



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

ارزیابی کارایی ترکیب روش‌های داده‌محور و دانش‌محور در مدل‌سازی فضایی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه فریدون‌شهر)

*علیرضا عرب‌عامری^۱، خلیل رضایی^۲، مجتبی یمانی^۳ و کورش شیرانی^۴

^۱دانش‌آموخته دکتری دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس، استادیار دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه خوارزمی،

^۲استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، ^۳استادیار بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش

کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۱۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۴/۱۲

چکیده

سابقه و هدف: در طی دهه‌های گذشته، زمین‌لغزش‌ها به دلیل طبیعت مخربشان موضوع مهم پژوهش بوده‌اند. زمین‌لغزش‌ها از فرآیندهای ژئومورفیک رایج در مناطق کوهستانی می‌باشند که باعث حرکت توده‌ای مواد سنگی، رگولیت و یا خاک می‌گردند. تعیین زمین‌لغزش‌های آینده به فرآیندهای زمین‌شناختی، ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژیکی بستگی دارد که باعث بی‌ثباتی در گذشته و حال حاضر شده‌اند. به منظور ساخت جاده‌ها، راه‌آهن، خطوط لوله آب و خطوط الکتریسیته در مناطق کوهستانی تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش بسیار مهم می‌باشد. به منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش تعدادی از تکنیک‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد که دامنه‌ای از ارزیابی‌های کیفی بر اساس قضاوت‌های کارشناسی که ذاتی می‌باشند تا ارزیابی‌های کمی بر اساس تکنیک‌های آماری پیشرفته و یا مدل‌های ریاضی را شامل می‌شود. هدف از این پژوهش تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوضه فریدون‌شهر با استفاده از ترکیب روش‌های داده‌محور و دانش‌محور می‌باشد.

مواد و روش‌ها: مراحل روش‌شناسی که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است شامل شش گام می‌باشد. گام نخست: تهیه منابع داده‌هایی که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است شامل: گام نخست، تهیه داده‌های مربوط به عملیات میدانی، گزارش‌های تاریخی، نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، داده‌های هواشناسی، نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، مدل رقومی ارتفاعی ASTER با قدرت تفکیک ۳۰ متر و تصاویر لندست ۸ با قدرت تفکیک ۳۰ متر می‌باشد. گام دوم، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش: در این پژوهش نقشه پراکنش زمین‌لغزش با تعداد ۸۰ موقعیت زمین‌لغزش با استفاده از عملیات میدانی گسترده، تفسیر عکس‌های هوایی مربوط به سال ۱۳۷۴ با مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ به روش استریوسکوپ و همچنین تصاویر ماهواره‌ای Google Earth تهیه گردید. گام سوم، تهیه عوامل مؤثر در زمین‌لغزش. گام چهارم، تجزیه و تحلیل تست هم‌خطی بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش. در این پژوهش

* مسئول مکاتبه: alireza.ameri91@yahoo.com

۱۲ پارامتر به‌عنوان عوامل مؤثر در زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفتند که شامل طبقات ارتفاعی، شیب، شکل شیب، طول شیب، فاصله از آبراهه، شاخص خیزی توپوگرافی، نسبت مساحت سطح، فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، لیتولوژی، بارندگی و کاربری اراضی می‌باشند. گام پنجم: ترکیب مدل داده‌محور شواهد وزن‌قطعی و مدل دانش‌محور تحلیل سلسله‌مراتبی با استفاده از رابطه بین موقعیت زمین‌لغزش‌ها و داده‌های مختلف. گام ششم: صحت‌سنجی مدل با استفاده از شاخص‌های مساحت زیرمنحنی و شاخص سطح سلول هسته.

یافته‌ها: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تست هم‌خطی بین عوامل با استفاده از شاخص‌های ضریب تحمل و عامل تورم واریانس نشان داد که از بین ۲۶ عامل اولیه مؤثر، ۱۴ عامل دارای هم‌خطی بوده، در نتیجه این عوامل از فرآیند مدل‌سازی حذف گردیدند و مدل‌سازی با استفاده از ۱۲ عامل انجام گرفت. نتایج حاصل از رابطه فضایی بین موقعیت زمین‌لغزش‌ها و عوامل مؤثر در زمین‌لغزش‌ها با استفاده از مدل شواهد وزن قطعی (قطعیت، عدم قطعیت، عدم اطمینان، و احتمال) بیانگر پتانسیل بالای وقوع زمین‌لغزش در مناطق دارای درجات بالای قطعیت و درجات پایین عدم قطعیت می‌باشد. وزن‌دهی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش با استفاده از روش AHP نشان داد که عوامل لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، فاصله از جاده، شیب و بارندگی به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند. نسبت سازگاری ماتریس ۰/۰۳۶ به‌دست آمد که مقدار دقت خیلی‌خوبی است که منعکس‌کننده دقت بالای سازگاری اولویت‌بندی بین عوامل می‌باشد.

نتیجه‌گیری: به‌علت برخی از محدودیت‌های روش دانش‌محور فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و داده‌محور شواهد وزن قطعی، زمانی که به‌صورت انفرادی در زمینه تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌منظور رفع آن از روش ترکیبی استفاده گردید. نتایج مساحت زیرمنحنی نشان داد که نرخ موفقیت و نرخ پیش‌بینی برای مدل ترکیبی به‌ترتیب ۰/۸۷۲ (۸۷/۳٪) و ۰/۹۰۳ (۹۰/۳٪) می‌باشد. نتایج حاصل از مقادیر شاخص SCAI در مدل ترکیبی در کلاس‌های حساسیت زیاد و خیلی‌زیاد قابل‌قبول می‌باشد. نقشه حساسیت زمین‌لغزش حاصله نشان داد که مناطق با حساسیت لغزش بالا در منطقه مطالعاتی عمدتاً در طول جهات شمال‌غربی تا غربی پراکنده شده‌اند. این نقشه می‌تواند اطلاعات مفیدی را در زمینه مدیریت شیب و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مناطق لغزشی در اختیار مهندسی، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: حوضه فریدون‌شهر، روش داده‌محور، روش دانش‌محور، صحت‌سنجی

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها که به‌عنوان حرکت توده‌ای سنگ و مواد به‌سمت پایین شیب تحت‌تأثیر نیروی جاذبه تعریف می‌گردند (۴۸)، باعث خسارات گسترده اقتصادی به مناطق مسکونی و زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها و تلفات انسانی در سراسر جهان می‌گردند و

یکی از مهم‌ترین خطرات طبیعی در مناطق کوهستانی و تپه‌ماهوری به‌دلیل شرایط توپوگرافی، استفاده غیراصولی از زمین و شرایط اقلیمی مساعد برای زمین‌لغزش می‌باشند (۹، ۲۸ و ۲۹). زمین‌لغزش‌ها سالیانه باعث خسارات جانی و مالی زیادی در سطح جهان می‌گردند (۲۵). بر اساس اطلاعات گروه

شناخته می‌شوند. در رویکردهای کمی دو روش مورد استفاده قرار می‌گیرد: قطعی و آماری. در روش‌های قطعی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش به وسیله فاکتور ایمنی با استفاده از حد تعادل یا روش تحلیل عددی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. اگرچه این روش دارای بالاترین دقت در پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش می‌باشد، اما این روش‌ها به دلیل عدم محاسبه رابطه فضایی عوامل در مناطق بزرگ دارای کارایی و دقت نیست. روش‌های آماری مانند نسبت فراوانی (۱۱)، وزن واقعه (۴۴)، فاکتور اطمینان (۲۳)، شواهد وزن قطعی (۱۵ و ۳۶)، وزن اطلاعات (۱۹) و رگرسیون لجستیک (۱۲ و ۳۷) بر اساس رابطه آماری بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. مهم‌ترین نقطه ضعف روش‌های آماری عدم محاسبه وزن عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد، در این پژوهش، به منظور رفع این مشکلات از ترکیب روش داده‌محور آماری شواهد وزن قطعی و روش دانش‌محور فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش استفاده شده است.

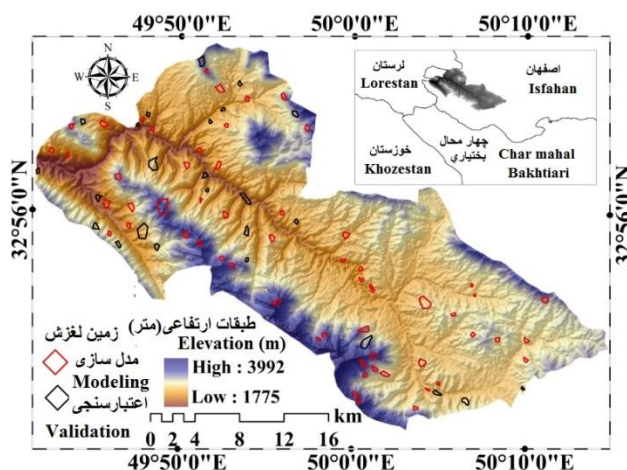
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد مطالعه با وسعت ۷۷۶۴۶ هکتار در حد فاصله طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۴۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۳۷ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵ دقیقه شمالی قرار گرفته است. در شکل ۱ موقعیت عمومی حوضه نسبت به مرز سیاسی استان و کشور نشان داده شده است. شهرستان فریدون‌شهر با ارتفاع میانگین ۲۵۰۰ متر از سطح دریا منطقه‌ای کوهستانی است که به صورت زبانه‌ای در میان استان‌های لرستان، خوزستان و چهارمحال و بختیاری واقع شده است. این منطقه در بالاترین بخش‌های حوضه آبریز دو رودخانه بزرگ ایران، یعنی زاینده‌رود و کارون واقع

