که در مدل مفهومی ذکر شد، واحدهای منطقه عموماً سنگ‌های آذرین بیرونی، آذرآواری و مقداری رسوبات آبراهه‌ای است. واحدهای مذکور برحسب خصوصیات سنگ شناسی در شش کلاس طبقه‌بندی شده‌اند که در شکل۶ نشان داده شده است.



شکل ۶. نقشهٔ لیتولوژی (اقتباس از نقشهٔ زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سبزواران)؛ طبق راهنمای نقشه از بالا به پایین پتانسیل لغزش افزایش می‌یابد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

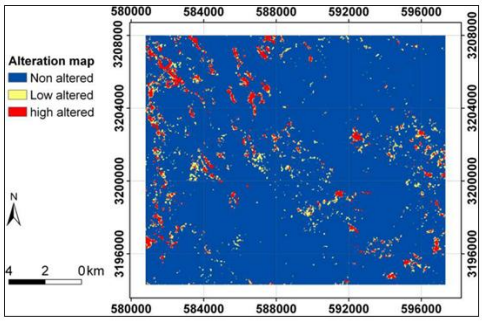
[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

۲-٤. لایه دگرسانی[۱]: نقشهٔ مناطق آلتراسیون به‌کمک تصاویر ماهواره‌ای ETM و با استفاده از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی[۲] (روش کروستا[۳]) تهیه شد [۳۳]، [۳٤]. از آن‌جا که آلتراسیون آرژلیک و در نتیجه ایجاد کانی‌های دارای بنیان هیدروکسید، تأثیر زیادی در کاهش مقاومت سنگ‌ها دارند، لذا آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ٤، ۵ و ۷، برای استخراج مناطق آلتره شده انجام گرفت که نتایج بردارها و مقادیر ویژه در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول۱. بردارهای ویژهٔ آنالیز مؤلفه‌های اصلی باندهای ۱، ٤، ۵ و ۷

بردارهای ویژه	باند۱	باند٤	باند۵	باند۷
PC1	۰/٤۳۳۳	۰/۵۰۷٦	۰/۵۷۰٤	۰/٤۷۸۷
PC2	۰/۷۰۵۵	۰/۳۲۲۹	-۰/٤۹٦۷	-۰/۳۸۹۰
PC3	۰/۵۳۸۷	-۰/۷۷٤٦	۰/۰۰۲۰	۰/۳۳۱٤
PC4	-۰/۱۵٦۲	۰/۱۹۵۱	-۰/٦۵٤۱	۰/۷۱۳۹

کانی‌های رسی در باند ۵ انعکاس و در باند ۷، جذب نشان می‌دهند. چنان‌که در جدول مذکور مشاهده می‌شود، PC4 به‌علت بیش‌ترین اختلاف بین باندهای ۵ و ۷، نشان‌دهندهٔ کانی‌های رسی است. اما به‌دلیل منفی بودن این اختلاف، معکوس PC4 در نظر گرفته می‌شود، که بعد از اعمال حد آستانه مناسب، مناطق دگرسان شده در شکل ۷ نشان داده شده‌اند. دو حد آستانه یکی برای مناطق زیاد دگرسان شده، و دیگری مناطق کم‌تر دگرسان شده اعمال می‌شود.



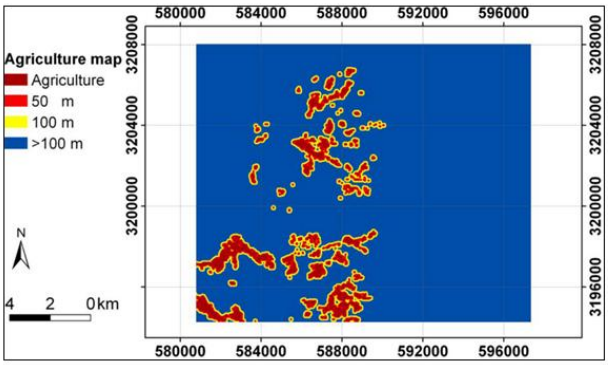
شکل ۷. دگرسانی کانی‌های بنیان OH، مناطق با شدت دگرسانی زیاد به‌رنگ قرمز و مناطق کم‌تر دگرسان شده به‌رنگ زرد نمایش داده شده‌اند

۱. Alteration ۲. Principle Component Analysis (PCA) ۳. Crosta method

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

۲-۵. لایهٔ کاربری اراضی: با توجه به تأثیر منفی زمین‌های کشاورزی بر روی زمین‌لغزش، نقشهٔ پوشش گیاهی منطقه که عمدتاً زمین‌های کشاورزی است، از طریق تصاویر ماهواره‌ای ETM و شاخص گیاهی NDVI استخراج شد. از آن‌جا که زمین‌های کشاورزی علاوه بر مساحت زمین استفاده شده، محیط اطراف را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهند (به‌علت افزایش سطح آب زیرزمینی به‌صورت محلی)، تا فاصلهٔ ۱۰۰ متر بافر شدند.



شکل ۸. زمین‌های کشاورزی منطقه که تا فاصلهٔ ۱۰۰ متری بافر شده‌اند.

۳. روش‌های تلفیق داده‌ها[۱]

در این پژوهش برای ایجاد نقشهٔ پهنه‌بندی خطر لغزش، از دو روش تلفیق داده‌ها استفاده گردید. از آن‌جا که داده‌های کافی در مورد مناطق رخداد زمین لغزش(نقاط شاهد) وجود ندارد، روش‌های تلفیقی باید استفاده شوند که لایه‌ها بر اساس دانش متخصص وزن‌دهی شوند و به نقاط آموزشی[۲] وابسته نباشند. بنا بر این دو مدل فازی-دانش مبنا[۳] و هیبرید فازی-اوزان شاهد مناسب شناخته شدند.

جدول ۲ استقلال شرطی لایه‌های شاهد را ارائه می‌دهد و مشاهده می‌شود که لایه‌های اطلاعاتی، وابستگی شرطی ندارند [۲۹] . این جدول می‌تواند به طراحی مدل فازی کمک کند، به علاوه در تلفیق داده‌ها به روش هیبرید فازی-اوزان شاهد، شرط داشتن استقلال شرطی[۴] لایه‌ها مهم و اساسی است.

۱. Data Integration Methods ۲. Training Points
۳. Knowledge-Driven Fuzzy Model ۴. Conditional Independence

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

جدول ۲. استقلال شرطی لایه‌ها (مقادیر زیر ۰/۰۵ نشان‌دهندۀ وابستگی شرطی است)

لایه‌ها	آلتراسیون	مقدار شیب	ارتفاع نسبی	لیتولوژی	فاصله از گسل	انحنای سطح	جهت شیب	تراکم آبراهه‌ها
زمین‌های کشاورزی	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۸۵	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۸۵
آلتراسیون		۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
مقدار شیب			۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۹۶	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۹۶
ارتفاع نسبی				۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
لیتولوژی					۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
فاصله از گسل						۰/۹۹۸۵	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۸۵
انحنای سطح							۱/۰۰۰۰	۰/۹۷۸۷
جهت شیب								۱/۰۰۰۰

۳-۱. مدل فازی دانش- مبنا

تابع توزیع زیر برای وزن‌دهی نقشه‌های شاهد چندکلاسی در روش فازی دانش-مبنا استفاده می‌شود (پروال ۲۰۰۶).

$$\mu_{A_i}\left(x_{ij}\right) = \frac{1}{1+e^{-a\left(cs_{ij}-b\right)}} \qquad (۱)$$