مطالعات امور زمین‌لغزش‌ها در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی از سال ۱۳۷۵ لغایت ۱۳۸۶، حجم مواد لغزیده شده در کشور ۵۶۱۶۰ میلیارد مترمکعب بوده است که در نتیجه آن ۱۸۷ انسان جان خود را از دست داده و ۱۹۹۱ رأس دام تلف شده‌اند. از جمله خسارات اقتصادی ناشی از آن می‌توان به تخریب ۲۱۳۴ منزل مسکونی، ۵۹۷۴ هکتار زمین زراعی، ۱۶۸۸۶ هکتار مرتع، ۷۲۰ هکتار باغ، ۲۵۲ کیلومتر راه اصلی، ۴۶ کیلومتر راه خاکی، ۳ کیلومتر راه جنگلی، ۶ کیلومتر راه آهن، ۰/۵۲ کیلومتر لوله انتقال گاز و ۳/۳۸ کیلومتر لوله انتقال آب اشاره نمود. زمین‌لغزش‌ها در طول یازده سال ۱۲۶ هزار میلیارد ریال خسارت بر جای گذاشته‌اند (۳۳). حوضه فریدون‌شهر یکی از مناطق حساس به زمین‌لغزش در استان اصفهان است که زمین‌لغزش هر ساله خسارات زیادی را به زمین‌های کشاورزی و زیرساخت‌ها مانند جاده‌ها در این منطقه وارد می‌کند، بنابراین، شناسایی و ارزیابی فاکتورهای مؤثر در بی‌ثباتی شیب‌ها، مطالعه خطر و پیش‌بینی پتانسیل زمین‌لغزش به منظور کاهش خطرات ناشی از زمین‌لغزش ضروری می‌باشد. در طول دهه‌های گذشته، رویکردهای متنوعی به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در سراسر جهان توسعه یافته و اجرا شده است. تکنیک‌هایی که برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفته است را می‌توان به دو گروه کمی و کیفی تقسیم‌بندی نمود. روش‌های کیفی و دانش‌محور مانند فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (۷، ۱۳) و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (۳۶، ۴۲ و ۴۶) بر اساس تجربه کارشناسان می‌باشد، بنابراین، به‌عنوان روش‌های ذهنی نیز شناخته می‌شوند. روش‌های کمی از ابزار عددی به منظور ارزیابی رابطه ریاضی بین بی‌ثباتی شیب و فاکتورهای کنترل‌کننده استفاده می‌کنند، بنابراین به‌عنوان روش‌های عینی نیز

رژیم ساختاری غالب در آن متأثر از فعالیت گسل‌های راندگی و تا اندازه‌ای راست‌لغز می‌باشد. شیب منطقه بین ۰ تا ۶۰ درجه متغیر می‌باشد و مناطق جنوب‌غربی تا شمال‌غربی دارای شیب زیادی می‌باشند، در حالی که مناطق مرکزی و جنوب‌شرقی دارای شیب ملایم می‌باشند. منطقه مطالعاتی عمدتاً از مرتع پوشیده شده است و مناطق شمال‌غربی پوشیده از جنگل می‌باشد. زراعت آبی، دیم و باغ از مهم‌ترین کاربری‌های منطقه مطالعاتی می‌باشد.

است. به‌طورکلی، این شهرستان دارای پنج دهستان است که عبارتند از: برف انبار، عشایر، پیشکوه موگویی، پشتکوه موگویی، چشمه لنگان که هر کدام از این دهستان‌ها شامل تعداد زیادی روستا است. منطقه مطالعاتی را عمدتاً کوهستان‌های بلند تشکیل داده است و تنها بخش مرکزی ریخت‌شناسی نسبتاً هموار و تپه‌ماهوری دارد و دشت نسبتاً باریکی بین روستاهای هرگان، مصیر و زمستانه گسترش دارد (۲۷). از دیدگاه زمین‌ساخت، منطقه فعال می‌باشد و



شکل ۱- نمای کلی حوضه فریدون‌شهر.

Figure 1. Ferydoun shahr Catchment view.

عکس‌های هوایی در مقیاس ۱:۴۰۰۰۰ مربوط به سال ۱۳۷۴، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و آرشیو زمین‌لغزش‌های قدیمی گردآوری شده توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، موقعیت زمین‌لغزش‌ها به صورت دقیق و معتبر با ۸۰ زمین‌لغزش تهیه گردید (شکل ۱). زمین‌لغزش‌های شناسایی شده به صورت تصادفی به دو گروه داده‌های مدل‌سازی (۵۶ موقعیت زمین‌لغزش) و داده‌های اعتبارسنجی (۲۴ موقعیت زمین‌لغزش) تقسیم گردیدند که به ترتیب شامل ۷۰ درصد و ۳۰ درصد از کل موقعیت زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. نقشه حساسیت

روش تحقیق

تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش: نقشه پراکنش زمین‌لغزش از مواد پایه و اصلی در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش و آنالیز رابطه آماری بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و موقعیت زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه مطالعاتی می‌باشد (۱۵). حوضه فریدون‌شهر یکی از مناطق فعال در زمینه زمین‌لغزش می‌باشد. عمده زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی از نوع انتقالی و ساده می‌باشد. اندازه زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی از صدها تا چندین میلیون مترمکعب متغیر می‌باشد (۳۸). بر اساس عملیات میدانی، تفسیر

SAGA GIS می‌باشد. ارتفاع از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد که توسط چندین فرایند زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی کنترل می‌گردد (۴۴). برای تهیه نقشه ارتفاع از مدل رقومی ارتفاعی ASTER در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 استفاده گردید و منطقه از لحاظ ارتفاعی بر حسب متر به شش کلاس >۲۳۰۰، ۲۵۰۰-۲۳۰۰، ۲۷۰۰-۲۵۰۰، ۲۹۰۰-۲۷۰۰، ۳۲۰۰-۲۹۰۰ و >۳۲۰۰ تقسیم‌بندی گردید. شیب از مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد و شیب مستقیماً در ارتباط با زمین‌لغزش می‌باشد (۲۳). نقشه شیب از مدل رقومی ASTER استخراج و به شش کلاس >۵، ۵-۱۰، ۱۰-۱۵، ۱۵-۲۰، ۲۰-۳۰ و بیش‌تر از ۳۰ درجه تقسیم گردید. تأثیر انحناى سطح بر روی فرسایش و زمین‌لغزش به‌صورت همگرایی و واگرایی آب در طول شیب می‌باشد (۱۶). انحناى سطح در محیط SAGA GIS 2.1.4 (۱۴) تهیه و به سه کلاس مقعر، هموار و محدب تقسیم گردید، بدین‌صورت که مقادیر منفی بیانگر مقعر سطح، مقادیر مثبت نشان‌دهنده تحدب و مقادیر صفر بیانگر هموار بودن سطح می‌باشد (۱۶). طول شیب از عوامل ژئومورفیک ثانویه می‌باشد که تأثیر زیادی در زمین‌لغزش دارد (۴۳). این عامل بر اساس نقشه شیب و مساحت حوضه بر اساس رابطه ۱ در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 استخراج گردید (۳۲).

$$LS = (A_s/22.13)^{0.6} \times (\sin\beta/0.0896)^{1.3} \quad (1)$$

که در آن، β زاویه شیب به درجه و A_s بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌گردد (۲۲):

$$A_s = (A_m \times P^2 / \sum L_i) \quad (2)$$

که در آن، P اندازه پیکسل، A_m شکستگی آبراهه تجمعی از سلول‌های همسایه و $\sum L_i$ مجموع طول

زمین‌لغزش با استفاده از داده‌های مدل‌سازی زمین‌لغزش تهیه گردید. داده‌های اعتبارسنجی زمین‌لغزش برای ارزیابی دقت نقشه حساسیت زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت.

تهیه لایه‌های مؤثر در زمین‌لغزش: عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش نقش کلیدی در تجزیه و تحلیل ثبات شیب‌ها بازی می‌کنند (۴۴). رخدادهای زمین‌لغزش ممکن است به‌وسیله عوامل زمین‌محیطی متنوعی تحت‌تأثیر قرار گیرند. در این پژوهش در ابتدا با استفاده از مطالعات پیشینه پژوهش (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۹، ۱۰، ۳۴ و ۳۸)، عملیات میدانی گسترده و خصوصیات محیطی منطقه مطالعاتی، ۲۴ عامل مؤثر در زمین‌لغزش شناسایی گردید، در گام بعد تست هم‌خطی با استفاده از شاخص‌های Tolerance و VIF بر روی عوامل اعمال گردید و در نهایت ۱۲ عامل شامل طبقات ارتفاعی، شیب، شکل شیب، طول شیب، فاصله از آبراهه، شاخص خیسی توپوگرافی، نسبت مساحت سطح، فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، بارندگی و کاربری اراضی انتخاب گردیدند (شکل ۲ الف تا ر). مدل رقومی ارتفاعی ASTER با قدرت تفکیک ۳۰ متر برای استخراج عوامل توپوگرافیک مانند طبقات ارتفاعی، شیب، شکل شیب، طول شیب، شبکه آبراهه، شاخص خیسی توپوگرافی و نسبت مساحت سطح مورد استفاده قرار گرفت. برای استخراج جاده‌ها از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ استفاده گردید. سنگ‌شناسی و گسل‌ها از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج گردید. برای تهیه نقشه بارندگی از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک در یک دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ میلادی) استفاده گردید. برای تهیه لایه کاربری اراضی از تصاویر راداری Landsat 8 استفاده گردید. ابزار مورد استفاده در این پژوهش شامل ArcGIS10.5، Arc Hydro، ENVI 4.8 و