به‌طوری‌که b نقطۀ عطف و a شیب تابع است. cs_{ij} وزن کلاس‌ها است که بدین‌صورت محاسبه می‌شود ، و مقادیر w_i و w_{ij} در جدول ۲ آورده شده‌اند:

$$cs_{ij} = w_i * w_{ij} \qquad (۲)$$

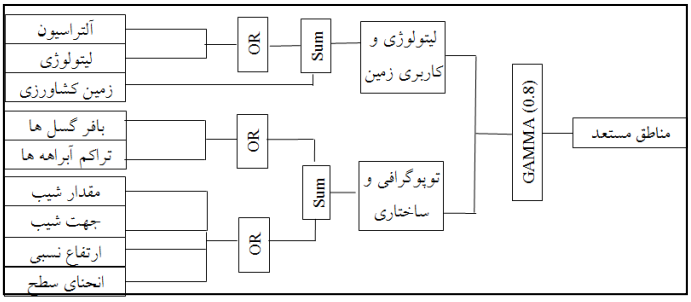
پارامترهای a و b به‌صورت ابتکاری انتخاب می‌شوندکه شکل تابع و در نتیجه وزن‌های فازی را تعیین می‌کنند. در این پژوهش پس از امتحان مقادیر مختلف a و b، a=0.05 و b=25 مطلوب شناخته شد.

کلاس‌ها در هر لایۀ شاهد در مقیاس بین ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی می‌شوند که به مطلوب‌ترین کلاس مقدار ۱۰ و به نامطلوب‌ترین کلاس مقدار ۱ تعلق می‌گیرد. توجه شود که مطلوبیت بیش‌تر در این جا، به مفهوم ایفای نقش مؤثرتر در ایجاد زمین‌لغزش است. در نهایت وزن‌های ایجاد شده در جدول ۳ آورده شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

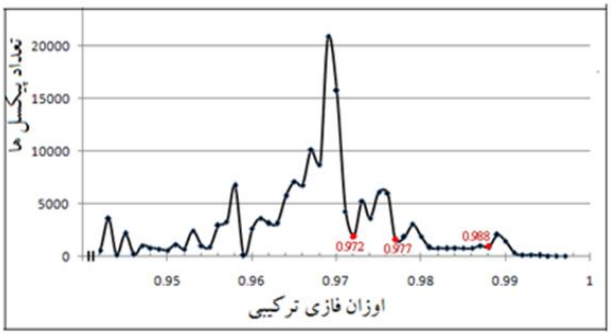
در این روش، تلفیق معیارهای شاخص مؤثر در زمین‌لغزش، بر اساس عمل‌گرهای فازی OR، SUM و Gamma انجام می‌شود. به طراحی این عمل‌گرها در مدل فازی باید توجه شود، زیرا بر روی نتایج شدیدا تأثیر می‌گذارد. برای مثال از عمل‌گرهای AND و OR می‌توان برای ترکیب نقشه‌های دارای احتمال وجود وابستگی شرطی استفاده کرد.



شکل ۹. مدل طراحی شده فازی، برای تلفیق لایه‌های فازی

این وابستگی ممکن است بر اثر ارتباط ژنتیکی بین معیار شاخصی که هر کدام نشان می‌دهند و یا ارائه معیار شاخص مشابه باشد. شکل ۹ مدل فازی که در این پژوهش طراحی و به‌کار گرفته شده است را نشان می‌دهد.

نقشهٔ مطلوبیت فازی تلفیقی، شامل مقادیر مختلف از حدود ۰.٦ تا ۰.۹۹۸ به‌طور پیوسته است، بنا بر این برای ارائه مناطق مستعد زمین‌لغزش، طبقه‌بندی آن لازم است. برای کلاس‌بندی تصویر، با نرم‌افزار MATLAB اطلاعات دقیق تصویر استخراج شده و هیستوگرام آن رسم شد (شکل ۱۰). با توجه به حد آستانه‌های حاصل از هیستوگرام، نقشه نهایی پتانسیل زمین‌لغزش تولید شد، که در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰. نمودار فراوانی مقادیر فازی نقشه پتانسیل لغزش به روش تلفیق فازی (تنها نمودار فراوانی مقادیر زیاد پتانسیل برای تعیین حدآستانه لغزش آورده شده است)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

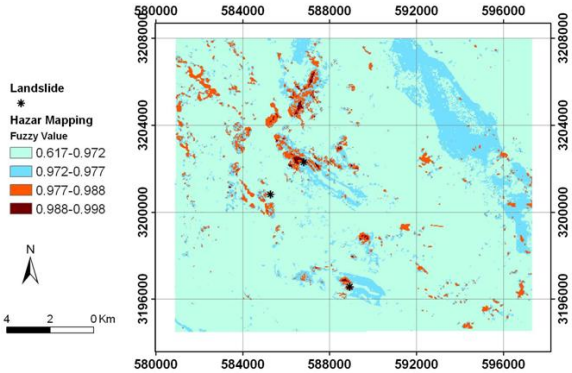
جدول ۳. وزن‌های فازی لایه‌های مختلف

لایه‌های شاخص	کلاس	ارزش کلاس	وزن کلاس	وزن لایه	وزن کلی	وزن فازی a= ۰/۰۵ b=۲۵
مقدار شیب	٤٥-۹۰	٥	۱۰	۱۰	۱۰۰	۰/۹۷۷
	۳٥-٤٥	٤	۸		۸۰	۰/۹٤۰
	۲٥-۳٥	۳	٦		٦۰	۰/۸٥۲
	۱٥-۲٥	۲	٤		٤۰	۰/٦۸۰
	۰-۱٥	۱	۱		۱۰	۰/۳۲۱
فاصله از گسل‌ها	۰-۲٥۰	٤	۱۰	۹	۹۰	۰/۹٦۳
	۲٥۰-٥۰۰	۳	۷		٦۳	۰/۸۷۰
	٥۰۰-۷۰۰	۲	٤		۳٦	۰/٦۳٤
	>۷۰۰	۱	۱		۹	۰/۳۱۰
دگرسانی	مناطق دگرسان شده درجهٔ ۱	۳	۱۰	۸	۸۰	۰/۹٤۰
	مناطق دگرسان شده درجهٔ ۲	۲	۸		٦٤	۰/۸۷٥
	مناطق دگرسان نشده	۱	۱		۸	۰/۳۰۰
ارتفاع نسبی	۱٦٥-۳٥۰	۳	۱۰	۸	۸۰	۰/۹٤۰
	۱۰۰-۱٦٥	۲	۸		٦٤	۰/۸۷۹
	=<۱۰۰	۱	۱		۸	۰/۳۰۰
تراکم آبراهه‌ها	=>٤	۳	۱۰	۷	۷۰	۰/۹۰٥
	۲-٤	۲	۸		٥٦	۰/۸۲٥
	۰-۲	۱	۱		۷	۰/۲۸۹
انحنای سطح	>(-۰/٥)	۳	۱۰	۷	۷۰	۰/۹۰٥
	-۰/٥-۰	۲	۷		٤۹	۰/۷۷۹
	< ۰	۱	۱		۷	۰/۲۸۹
زمین کشاورزی	زمین‌های کشاورزی	٤	۱۰	٦	٦۰	۰/۸٥۲
	فاصلهٔ ۷٥ متری از زمین‌های کشاورزی	۳	۹		٥٤	۰/۸۱۰
	فاصلهٔ ۱٥۰متری از زمین‌های کشاورزی	۲	۷		٤۲	۰/۷۰۱
	مناطق فاقد زمین‌های کشاورزی	۷	۱		٦	۰/۲۷۹
لیتولوژی	ریولیت توف،ریوداسیت	٦	۱۰	٥	٦۰	۰/۸٥۲
	توف، آگلومرای اسیدی	٥	۹		٥٤	۰/۸۱۰
	داسیت، آگلومرا	٤	۸		٤۸	۰/۷٦۰
	گراول فن	۳	٦		۳٦	۰/٦۳٤
	گرانودیوریت، آندزیت بازالت	۲	۳		۱۸	۰/٤۱۳
	دیوریت	۱	۱		٦	۰/۲۸۹
جهت شیب	٤٥-۳۱٥	۳	۱۰	٥	٥۰	۰/۷۸۷
	۲۷۰-۳۱٥ یا ۹۰-٤٥	۲	٥		۲٥	۰/٥۰۰
	۹۰-۲۷۰	۱	۱		٥	۰/۲۷۹