چشم‌انداز می‌باشد. شیب‌های با خشونت بالا به دلیل تغییرات شیب به سود نفوذ بارندگی در خاک و بنابراین بی‌ثباتی آن، برای وقوع زمین‌لغزش مساعدتر می‌باشند. برای محاسبه این عامل از رابطه ۴ استفاده گردید (۲۴):

$$SAR = A/A_s \quad (۴)$$

که در آن، A مساحت سطح منطقه، AS مساحت حوضه آبخیز می‌باشد. نقشه مساحت سطح پس از تهیه به ۳ کلاس >1/۰۷، ۱/۰۷-۱/۲ و بزرگ‌تر از ۱/۲ تقسیم‌بندی گردید. زمین‌لغزش‌ها عمدتاً به وسیله ویژگی‌های سنگ‌شناسی سطح زمین کنترل می‌شوند، بنابراین واحدهای سنگ‌شناسی مختلف داری مقادیر مختلفی از حساسیت به فرسایش می‌باشند و در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش بسیار مهم می‌باشند (۳۵). نقشه سنگ‌شناسی منطقه مطالعاتی پس از تهیه به ۷ کلاس بر اساس تأثیر بر روی زمین‌لغزش طبقه‌بندی گردید. فاصله از گسل از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد. پس از استخراج گسل‌ها از نقشه زمین‌شناسی، با استفاده از ابزار distance در محیط ArcGIS10.5 نقشه فاصله از گسل تهیه و به ۵ کلاس >۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و بیش‌تر از ۲۰۰۰ متر طبقه‌بندی گردید. بارندگی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد. با استفاده از آمار ۳۰ ساله ایستگاه‌های واقع در منطقه مطالعاتی و روش میان‌یابی Kriging در محیط نرم‌افزار ArcGIS10.5 اقدام به تهیه نقشه بارندگی گردید و به ۵ کلاس >۷۰۰، ۷۰۰-۸۵۰، ۸۵۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۲۰۰ و بیش‌تر از ۱۲۰۰ میلی‌متر تقسیم‌بندی گردید. تغییرات کاربری اراضی نقش مهمی را در مطالعات مسائل محیطی به‌ویژه ارزیابی زمین‌لغزش دارد (۲۶). برای تهیه نقشه کاربری اراضی از تصاویر ماهواره

آبراهه‌ها می‌باشد. نقشه طول شیب پس از تهیه به شش کلاس >۴، ۴-۸، ۸-۲۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۸۰ و بیش‌تر از ۸۰ متر تقسیم‌بندی گردید. برای محاسبه فاصله از آبراهه، شبکه زهکشی منطقه مطالعاتی از طریق مدل رقومی ASTER در محیط Arc Hydro استخراج گردید و سپس از طریق ابزار Distance در ArcGIS10.5 نقشه فاصله از آبراهه تهیه و به پنج کلاس >۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰ و <۴۰۰ متر تقسیم گردید. شاخص خیسی توپوگرافی (TWI) به‌منظور توصیف تأثیر توپوگرافی در موقعیت و اندازه مناطق اشباع که باعث تولید رواناب می‌گردند مورد استفاده قرار می‌گیرد. این عامل تأثیر زیادی در وقوع زمین‌لغزش دارد. برای محاسبه این عامل از رابطه ۳ استفاده گردید (۳۱):

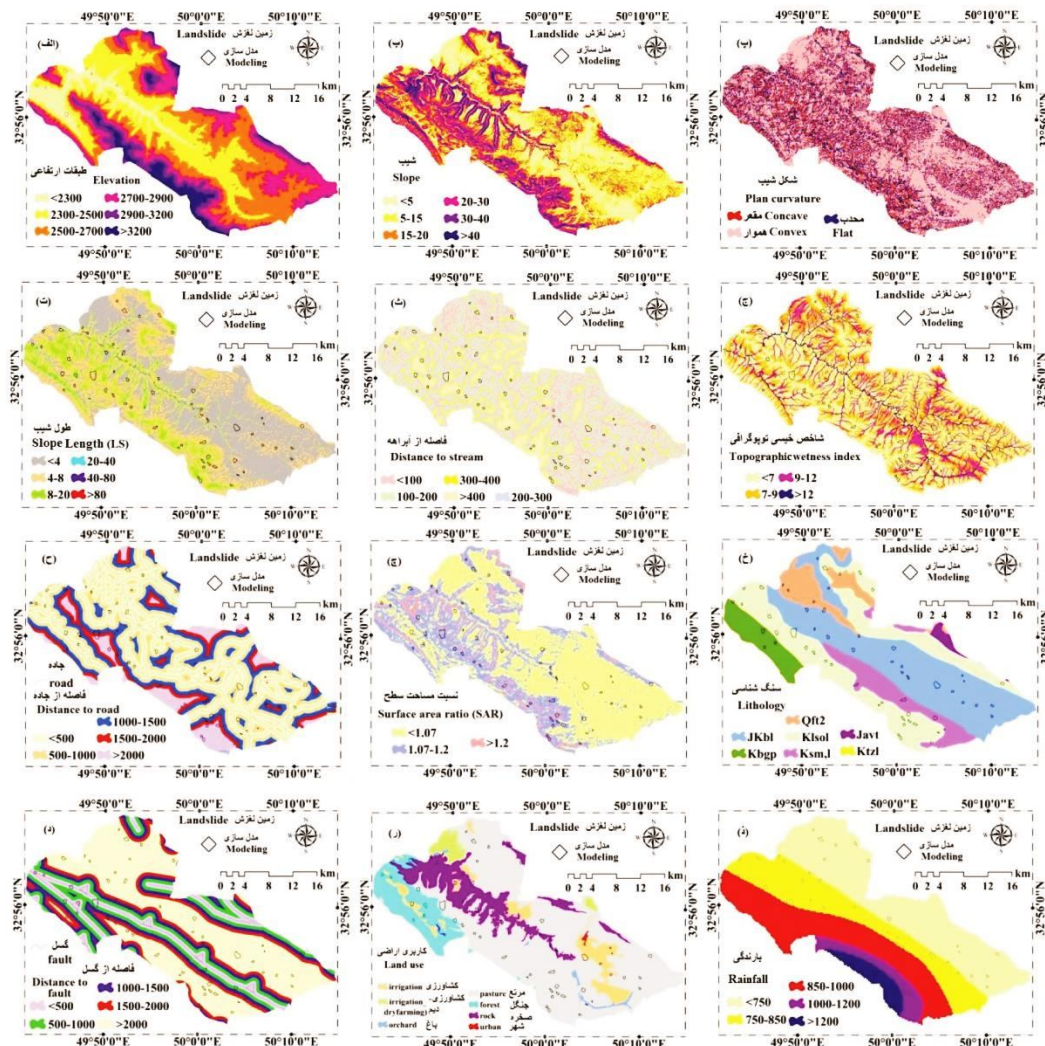
$$TWI = \ln(A_s / \tan\beta) \quad (۳)$$

که در آن، AS مساحت حوضه آبخیز (مترمربع در متر) و β زاویه شیب به درجه می‌باشد. نقشه شاخص خیسی توپوگرافی پس از تهیه در محیط ArcGIS10.5 به چهار کلاس >۷، ۷-۹، ۹-۱۲ و بیش‌تر از ۱۲ تقسیم گردید. فاصله از جاده یکی از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش می‌باشد که باعث افزایش فشار بر روی شیب به‌علت تغییر در توپوگرافی و کاهش بار در پاشنه شیب می‌گردد و در نتیجه باعث ایجاد ترک‌های کششی و بی‌ثباتی شیب می‌گردد (۴۵). نقشه فاصله از جاده پس از تهیه در ArcGIS10.5 به ۵ کلاس >۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰، ۱۰۰۰-۱۵۰۰، ۱۵۰۰-۲۰۰۰ و بیش‌تر از ۲۰۰۰ متر طبقه‌بندی گردید. نسبت مساحت سطح (SAR) مبنایی برای اندازه‌گیری خشونت توپوگرافی^۳

- 1- Topographic Wetness Index
- 2- Surface Area Ratio
- 3- Topography relief

استفاده گردید و ضریب کاپا برای نقشه تهیه‌شده ۰/۹۷۴ به‌دست آمد. نقشه کاربری پس از تهیه به هشت کلاس طبقه‌بندی گردید.

Landsat8 در تاریخ (۲۰۱۶/۰۸/۱۲) و از طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر شباهت در محیط ENVI 4.8 (۱۷) استفاده گردید. به‌منظور صحت‌سنجی نقشه تهیه‌شده از ۲۶۰ نقطه کنترل زمینی



شکل ۲- عوامل مؤثر در زمین‌لغزش.

Figure 2. Landslide effective factors.

قطعی استفاده گردید. این مدل داده‌محور بر اساس تئوری دمپستر- شيفر می‌باشد که در ابتدا به‌وسیله دمپستر ارائه گردید و به‌وسیله شيفر توسعه پیدا کرد (۲۰). مهم‌ترین مزیت تئوری دمپستر شيفر توانایی ترکیب قطعیت‌ها از منابع شواهد مختلف و

تجزیه و تحلیل ارتباط فضایی عوامل مؤثر در زمین‌لغزش با مدل داده‌محور شواهد وزن قطعی (EBF): در این پژوهش به‌منظور محاسبه رابطه فضایی بین کلاس‌های عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه از مدل شواهد وزن

قطعیت بیش‌تر باشد بیانگر همبستگی قوی‌تر بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و احتمال رخداد زمین‌لغزش می‌باشد و بالعکس. نحوه محاسبه این چهار شاخص به‌ترتیب رابطه‌های ۵ تا ۱۰ می‌باشد (۳۶).

انعطاف‌پذیری نسبی برای پذیرش عدم قطعیت می‌باشد (۸ و ۴۱). تئوری دمپستر- شيفر چارچوبی را به‌منظور تخمین توابع شواهد قطعی بر اساس قانون محاسبه دمپستر فراهم می‌نماید (۹). توابع شواهد قطعی ترکیبی از درجات باور (Bel)، عدم باور (Dis)، عدم‌اطمینان (Unc) و احتمال (Pls) می‌باشد. هرچه مقادیر

$$Bel_{C_{ij}} = w_{C_{ij}D} / \sum_{j=1}^m w_{C_{ij}D} \quad (5)$$

$$w_{C_{ij}D} = \frac{N(C_{ij} \cap D) / N(C_{ij})}{N(D) - (N(C_{ij} \cap D)) / N(T) - N(C_{ij})} \quad (6)$$

$$Dis_{C_{ij}} = w_{C_{ij}\bar{D}} / \sum_{j=1}^m w_{C_{ij}\bar{D}} \quad (7)$$

$$w_{C_{ij}\bar{D}} = \frac{N(C_{ij} \cap \bar{D}) / N(C_{ij})}{N(T) - N(D) - [N(C_{ij}) - N(C_{ij} \cap D)] / N(T) - N(C_{ij})} \quad (8)$$

$$Unc = [1 - (Bel_{C_{ij}}) - (Dis_{C_{ij}})] \quad (9)$$

$$Pls = [1 - (Dis_{C_{ij}})] \quad (10)$$

روش دانش‌محور AHP استفاده گردید. AHP یک روش نیمه‌کمی، چندمعیاره و چندهدفه می‌باشد که در آن وزن‌های هر یک از عوامل بر اساس دانش و مهارت کارشناسان به شکل مقایسات زوجی بدون هیچ‌گونه ناسازگاری محاسبه می‌گردد (۳۹ و ۴۷). این روش مقیاس عددی را که دامنه‌ای بین ۱ تا ۹ دارد به‌منظور اولویت‌بندی عوامل کمی و کیفی نسبت به یکدیگر مورد استفاده قرار می‌دهد (جدول ۱). در نهایت ماتریس تشکیل شده وارد نرم‌افزار Expert Choice (۱۸) شده و وزن نهایی هر یک از عوامل مؤثر با نرخ سازگاری محاسبه می‌گردد. اگر نرخ سازگاری کم‌تر از ۱۰ درصد باشد، ماتریس و وزن‌های حاصله مورد تأیید می‌باشد (۳۹).

که در آن، $Bel_{C_{ij}}$ مقادیر قطعیت، $Dis_{C_{ij}}$ مقادیر عدم قطعیت، $N(C_{ij} \cap D)$ تراکم پیکسل‌های لغزشی در کلاس D می‌باشد، $N(C_{ij})$ تراکم کل لغزش‌هایی می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه اتفاق افتاده است، $N(D)$ تراکم پیکسل‌ها در کلاس D می‌باشد و $N(T)$ تراکم پیکسل‌ها در کل منطقه مطالعاتی می‌باشد.

تعیین وزن عوامل مؤثر در زمین‌لغزش با روش دانش‌محور AHP^۱: با توجه به این‌که هر یک از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش دارای تأثیرات مثبت و منفی متفاوتی در وقوع زمین‌لغزش می‌باشند، در این پژوهش برای تعیین وزن هر یک از این عوامل از

1- Analytic hierarchy process

جدول ۱- مقادیر مقایسات زوجی (۳۹).

Table 1. Paired comparison values.

توضیحات Explanation	درجه ترجیح Degree of preference	فاکتور ترجیح Preference factor
دو عامل به‌طور مساوی در هدف نقش دارند Two factors contribute equally to the objective	اهمیت برابر Equal importance	1
طبق تجربه و قضاوت یک پارامتر نسبت به عامل دیگر کمی تا متوسط برتری دارد Experience and judgment slightly to moderately favour one factor over another	اهمیت متوسط یک عامل نسبت به دیگری Moderate importance of one factor over another	3
طبق تجربه و قضاوت یک عامل خیلی نسبت به عامل دیگر مطلوب‌تر است Experience and judgment strongly or essentially favour one factor over another	اهمیت شدید Strong importance	5
یک عامل خیلی شدید نسبت به عامل دیگر مطلوب‌تر است A factor is very strongly favoured over another	اهمیت خیلی شدید Very strong importance	7
یک عامل فوق العاده نسبت به عامل دیگر مطلوب‌تر است A factor is extremely favoured over another	اهمیت فوق‌العاده Extreme importance	9
موقعی که توافق نیاز است	مقادیر بینابینی بین دو قضاوت متوالی Intermediate values between the two adjacent judgment	2,4,6,8

پراکاربرد در بررسی هم‌خطی بین عوامل می‌باشند. مقادیر Tolerance کم‌تر از ۰/۱ و VIF بزرگ‌تر از ۱۰ بیانگر هم‌خطی بین عوامل می‌باشد (۹). وجود هم‌خطی بین عوامل باعث کاهش دقت نقشه حساسیت زمین‌لغزش می‌گردد. در این پژوهش، مقادیر VIF و Tolerance با استفاده از داده‌های مدل‌سازی در نرم‌افزار SPSS16 تهیه گردید. نتایج حاصل از تست هم‌خطی در جدول ۲ نشان داده شده است. نتایج حاصل از تست هم‌خطی نشان داده که عوامل جهت شیب، انحنای مقطع، انحنای کلی، تراکم آبراهه، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص قدرت جریان (SPI)، شاخص حمل رسوب (STI)، شاخص موقعیت توپوگرافی (TPI)، شاخص تابش خورشیدی منطقه (ASR)، انحنای مقاطع، خشونت توپوگرافی (Roughness) و تراکم گسل دارای هم‌خطی بوده و از جریان مدل‌سازی حذف شدند.

در نهایت نقشه حساسیت زمین‌لغزش (LSM) با استفاده از حاصل جمع ضرب وزن کلاس‌های عوامل با استفاده از عدم قطعیت و وزن عوامل مؤثر در زمین‌لغزش با روش AHP طبق رابطه ۱۱ محاسبه گردید (۴۳):

$$LSM = \sum_{i=1}^n (Bel_i \times W_i) \quad (11)$$

که در آن، n تعداد عوامل، Bel_i وزن کلاس‌های عوامل با روش داده‌محور تابع شواهد وزن قطعی (قطعیت شاهد) و W_i وزن هر یک از عوامل مؤثر در زمین‌لغزش با روش دانش‌محور AHP است.

نتایج

تجزیه و تحلیل تست هم‌خطی بین عوامل مؤثر در لغزش: در تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش، بررسی هم‌خطی بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش بسیار مهم می‌باشد. VIF و Tolerance از شاخص‌های بسیار

جدول ۲- تست هم‌خطی بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش.

Table 2. Multicollinearity test among conditioning factors.

VIF	Tolerance	عامل Factor	VIF	Tolerance	عامل Factor
0.54	2.5	Elevation طبقات ارتفاعی	0.9	1.01	Lithology سنگ‌شناسی
0.86	1.08	Slope شیب	0.023	13.3	NDVI شاخص پوشش گیاهی
0.04	19.5	Aspect جهت شیب	0.012	12.9	SPI شاخص قدرت آبراهه
0.45	2.8	Plan curvature انحناى سطح	0.38	2.9	TWI شاخص خیسی توپوگرافی
0.02	15.8	Profile curvature انحناى مقطع	0.08	23.8	STI شاخص حمل رسوب
0.032	17.8	Total curvature انحناى کلی	0.87	1.06	Rainfall بارندگی
0.55	2.4	Slope length طول شیب	0.61	2	SAR نسبت مساحت سطح
0.58	2.2	Distance to river فاصله از آبراهه	0.064	18.5	TPI شاخص موقعیت توپوگرافی
0.32	3.2	Distance to fault فاصله از گسل	0.025	14.7	ASR شاخص تابش خورشیدی
0.01	12.8	Drainage density تراکم آبراهه	0.026	14.9	Cross section انحناى متقاطع
0.23	3.6	Distance to road فاصله از جاده	0.053	19.9	Roughness زبری توپوگرافی
0.65	2.1	Land cover کاربری اراضی	0.038	16.4	Fault density تراکم گسل
0.01	12.1	Soil Texture بافت خاک	0.029	15.9	Soil Type نوع خاک

مقدار عدم قطعیت (۰/۱۵۴) بیش‌ترین ارتباط را با وقوع زمین‌لغزش‌ها داشته است. در عامل شیب، کلاس ۳۰ تا ۴۰ درجه به‌ترتیب دارای بیش‌ترین مقدار قطعیت و کم‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۲۲۹، ۰/۱۵۶) می‌باشد که بیانگر احتمال بالای وقوع زمین‌لغزش در این کلاس می‌باشد. رابطه بین وقوع زمین‌لغزش و شکل شیب نشان داد که شیب‌های محدب با مقادیر قطعیت (۰/۳۹۹) و عدم قطعیت (۰/۲۹۳) دارای رابطه مثبت با وقوع زمین‌لغزش می‌باشند که با نتایج (۳۰) مطابقت دارد. بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۱۹۵) و کم‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۱۶۴) در مناطقی که دارای طول شیب ۴۰ تا ۸۰ متر بودند مشاهده گردید که بیانگر ارتباط قوی این مناطق با وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در ارتباط با شاخص خیسی توپوگرافی، کلاس کم‌تر از ۷ با بیش‌ترین مقدار قطعیت و کم‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۳۷۵، ۰/۱۸۱) نسبت به کلاس‌های دیگر بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش داشته است.