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

سه زمین‌لغزش موجود در منطقه، برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. چنان‌که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود نواحی لغزش، انطباق خوبی با مناطق دارای پتانسیل بالای لغزش نشان می‌دهند.



شکل ۱۱. پهنه‌بندی خطر لغزش حاصل از مدل فازی؛ نواحی قرمز تیره، مناطق دارای پتانسیل زیاد لغزش و نواحی به‌رنگ نارنجی پتانسیل متوسط را نشان می‌دهند. نواحی آبی مناطق نسبتاً امن را نشان می‌دهند

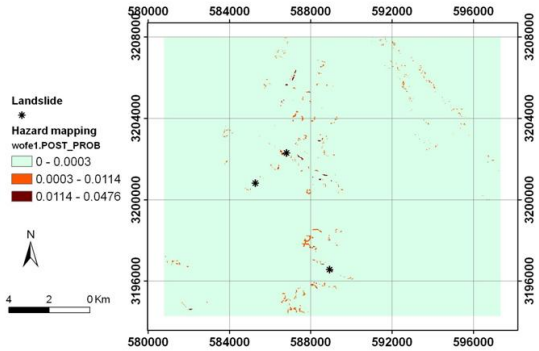
۳-۲. مدل هیبریدی فازی- اوزان شاهد: در این روش، نقشه‌های شاهد بر اساس مدل فازی وزن دهی گردیده و به‌روش اوزان شاهد با هم تلفیق می‌شوند. مدل در کل شامل سه مرحله است: الف) ایجاد مجموعه‌ای فازی برای معیارهای پتانسیل لغزش و محاسبهٔ اوزان فازی برای هر الگوی پیش‌بینی کننده ب) تعمیم لایه‌های وزن‌دار شده به‌عنوان ورودی مدل اوزان شاهد ج) اعمال مدل اوزان شاهد برای تولید نقشه‌های مطلوبیت فازی- احتمال پسین[۱] در این پژوهش لایه‌های وزن‌دهی شده در بررسی فازی به‌عنوان لایه‌های ورودی اعمال شدند (جدول ۳). سپس لایه‌های فازی به‌روش اوزان شاهد تلفیق شده و احتمال پسین محاسبه شد. نقشهٔ نهایی به‌روشی که در مدل فازی شرح داده شد، کلاس‌بندی می‌شود که در زیر قابل مشاهده است.

چنان‌که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، نواحی معرفی شده دارای پتانسیل لغزش در روش هیبرید، مساحت بسیار کم‌تری نسبت به‌روش فازی اشغال می‌کنند، ولی انطباق خوبی با نقاط شاهد و روش فازی نشان می‌دهند. به‌عبارتی می‌توان گفت، این روش مناطق دارای خطر لغزش را به‌صورت دقیق‌تر و با وسواس بیش‌ترمعرفی می‌کند.

۱. Posterior Probability

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]



شکل ۱۲. پهنه‌ندی خطر لغزش حاصل از مدل هیبرید فازی-اوزان شاهد؛ نواحی تیره‌رنگ، مناطق دارای پتانسیل زیاد لغزش و نواحی به‌رنگ نارنجی، پتانسیل متوسط لغزش را نشان می‌دهند

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به کم بودن نقاط شاهد، روش‌های دانش- مبنا گزینۀ مناسبی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی است. مشهورترین نوع از این روش‌ها، روش فازی بر مبنای دانش متخصص است که طبق آن وزن دهی لایه‌ها مستقل از نقاط شاهد است. در این پژوهش علاوه بر مدل فازی، از مدل هیبریدی فازی- اوزان شاهد استفاده شد، که بر مبنای وزن‌های فازی عمل می‌کند. برای اعتبار سنجی روش‌های پهنه‌بندی استفاده شده، از نقاط زمین‌لغزش موجود در منطقه استفاده شد، که کارامدی و اعتبار هر دو روش تأیید شد.

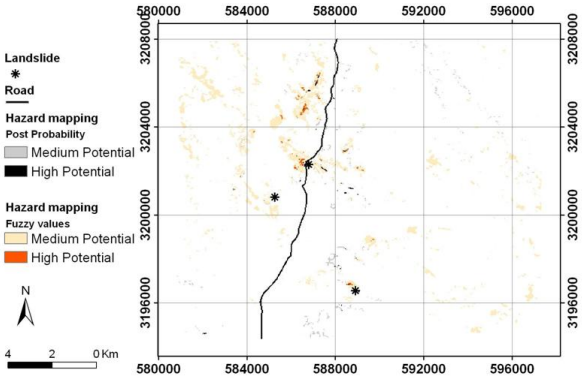
برای مقایسۀ روش‌های پهنه‌بندی خطر، نقشه‌های حاصل از هر دو روش، در شکل ۱۳ روی هم قرار داده شدند. نقاط دارای پتانسیل لغزشی زیاد در روش هیبرید، بر مناطق پر پتانسیل روش فازی منطبق است که می‌توان آن‌ها را به‌عنوان پرخطرترین مناطق، حاصل از هر دو روش معرفی کرد. روش هیبریدی با احتیاط بیش‌تر و با توجه به نقاط شاهد، مناطق مستعد لغزش را معرفی می‌کند، در نتیجه مناطق معرفی شده، نسبت به‌روش فازی مساحت کم‌تری را اشغال می‌کنند. از طرفی، با توجه به‌منفی بودن اثر زمین‌لغزش، توجه به نقشه پتانسیل فازی حاشیۀ امنیت بیش‌تری را برای ما تعیین می‌کند. بنا بر این نقشه‌های پتانسیل لغزش حاصل از دو روش هیبریدی و فازی، می‌تواند به‌ترتیب به‌عنوان مینیمم و ماکزیمم مناطق مستعد لغزش در منطقه مورد توجه قرار گیرد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

لازم به یادآوری است که مناطق معرفی شده، مناطق زمین‌لغزش نیستند، بلکه مناطق دارای پتانسیل‌لغزش در حال یا آینده هستند، که برخی عوامل تشدید کننده مانند زلزله، جاده سازی، بارندگی خیلی شدید و یا مرور زمان می‌تواند باعث وقوع زمین لغزش در این مناطق شود.

چنان‌که در شکل دیده می‌شود، جاده جیرفت- کرمان در منطقهٔ بررسی شده، با روند تقریبی شمالی- جنوبی عبور می‌کند. یکی از نقاط لغزش دقیقاً در کنار جاده قرار دارد که با هر دو روش، به‌عنوان محدودهٔ پرخطر معرفی شده است. با توجه به این که نقشه‌های ارزیابی خطر لغزش در این پژوهش، بدون در نظر گرفتن اثر جاده تهیه شده‌اند، می‌توان این‌چنین نتیجه گرفت که جاده به‌عنوان عامل تشدید کننده در منطقهٔ پرخطر اثر کرده و باعث ایجاد زمین‌لغزش شده است. انجام بررسی‌های ارزیابی خطر رانش زمین در مناطق مختلف، پیش از هر گونه عملیات عمرانی شامل جاده، سد و ... قویا پیشنهاد می‌گردد.