تجزیه و تحلیل رابطه آماری بین عوامل مؤثر در زمین‌لغزش و موقعیت زمین‌لغزش‌ها با روش EBF: نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل رابطه آماری بین عوامل زمین‌محیطی مؤثر در زمین‌لغزش با لغزش‌های منطقه مطالعاتی با استفاده از روش مدل شواهد وزن قطعی با استفاده از ۴ شاخص درجات قطعیت (Bel)، عدم قطعیت (Dis)، عدم اطمینان (Unc) و احتمال (Pls) در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. در این پژوهش از شاخص‌های قطعیت (Bel) و عدم قطعیت (Dis) به‌منظور تجزیه و تحلیل رابطه آماری بین عوامل و زمین‌لغزش‌ها استفاده گردید (۳۰). مقادیر بالای شاخص قطعیت و مقادیر پایین شاخص عدم قطعیت بیانگر احتمال بالاتر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در حالی که مقادیر پایین شاخص قطعیت و مقادیر بالای شاخص عدم قطعیت، بیانگر احتمال پایین رخداد زمین‌لغزش می‌باشد (۱۶ و ۳۴). بر اساس عامل طبقات ارتفاعی، کلاس بالای ۳۲۰۰ متر با بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۲۹۲) و کم‌ترین

جدول ۳- مقادیر شاخص‌های قطعیت، عدم قطعیت، عدم اطمینان و احتمال در مدل (EBF).

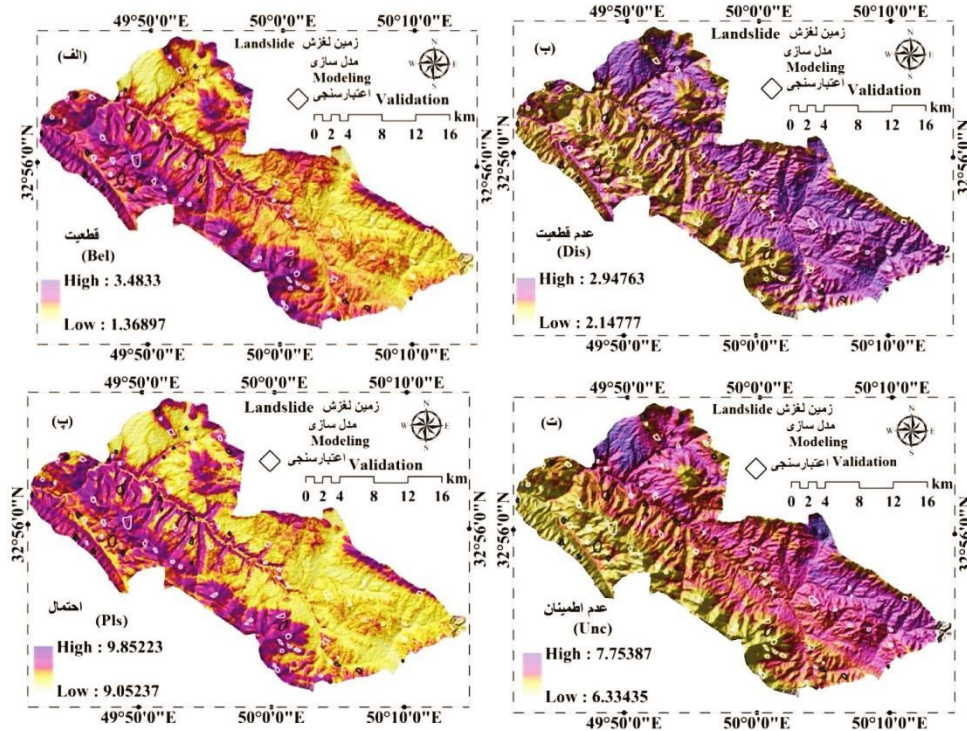
Table 3. Degrees of belief (Bel), disbelief (Dis), uncertainty (Unc) and plausibility (Pls) in EBF model.

(Bel)	(Dis)	(Unc)	(Pls)	پیکسل‌های لغزشی landslide pixels	کل پیکسل‌ها pixel domai	کلاس‌ها Classes	عوامل Parameters
0.140	0.164	0.696	0.836	1545	72338	<2300	ارتفاع (متر) Elevation (m)
0.130	0.165	0.706	0.835	4222	213627	2300-2500	
0.089	0.189	0.722	0.811	3716	271812	2500-2700	
0.080	0.182	0.738	0.818	2181	177763	2700-2900	
0.270	0.146	0.584	0.854	3337	82850	2900-3200	
0.292	0.154	0.554	0.846	1923	44302	>3200	
0.078	0.194	0.729	0.806	2203	217400	<5	شیب (درجه) Slope (°)
0.140	0.170	0.690	0.830	3889	215354	5-15	
0.181	0.158	0.661	0.842	3961	170168	15-20	
0.198	0.156	0.645	0.844	3519	138321	20-30	
0.229	0.156	0.615	0.844	2673	91270	30-40	
0.175	0.165	0.660	0.835	679	30179	>40	
0.357	0.300	0.343	0.700	4039	170219	مقعر Concave	شکل شیب plan curvature
0.245	0.407	0.349	0.593	8874	541183	هموار Flat	
0.399	0.293	0.308	0.707	4004	151478	محدب Convex	
0.107	0.208	0.685	0.792	6833	455204	<4	طول شیب (متر) Slope length (m)
0.181	0.141	0.678	0.859	7137	283362	4-8	
0.167	0.160	0.674	0.840	2479	106639	8-20	
0.191	0.163	0.646	0.837	400	15074	20-40	
0.196	0.164	0.640	0.836	56	2061	40-80	
0.159	0.164	0.677	0.836	12	540	>80	
0.375	0.181	0.444	0.819	11268	457250	<7	شاخص خیزی TWI
0.197	0.295	0.507	0.705	3490	265529	7-9	
0.243	0.264	0.494	0.736	1841	114338	9-12	
0.185	0.260	0.555	0.740	318	25763	>12	
0.133	0.228	0.639	0.772	4606	314599	<100	فاصله از آبراهه (متر) Distance to river (m)
0.172	0.201	0.627	0.799	3941	209993	100-200	
0.230	0.188	0.582	0.812	3508	140525	200-300	
0.290	0.184	0.526	0.816	2796	89477	300-400	
0.175	0.199	0.626	0.801	2065	107938	>400	
0.195	0.463	0.341	0.537	7493	529929	<1.07	
0.426	0.237	0.337	0.763	7707	253846	1.07-1.2	
0.379	0.299	0.322	0.701	1627	60072	>1.2	
0.184	0.207	0.609	0.793	6965	369711	<500	فاصله از جاده Distance to road
0.216	0.193	0.591	0.807	4113	186443	500-1000	
0.162	0.206	0.632	0.794	2449	147299	1000-1500	
0.237	0.195	0.568	0.805	1789	74218	1500-2000	
0.201	0.199	0.600	0.801	1608	78099	>2000	
0.074	0.152	0.774	0.848	648	82737	Qft2	
0.231	0.127	0.642	0.873	6686	277793	Klsol	
0.155	0.159	0.686	0.841	5539	340966	Jkbl	
0.321	0.135	0.544	0.865	2029	61273	Kbgp	
0.218	0.140	0.642	0.860	1997	87731	Ksm,l	
0	0.144	0.856	0.856	0	10193	Javt	
0	0.143	0.857	0.857	0	200	Ktzt	

ادامه جدول ۳-

Continue Table 3.

(Bel)	(Dis)	(Unc)	(Pls)	پیکسل‌های لغزشی landslide pixels	کل پیکسل‌ها pixel domai	کلاس‌ها Classes	عوامل Parameters
0.273	0.188	0.539	0.812	2922	106079	<500	فاصله از گسل (متر) Distance to fault (m)
0.207	0.197	0.596	0.803	2501	118577	500-1000	
0.107	0.213	0.680	0.787	1277	116207	1000-1500	
0.228	0.195	0.577	0.805	2248	96999	1500-2000	
0.184	0.208	0.608	0.792	7976	424889	>2000	
0.067	0.219	0.714	0.781	712	108650	<750	بارندگی (میلی‌متر) Rainfall (mm)
0.158	0.224	0.619	0.776	4636	301451	750-850	
0.290	0.169	0.542	0.831	6413	230256	850-1000	
0.237	0.192	0.571	0.808	3622	158113	1000-1200	
0.249	0.196	0.555	0.804	1498	62317	>1200	
0.170	0.141	0.690	0.859	1551	75810	Irrigated croplands کشاورزی	کاربری اراضی Land use
0.001	0.146	0.853	0.854	4	26154	rain-fed croplands دیم کشاورزی-	
0.236	0.141	0.624	0.859	219	7760	Orchard باغ	
0.149	0.161	0.690	0.839	9781	542393	Pasturelands مرتع	
0.282	0.129	0.588	0.871	3058	90945	Forestlands جنگل	
0.162	0.141	0.697	0.859	2286	116788	Rock صخره	
0.000	0.141	0.859	0.859	0	1039	Urban areas شهر	



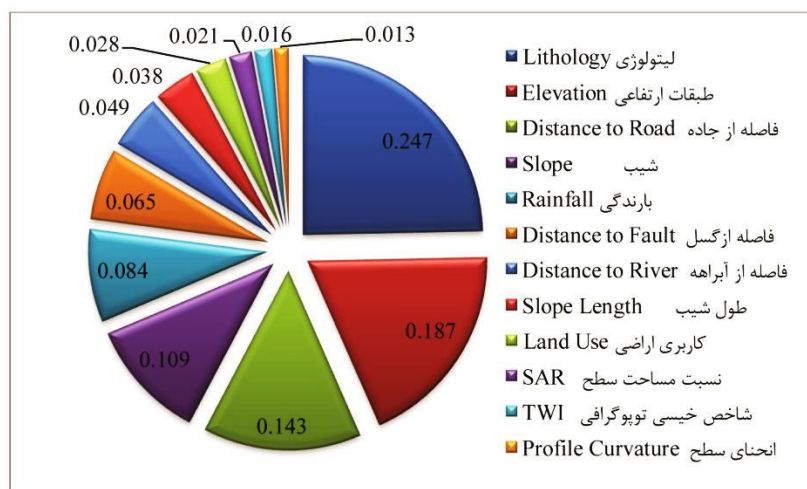
شکل ۳- نتایج حاصل از مدل EBF. الف. شاخص قطعیت، ب. شاخص عدم قطعیت، پ. شاخص احتمال، ت. شاخص عدم اطمینان.