شکل ۱۳. مناطق دارای پتانسیل لغزش، حاصل از هر دو روش فازی و هیبرید؛ چنان‌که مشاهده می‌شود مناطق با پتانسیل زیاد لغزش در هر دو روش با هم منطبق هستند

منابع

1. Harpe C. F. S., "Landslides and related phenomena. A Study of Mass Movements of Soil and Rock", Columbia Univo Press, New York (1938) 137.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

2. Terzaghi K., "Mechanism of landslides. In Paige, S. (ed.), Application of Geology to Engineering Practice", Berkey Volume, Geological Society of America (1950) 83-123.

3. Caine N., "The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows", Geografiska Annaler, vol. 62A (1980) 23-27.

4. Varnes D. J., "Slope movement types and processes, in Schuster R. L., and Krizek R. J., eds., Landslides, Analysis and control", National Research Council, Washington, D. C, Transportation Research Board, Special Report 176 (1978) 11-33.

5. Varnes D. J., "Landslide hazard zonation: a review of principles and practice", published by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, printed by Darantiere, Quetigny, France (1984).

6. Cruden D. M., Varnes D. J., "Landslide Types and Processes. Chapter 3 in Landslides, Investigation and Mitigation, Ed AK Turner and RL Schuster", Transportation Research Board Special Report 247, National Research Council, USA (1996) 36-75.

7. Corominas J., Moya J., "Reconstructing recent landslide activity in relation to rainfall in the Llobregat River basin, Eastern Pyrenees, Spain", Geomorphology, vol. 30 (1999) 79-93.

8. Hungr O., Evans S. G., Bovis M., Hutchinson J. N., "Review of the classification of landslides of the flow type", Environmental and Engineering Geoscience, vol. 7(3) (2001) 221-238.

9. Donati L., Turrini M. C., "An objective method to rank the importance of factors predisposing to landslides with the GIS mothodology: application

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

to an area of the Apennines (Valnerina; Perugia, Italy)", Engineering Geology, 63 (2002) 277-289.

۱۰. فیض‌نیا س، کلارستاقی ع.، احمدی ح.، صفایی م.، *بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعهٔ موردی حوزه آبخیز شیرین رود-سدتجن)* منابع طبیعی ایران، شمارهٔ ۵۷ (۱) (۱۳۸۳).

۱۱. شریعت جعفری م.، غیومیان ج.، *بررسی ارتباط و هم‌بستگی بین رسوب‌دهی با گسیختگی شیب‌ها و رانش زمین در حوضه طالقان مرکزی*، نشریهٔعلوم زمین، شمارهٔ ۵۵ (۱۳۸٤).

۱۲. شریعت‌جعفری م.، *زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی)*، انتشارات سازه (۱۳۷۵).

13. Juang C. H., Lee D. H., and Sheu C., "Mapping slope failure potential using fuzzy sets" Journal of Geotechnical Engineering, vol. 118 (3) (1992) 475-494.

14. Davis T. J., Keller, C. P., "Modeling uncertainty in natural resource analysis using fuzzy sets and Monte Carlo simulation: slope stability prediction" International Journal of Geographical Information Systems, 11 (1997) 409-434.

15. Binaghi E., Luzi L., Madella P., Pergalani F,. and Rampini A."Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy Dempster – Shafer approaches" Natural Hazards, vol. 17 (1998) 77-97.

16. Tangestani M. H., "Landslide susceptibility mapping using the fuzzy gamma operation in a GIS, Kakan catchment area, Iran", 6th annual international conference Map India (2003).

17. Ercanoglu M., Gokceoglu C., "Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey)", Engineering Geology, 75 (2004) 229-250.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

18. Pradhan B., Lee Saro, Buchroithner, Manfred F., "Use of geospatial data and fuzzy algebraic operators to landslide-hazard mapping", Applied Geomatics, vol. 1 (2009) 3-15.