Figure 3. Results of EBF model. A.belief, b. disbelief, p. plausibility, t. uncertainty.

زمین لغزش داشته است که با نتایج (۲۱) مطابقت دارد. تجزیه و تحلیل عامل بارندگی نشان داد که مناطق با متوسط بارندگی ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر به ترتیب با بیش‌ترین مقدار قطعیت و کم‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۲۹۰، ۰/۱۶۹) بیش‌ترین همبستگی را با لغزش‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی از خود نشان داده‌اند. بر اساس عامل کاربری اراضی، کلاس جنگل بیش‌ترین ارتباط را با وقوع زمین لغزش‌ها از خود نشان داده است.

تعیین وزن عوامل با روش دانش‌محور AHP: نتایج حاصل از وزن عوامل مؤثر در زمین لغزش با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی کارشناسی در شکل ۴ نشان داده شده است. طبق شکل. عوامل لیتولوژی، ارتفاع و فاصله از جاده به ترتیب با کسب بالاترین امتیازات (۰/۲۴۷، ۰/۱۸۷، ۰/۱۴۳) بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی داشته‌اند که با نتایج حاصل از پژوهش‌ها (۳۶) مطابقت دارد و در مقابل عوامل نسبت مساحت سطح، شاخص خیسی توپوگرافی و انحنای سطح به ترتیب با کم‌ترین امتیازات (۰/۰۲۱، ۰/۰۱۶، ۰/۰۱۳) کم‌ترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند که با نتایج (۳۶) مطابقت دارد. عوامل شیب، بارندگی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، طول شیب و کاربری اراضی در رتبه‌های چهارم تا نهم قرار گرفته‌اند.

بر اساس عامل فاصله از آبراهه، مناطقی که در فاصله ۳۰۰ تا ۴۰۰ متری از آبراهه‌ها قرار گرفته‌اند، دارای بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۲۹۰) و همچنین کم‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۱۸۴) بوده و این موضوع بیانگر این است که این مناطق دارای بیش‌ترین تأثیر در رخداد زمین لغزش بوده‌اند. بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۳۷۹) در ارتباط با عامل نسبت مساحت سطح در کلاس $< 1/2$ مشاهده گردید که بیانگر تأثیر بیش‌تر این کلاس نسبت به کلاس‌های دیگر در رخداد زمین لغزش می‌باشد. در عامل فاصله از جاده، کلاس ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر دارای بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۲۳۷) و در نتیجه بیش‌ترین تأثیر در وقوع زمین لغزش می‌باشند. بر اساس عامل سنگ‌شناسی، کلاس Kbgp که عمدتاً از شیل تشکیل شده است با بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۳۲۱) دارای ارتباط قوی با وقوع زمین لغزش بوده است و در مقابل که سازند تیزکوه می‌باشد و عمدتاً از آهک تشکیل شده است با کم‌ترین مقدار قطعیت (۰)، عدم تأثیرگذاری را در وقوع زمین لغزش نشان داده است. رابطه آماری بین عامل فاصله از گسل و رخداد زمین لغزش نشان داد کلاس کم‌تر از ۵۰۰ متر که دارای کم‌ترین فاصله از خطوط گسلی می‌باشد، با بیش‌ترین مقدار قطعیت (۰/۲۷۳) و کم‌ترین مقدار عدم قطعیت (۰/۱۸۸) بیش‌ترین تأثیر را در وقوع



شکل ۴- وزن عوامل مؤثر در زمین لغزش با روش AHP.

Figure 4. Weights of effective factors in AHP model.

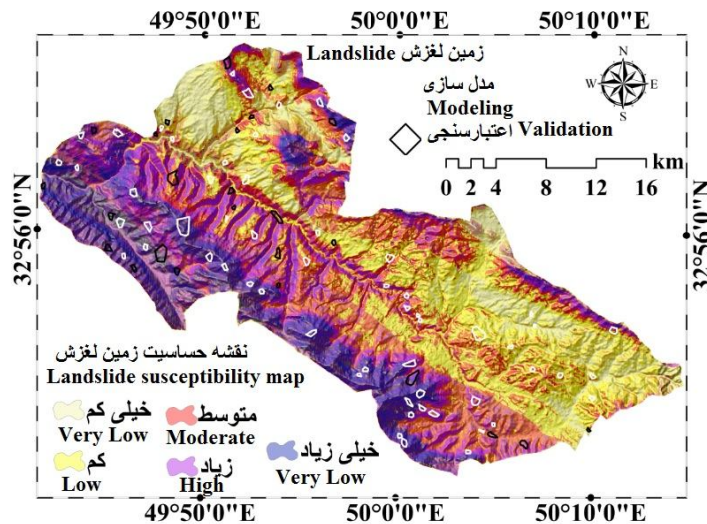
کلاس‌های هر یک از معیارها با استفاده از روش EBF اقدام به ترکیب دو روش بر اساس رابطه ۱۲ به‌منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش گردید.

ترکیب مدل داده‌محور EBF و مدل دانش‌محور AHP برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش: پس از تعیین وزن معیارها با استفاده از روش AHP و وزن

$$LSM = (Ele_{Bel} \times 0.187) + (S_{Bel} \times 0.109) + (Plan_{Bel} \times 0.013) + (LS_{Bel} \times 0.038) + (TWI_{Bel} \times 0.016) + (Dis\ river_{Bel} \times 0.049) + (SAR_{Bel} \times 0.021) + (Dis\ road_{Bel} \times 0.143) + (Litho_{Bel} \times 0.247) + (Dis\ fault_{Bel} \times 0.065) + (Rain_{Bel} \times 0.084) + (LU_{Bel} \times 0.028) \quad (12)$$

۰/۵ تا ۱ دارد، به‌منظور ارزیابی دقت مدل مورد استفاده قرار گرفت. هرچه مقادیر مساحت زیر منحنی به یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر دقت پیش‌بینی بالاتر مدل می‌باشد. رابطه کمی- کیفی بین مقادیر مساحت زیر منحنی به صورت زیر قابل تعریف می‌باشد: ۰/۵ تا ۰/۶ ضعیف، ۰/۶ تا ۰/۷ متوسط، ۰/۷ تا ۰/۸ خوب، ۰/۸ تا ۰/۹ خیلی خوب و ۰/۹ تا ۱ عالی (۴۵). شاخص SCAI^۱ که برای اولین بار توسط سوزن و دویران (۲۰۰۴) مورد استفاده قرار گرفت نیز به‌منظور بررسی قدرت تفکیک طبقات مورد استفاده قرار گرفت (۴۰).

که در آن، LSM نقشه حساسیت به زمین‌لغزش می‌باشد. نقشه حساسیت زمین‌لغزش تهیه شده بر اساس شکست‌های طبیعی به پنج کلاس حساسیت خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم طبقه‌بندی گردید (شکل ۵) (۱، ۲ و ۳). به‌منظور بررسی دقت نقشه حساسیت تهیه شده به وسیله رویکرد ترکیبی از منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) استفاده گردید. منحنی راک، از روش‌های رایج ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌ها می‌باشد که توسط پژوهشگران زیادی مورد استفاده قرار گرفته است (۴، ۵ و ۶). در منحنی راک، مقادیر مساحت زیر منحنی که دامنه‌ای از



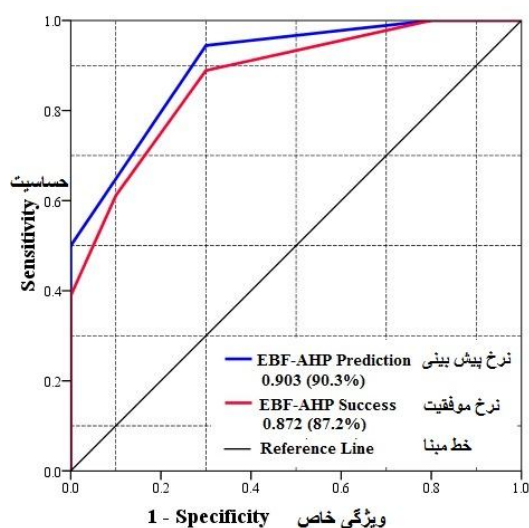
شکل ۵- نقشه حساسیت زمین‌لغزش با روش ترکیبی.

Figure 5. Landslide susceptibility map using the combined method.

1- Seed cell area index

جدول ۴ نشان داده شده است نیز بیانگر قدرت تفکیک خیلی خوب مدل می‌باشد به‌گونه‌ای که کلاس‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد دارای مقادیر خیلی کم SCAI و در مقابل کلاس‌های حساسیت خیلی کم و کم دارای مقادیر بالای SCAI می‌باشند. می‌توان نتیجه گرفت که مدل ترکیبی نتایج قابل اطمینانی را در زمینه تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در منطقه مطالعاتی فراهم می‌کند که با نتایج (۲۰) مطابقت دارد.

در این پژوهش از داده‌هایی که در طول مدل‌سازی مورد استفاده قرار نگرفته است برای محاسبه نرخ پیش‌بینی و از داده‌های مدل‌سازی برای محاسبه نرخ موفقیت مدل استفاده گردید. نتایج حاصل از مقادیر نرخ موفقیت و پیش‌بینی مدل با استفاده از مساحت زیر منحنی در شکل ۶ نشان داده شده است. طبق شکل ۶ مدل ترکیبی دارای قدرت پیش‌بینی عالی 0.903 (90.3%) و نرخ موفقیت خیلی خوب 0.872 (87.2%) می‌باشد. نتایج حاصل از شاخص SCAI که در



شکل ۶- منحنی راک برای نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه‌شده با روش ترکیبی شواهد وزن قطعی- تحلیل سلسله‌مراتبی.

Figure 6. ROC curve for the landslide susceptibility map produced by EBF-AHP model.

جدول ۴- درصد مساحت کلاس‌های حساسیت در روش وزن قطعی- تحلیل سلسله‌مراتبی و مقادیر سطح سلول هسته.

Table 4. Area percentage of the susceptibility classes in EBF-AHP model and SCAI values.

درصد %	SCAI	درصد %	مساحت لغزش (کیلومتر) Landslide area (km)	درصد %	مساحت (کیلومتر) Area (km)	کلاس‌های حساسیت Susceptibility classes	مدل model
2.806	4.374	2.806	0.425	12.275	92.556	خیلی کم Very Low	مدل وزن قطعی- تحلیل سلسله‌مراتبی EBF-AHP model
14.882	1.722	14.882	2.253	25.620	193.178	کم Low	
19.234	1.257	19.234	2.912	24.186	182.361	متوسط Moderate	
22.498	0.873	22.498	3.406	19.644	148.118	زیاد High	
40.579	0.450	40.579	6.143	18.275	137.795	خیلی زیاد Very High	

نتیجه‌گیری کلی

در طی چند دهه اخیر، زمین‌لغزش‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی که به‌طور جدی جان و مال انسان‌ها را تهدید می‌کند، مورد توجه پژوهشگران و برنامه‌ریزان در سراسر جهان قرار گرفته است. در حال حاضر نقشه حساسیت زمین‌لغزش روش مناسبی برای شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش می‌باشد. بدین‌منظور روش‌های آماری پیشرفته و دانش و مهارت متخصصین به همراه تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در رسیدن به این هدف کمک شایانی نماید. در طی سال‌های اخیر روش‌های کمی و کیفی زیادی به‌منظور ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است. تاکنون در زمینه این‌که کدام مدل دارای عملکرد بهتری است اتفاق‌نظری صورت نگرفته است ولی اجماع عمومی این است که هر یک از مدل‌ها دارای مزیت‌ها و محدودیت‌هایی می‌باشند. در این پژوهش به‌منظور مرتفع کردن معایب روش‌های آماری داده‌محور و روش‌های دانش‌محور از ترکیبی از تکنیک‌های دانش‌محور و داده‌محور به‌منظور تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوضه فریدون‌شهر در استان اصفهان استفاده گردید. بدین‌منظور ۱۲ عامل مؤثر در زمین‌لغزش شامل طبقات ارتفاعی، شیب، شکل شیب، طول شیب، فاصله از آبراهه، شاخص خیسی توپوگرافی، نسبت مساحت سطح، فاصله از جاده، سنگ‌شناسی، لیتولوژی، بارندگی و کاربری اراضی آماده گردید و با کمک نقشه پراکنش زمین‌لغزش شامل ۵۶ موقعیت زمین‌لغزش به‌عنوان داده مدل‌سازی به تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش پرداخته شد. به‌منظور اثبات توانایی پیش‌بینی مدل ترکیبی ارائه‌شده، نرخ پیش‌بینی و نرخ موفقیت منحنی

ROC برای نقشه حساسیت زمین‌لغزش منطقه مطالعاتی محاسبه گردید. شاخص سطح سلول هسته SCAI به‌منظور قدرت تفکیک‌پذیری مدل مورد استفاده قرار گرفت. برای محاسبه نرخ پیش‌بینی از داده‌های اعتبارسنجی و برای محاسبه نرخ موفقیت از داده‌های مدل‌سازی استفاده گردید. نرخ پیش‌بینی مدل ۰/۹۰۳ و نرخ موفقیت مدل ۰/۸۷۲ به‌دست آمد که بیانگر دقت عالی و کارایی مناسب مدل ترکیبی در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی و مناطق مشابه است. نقشه حساسیت زمین‌لغزش پس از تهیه به پنج کلاس حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم‌بندی گردید. طبق نتایج از کل مساحت منطقه مطالعاتی ۱۲/۲۷ درصد (۹۲/۵۵ کیلومتر مربع) در کلاس حساسیت خیلی کم، ۲۵/۶۲ درصد (۱۹۳/۱۷ کیلومتر مربع) در کلاس حساسیت کم، ۲۴/۱۸ درصد (۱۸۲/۳۶ کیلومتر مربع) در کلاس حساسیت متوسط، ۱۹/۶۴ درصد (۱۴۸/۱۱ کیلومتر مربع) در کلاس حساسیت زیاد و ۱۸/۲۷ درصد (۱۳۷/۷۹ کیلومتر مربع) در کلاس حساسیت خیلی زیاد قرار گرفته است. با توجه به این‌که کلاس‌های حساسیت زیاد و خیلی زیاد عمدتاً در مناطق غربی و شمال‌غربی حوضه مطالعاتی قرار گرفته‌اند پیشنهاد می‌گردد هر گونه اقدام عمرانی و یا تغییر کاربری اراضی در این منطقه با احتیاط کامل صورت گیرد. با توجه به دقت عالی نقشه تهیه شده، نقشه حساسیت زمین‌لغزش منطقه مطالعاتی می‌تواند به‌عنوان اطلاعات پایه برای اجتناب و یا کاهش خطرات ناشی از زمین‌لغزش‌های موجود و آینده مورد استفاده مهندسين، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان قرار گیرد.

منابع

1. Arabameri, A.R., Shirani, K., and Rezaei, K.H. 2017a. Landslide land capability zonation using Dempster-shafer and frequency ratio models. *J. Water Soil Cons.* 24: 3. 41-57.
2. Arabameri, A.R., Shirani, K., and Rezaei, K.H. 2017b. A Comparative Assessment between Weights-of-Evidence and Frequency Ratio Models for Landslide Hazard Zonation in Vanak Basin. *J. Water. Manage. Res.* 8: 15. 147-160.
3. Arabameri, A.R., Shirani, K., and Tazeh, M. 2017c. Assessment of logistic and multivariate regression Models for Landslide hazard zonation (Case study: Marbor basin). *Range and watershed management.* 70: 1. 151-168.
4. Arabameri, A.R., and Shirani, K. 2016. Identification of Effective Factors on Landslide Occurrence and its Hazard Zonation Using Dempster-Shafer theory (Case study: Vanak Basin, Isfahan Province). *Watershed Engineering and Management.* 8: 1. 93-106.
5. Arabameri, A.R., Shirani, K., and Halabian, A.H. 2016. Evaluation of prediction capability of the Statistical and Logistic models for mapping landslide susceptibility (Case study: Vanakbasin). *Physical Geomorphology.* 9: 32. 123-140.
6. Arabameri, A.R., Halabian, A.H. 2015. Landslide Hazard Zonation Using Statistical Model of AHP (Case study: Zarand Saveh Basin). *Physical Geomorphology.* 8: 28. 65-86.
7. Achour, Y., Boumezbear, A., Hadji, R., Chouabbi, A., Cavaleiro, V., Bendaoud, E.A. 2017. Landslide susceptibility mapping using analytic hierarchy process and information value methods along a highway road section in Constantine. Algeria, *Arab. J. Geosci.* 10: 194.
8. Cui, K., Lu, D., and Li, W. 2017. Comparison of landslide susceptibility mapping based on statistical index, certainty factors, weights of evidence and evidential belief function models. *Geocarto International.* 32: 9. 935-955.
9. Chen, W., Xie, X., Wang, J., Pradhan, B., Hong, H., Bui, D.T., Duan, Z., and Ma, J. 2017a. A comparative study of logistic model tree, random forest and classification and regression tree models for spatial prediction of landslide susceptibility. *CATENA.* 151: 147-160.
10. Chen, W., Xie, X., Peng, J., Wang, J., Duan, Z., and Hong, H. 2017b. GIS-based landslide susceptibility modelling: a comparative assessment of kernel logistic regression, Naive-Bayes tree, and alternating decision tree models. *Geomatics, natural hazards and risks.* 8: 2. 950-973.
11. Chen, W., Chai, H., Sun, X., Wang, Q., Ding, X., and Hong, H. 2016a. A GIS-based comparative study of frequency ratio, statistical index and weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping. *Arab. J. Geosci.* 9: 1-16.
12. Chen, W., Ding, X., Zhao, R., and Shi, S. 2016b. Application of frequency ratio and weights of evidence models in landslide susceptibility mapping for the Shangzhou District of Shangluo City, China. *Environ. Earth Sci.* 75: 1-10.
13. Chen, W., Li, W., Chai, H., Hou, E., Li, X., and Ding, X. 2016c. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and certainty factor (CF) models for the Baozhong region of Baoji City, China. *Environ. Earth Sci.* 75: 1-14.
14. Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Boehner, J. 2015. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. *Geosci. Model Dev.* 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.
15. Ding, Q., Chen, W., and Hong, H. 2016. Application of frequency ratio, weights of evidence and evidential belief function models in landslide susceptibility mapping. *Geocarto Int.* 6: 32. 619-639.
16. Ercanoglu, M., and Gokceoglu, C. 2002. Assessment of landslide susceptibility for a landslide prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. *Environ Geol.* 41: 6. 720-730.