۱۹. فاطمی عقدا س. م.، غیومیان ج.، تشنه لب م.، اشقلی فراهانی ع.، *بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعۀ موردی منطقۀ رودبار)*، مجلۀ علوم دانشگاه تهران، جلد سی و یکم (۱۳۸٤).

۲۰. عبادی نژاد س. ع.، یمانی م، مقصودی م، شادفر ص، *ارزیابی کارایی عمل‌گرهای منطق فازی در تعیین توان‌مندی زمین‌لغزش (مطالعۀ موردی حوزۀ آبخیز شیرود)* مجلۀ علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، نشریۀ شمارۀ (۲)۱ (پاییز ۱۳۸٦).

۲۱. شریعت جعفری م، حامدپناه م، *پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عمل‌گرهای ضرب و جمع جبری فازی در البرز مرکزی*، نشریه منابع طبیعی ایران; شمارۀ ٦۰(۳ (پاییز ۱۳۸٦).

22. Bonham-Carter G. F., Agterberg F. P., Wright D. F., "Weights of evidence modeling: a new approach to mapping mineral potential: In Statistical Applications in the Earth Sciences", Geological Survey of Canada, Paper 89-9 (1989) 171-183.

23. Lee S., Choi J., Min K., "Landslide susceptibility analysis and verification using the Bayesian probability model", Environmental Geology, 43 (2002)120-131.

24. Nguyen Q. P., Bui H. B., "Landslide hazard mapping using Bayesian approach in GIS: case study in YangSan area, Korea", GIS-IDEAS Symposium, Hanoi, Vietnam (2004)125-130.

25. Poli S., Sterlacchini S., "Landslide representation strategies in susceptibility studies using Weight-of-Evidence modeling technique", Natural Resources Research, vol. 16 (2) (2007)121-134.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

26. Bettian N., Birgit T., "Landslide susceptibility assessment using “weights-of-evidence", applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany)", Geomorphology, vol. 86 (2007) 12-24.

27. Ranjan K. D., Shuichi H., Atsuko N., Minoru Y., Takuro M., Katsuhiro N., "GIS-based weights-of-evidence modeling of rainfall-induced landslides in small catchments for landslide susceptibility mapping", Environmental Geology, vol. 54 (2008) 311-324.

28. Barbieri G., Cambuli P., "The weight of evidence statistical method in landslide susceptibility mapping of the Rio Pardu Valley (Sardinia, Italy)", 18th World IMACS/MODSIM Congress, Cairns, Australia (2009).

29. Porwal A., Carranza EJM, Hale M., "A hybrid fuzzy weight-of-evidence model for mineral potential mapping", Natural Resources Research, vol. 15 (2006) 1-14.

30. Karimi Nasab S., Ranjbar H., Akbar S., "Susceptibility assessment of the terrain for slope failure using remote sensing and GIS, a case study of Maskoon area, Iran", International Geoinformatics Research and Development Journal, vol. 1 (2010) 40-52.

۳۱. مسگری‌وش ع، *بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش محمدآباد مسکون جیرفت*، ارائه شده به‌عنوان پروژه کارشناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۰).

32. Foumelis M., Lekkas E., Parcharidis I., "Landslide susceptibility mapping by GIS-based qualitative weighting procedure in Corinth area; Bulletin of the geological society of Greece", XXXVI (2004) 904-912.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]

33. Ranjbar H., Honarmand M., Moezifar Z., "Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM+ data in the southern part of the Iranian Volcanic Sedimentary Belt", Journal of Asian Earth Sciences, 24 (2004) 237-243.

34. Aydal D., Arda E., Dumanlilar O., "Application of the Crosta technique for alteration mapping of granitoidic rocks using ETM+ data: case study from eastern Tauride belt (SE Turkey)", International Journal of Remote Sensing, vol. 28 (2007) 3895-3913.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1392.7.1.2.1]