17. Environment for Visualizing Images (ENVI). 1977. www.harrisgeospatial.com.
18. Expert Choice. 1983. www.expertchoice.com.
19. Guo-liang, D., Yong-shuang, Z., Javed, I., Zhi-hua, Y., and Xin, Y. 2017. Landslide susceptibility mapping using an integrated model of information value method and logistic regression in the Bailongjiang watershed, Gansu province, China. *J. Mt. Sci.* 14: 2. 249-268.
20. Ghorbani Nejad, S., Falah, F., Daneshfar, M., Haghizadeh, A., and Rahmati, O. 2017. Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data-driven models. *Geocarto International.* 32: 2. 167-187.
21. Gorum, T., Fan, X., van Westen, C.J., Huang, R.Q., Xu, Q., Tang, C., and Wang, G. 2011. Distribution pattern of earthquake-induced landslides triggered by the 12 May 2008 Wenchuan earthquake. *Geomorphology.* 133: 152-167.
22. Hengl, T., Gruber, S., and Shrestha, D.P. 2003. Digital terrain analysis in ILWIS. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede. The Netherlands, 62p.
23. Hong, H., Chen, W., Xu, C., Youssef, A.M., Pradhan, B., and Tien Bui, D. 2017. Rainfall-induced landslide susceptibility assessment at the Chongren area (China) using frequency ratio, certainty factor and index of entropy. *Geocarto Int.* 32: 139-154.
24. Jenness, J. 2002. Surface Areas and Ratios from Elevation Grid. Jenness Enterprises.
25. Lee, S., and Pradhan, B. 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides.* 4: 1. 33-41.
26. Mallick, J., Al-Wadi, H., and Atiqur Rahman, M. 2014. Landscape dynamic characteristics using satellite data from a mountainous watershed of Abha, Kingdom of Saudi Arabia. *Environ Earth Sci.* 72: 12. 4973-4984.
27. Mahmoudi, F. 2001. Dynamic geomorphology, fourth edition, Tehran University Press.
28. Mahalingam, R., Olsen, M.J., and O'Banion, M.S. 2016. Evaluation of landslide susceptibility mapping techniques using lidar-derived conditioning factors (Oregon case study). *Geomat Nat Haz Risk.* 7: 1884-1907.
29. Malamud, B.D., Turcotte, D.L., Guzzetti, F., and Reichenbach, P. 2004. Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surf Proc Landforms.* 29: 687-711.
30. Myronidis, D., Papageorgiou, C., and Theophanous, S. 2016. Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). *Nat Hazards.* 81: 245-263.
31. Moore, I.D., Grayson, R.B., and Ladson, A.R. 1991. Digital terrain modeling: a review of hydrological, geomorphological and biological applications. *Hydrol Process.* 5: 3-30.
32. Moore, I.D., and Burch, G.J. 1986. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: application of unit stream power theory. *Water Resour. Res.* 22: 1350-1360.
33. Organization of forests, rangelands and watershed management of the country, 2010. language/fa-IR/Default.aspx.
34. Nsengiyumva, J.B., Luo, G., Nahayo, L., Huang, X., and Cai, P. 2017. Landslide Susceptibility Assessment Using Spatial Multi-Criteria Evaluation Model in Rwanda. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 15: 243.
35. Pourghasemi, H.R., and Rossi, M. 2016. Landslide susceptibility modeling in a landslide prone area in Mazandarn Province, north of Iran: a comparison between GLM, GAM, MARS, and M-AHP methods. *Theor Appl Climatol.* 130: 1-2. 609-633.
36. Pourghasemi, H.R., and Kerle, N. 2016. Random forests and evidential belief function-based landslide susceptibility assessment in Western Mazandaran Province, Iran. *Environ. Earth Sci.* 75: 185.
37. Shahabi, H., Hashim, M., and Ahmad, B.B. 2015. Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression

- and fuzzy logic methods at the central Zab basin, Iran. *Environ Earth Sci.* 73: 8647-8668.
38. Shirani, K., and Seif, A. 2013. Landslide Hazard Zonation by Using Statistical Methods (Pishkuh Region in Fereydonshahr province). *Geoscience.* 22: 85. 149-158.
39. Saaty, T.L., and Vargas, G.L. 2001. *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process.* Kluwer Academic Publisher, Boston.
40. Su'zen, M.L., and Doyuran, V. 2004. A comparison of the GIS based landslide susceptibility assessment methods: multivariate versus bivariate. *Environ. Geol.* 45: 5. 665-679.
41. Tahmassebi, N., Rahmati, O., Noormohamadi, F., and Lee, S. 2016. Spatial analysis of groundwater potential using weights of evidence and evidential belief function models and remote sensing. *Arab. J. Geosci.* 9: 1-18.
42. Vakhshoori, V., and Zare, M. 2016. Landslide susceptibility mapping by comparing weight of evidence, fuzzy logic and frequency ratio methods. *Geomat. Nat. Haz. Risk.* 7: 1731-1752.
43. Wang, Q., Wang, D., Huang, Y., Wang, Z., Zhang, L., Guo, Q., Chen, W., Chen, W., and Sang, M. 2015. Landslide Susceptibility Mapping Based on Selected Optimal Combination of Landslide Predisposing Factors in a Large Catchment. *Sustainability.* 7: 16653-16669.
44. Xie, Z., Chen, G., Meng, X., Zhang, Y., Qiao, L., and Tan, L. 2017. A comparative study of landslide susceptibility mapping using weight of evidence, logistic regression and support vector machine and evaluated by SBAS-InSAR monitoring: Zhouqu to Wudu segment in Bailong River Basin, China. *Environ. Earth Sci.* 76: 313.
45. Yesilnacar, E.K. 2005. The application of computational intelligence to landslide susceptibility mapping in Turkey, PhD Thesis. Department of Geomatics the University of Melbourne. 423p.
46. Zhuo, C., Liang, S., Ke, Y., Yang, Z., and Zhao, H. 2017. Landslide susceptibility assessment using evidential belief function, certainty factor and frequency ratio model at Baxie River basin, NW China, *Geocarto international.* Pp: 1-20.
47. Zhao, H., Yao, L., Mei, G., Liu, T., and Ning, Y. 2017. A Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Based on AHP and Entropy for a Landslide Susceptibility Map, *Entropy.* 19: 396.
48. Zhang, K., Wu, X., Niu, R., Yang, K., and Zhao, L. 2017. The assessment of landslide susceptibility mapping using random forest and decision tree methods in the Three Gorges Reservoir area, China. *Environ. Earth Sci.* 76: 405.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(5), 2019

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

Performance assessment of integrated model of data driven EBF model and knowledge driven AHP model in Landslide spatial modeling (Case study: Ferydoun Shahr watershed)

***A.R. Arabameri¹, Kh. Rezaei², M. Yamani³ and K. Shirani⁴**

¹Ph.D. Graduate, Faculty of Literature and Humanities, Tarbiat Modarres University, ²Assistant Prof., Faculty of Sedimentology, University of Kharazmi, ³Professor, Faculty of Geography, University of Tehran, ⁴Assistant Prof., Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources, Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran

Received: 12.01.2017; Accepted: 07.03.2018

Abstract

Background and Objectives: During the past decades, landslides have been a significant subject of research as a consequence of their devastated nature. Landslides are common geomorphic processes in mountain areas and are responsible for mass movements involving rock materials, regolith and/or soil debris. For manufacture roads, railways, water pipe line and electric line, the preparation of landslide distribution map is very much significant. Determining the occurrence of future landslides depend on the geological, geomorphological and hydrological processes that led to instability in the past and also at present. To assessment terrain susceptibility to landslides, a number of various techniques are used, ranging from qualitative assessments based on expert judgment, which are intrinsically subjective to quantitative assessments based on advanced statistical techniques or mathematical models. The purpose of this research is landslide susceptibility mapping in Fereydoun Shahr watershed using a combination of data-driven and knowledge-based methods.

Materials and Methods: The steps of methodologies that were applied in the current study, including six steps. Step1. data sources that are used in the current study including data related to field surveys, historical reports, topographic maps of 1:50,000-scale, meteorological data, geological map of 1:100,000-scale, A digital elevation model (DEM) with the resolution of 30 m × 30 m was extracted from the ASTER GDEM data, The Landsat 8 OLI images with the resolution of 30 m × 30 m. Step2. Preparing the inventory map. In this study, a landslide inventory map with a total of 80 landslide events was provided by the extensive field survey, Interpretation of aerial photos of 1995 with a scale of 1:40000 by stereoscopy as well as satellite images of Google Earth. Step3. Landslide-conditioning factors. Step4. Multicollinearity analysis of landslide conditioning factors. In the current study, 12 factors were used as conditioning factors. These include elevation, slope, plan curvature, stream length, distance from streams, topography wetness index, surface area ratio, distance from roads, lithology, distance from faults, rainfall and land use. Step5. Combination of EBF data driven and AHP knowledge driven models according to the relation between the landslides location and the different datasets. Step5. Validation of models using AUC and SCAI indicators.

Results: The results of the multicollinearity test among the parameters using Tolerance and variance inflation factor indicators showed that among the 26 initial conditioning factors, 14 factors have multicollinearity, As a result, this factors were eliminated from the modeling

* Corresponding Author; Email: alireza.ameri91@yahoo.com

process and modeling was performed using 12 parameters. Results of the spatial relationship between landslide and conditioning factors using the EBF (belief, disbelief, uncertainty and plausibility) model revealed that high potential of landslide occurrence was for the areas with high degrees of belief and low degrees of disbelief. Weighting of conditioning factors by AHP showed that parameters of lithology, elevation and distance to road, slope and rainfall are the most effective prediction factors in landslide occurrence. The consistency ratio shows 0.034 value, which is reasonably good accuracy value, which reflect the high accuracy of ranking consistency between the factors.

Conclusion: Due to some shortening of the AHP knowledge driven and EBF data driven models when applied individually in landslide susceptibility mapping, it can be overcome by using ensemble techniques. The AUC results showed that the success rate and prediction rate for ensemble model are 0.872 (78.3%), 0.903, respectively. results of SCAI values of the ensemble model is desirable, in the high and very high susceptibility classes. The resultant landslide susceptibility map show that the high susceptibility areas are mainly distributed along the northwest to west direction in the study area. This map can provide very useful information for planners, decision makers and engineers in slope management and land use planning in landslide areas.

Keywords: Data driven methods, Ferydoun Shahr watershed, Knowledge driven methods, Validation

