

واژگان کلیدی: ابنیه فنی، سد طالقان، حرکت‌های توده‌ای، حفاظت خاک، مخاطرات طبیعی.

مقدمه

زمین‌لغزش از جمله مخاطرات طبیعی است که همه‌ساله خسارت‌های جانی و مالی فراوانی را در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد. رشد سریع جمعیت، گسترش شهرها در نواحی کوهستانی، مشکل بودن پیش‌بینی زمان این رویداد و متعدد بودن عامل‌های مؤثر در رویداد این پدیده، ضرورت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را آشکار می‌سازد. با استفاده از پهنه‌بندی خطر رویداد زمین‌لغزش می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر را شناسایی نمود و با ارائه راهکارها و شیوه‌های مدیریتی مناسب تا حدی از رویداد زمین‌لغزش‌ها جلوگیری و یا خسارت ناشی از رویداد آن‌ها را کاهش داد [۱۲].

زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین انواع حرکت‌های توده‌ای است که در حوزه آبخیز طالقان روی می‌دهد. در زمین‌لغزش، مواد دامنه‌ای در امتداد یک سطح گسیختگی مشخص که ممکن است یک سطح جهت یافته یا درزه‌دار باشد، بر روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند [۱۵]. تخریب اراضی زراعی بر اثر وقوع زمین‌لغزش، باعث از دسترس خارج شدن خاک حاصلخیز و به تبع آن، کاهش عملکرد محصولات می‌گردد. حوزه آبخیز طالقان از جمله مناطقی است که به دلیل بارندگی نسبتاً فراوان و وجود تشکیلات زمین‌شناسی مساعد، رویدادهای زمین‌لغزش متعددی در آن گزارش شده است. بر اساس تحقیقات انجام‌شده و گزارش پژوهشگرده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور و همچنین، آمار سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در سال ۱۳۸۱ بین ۴۵۰ تا ۵۰۰ زمین‌لغزش در این منطقه اتفاق افتاده است. روش‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش را می‌توان بر اساس ماهیت آن‌ها به دودسته کلی روش‌های تجربی و آماری تقسیم کرد. مدل‌های تجربی در شرایط جغرافیایی ویژه‌ای ارائه می‌شوند، به طوری که عوامل هر مدل متناسب با شرایط خاص آن منطقه بوده یا بر بعضی عوامل تأکید بیشتری شده است و ممکن است برای مناطق دیگر چندان مناسب نباشد. دسته دیگر مدل‌های آماری هستند که در آن‌ها میزان اهمیت طبقات مختلف عوامل مؤثر در ناپایداری با توجه به نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تعیین و بعد حساسیت زمین‌لغزش پهنه‌بندی می‌شود [۵]. باید توجه داشت که در تمامی این روش‌ها مراحل مشترکی

مطالعه روش‌های پهنه‌بندی و عوامل مؤثر بر خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان طی دو دهه اخیر

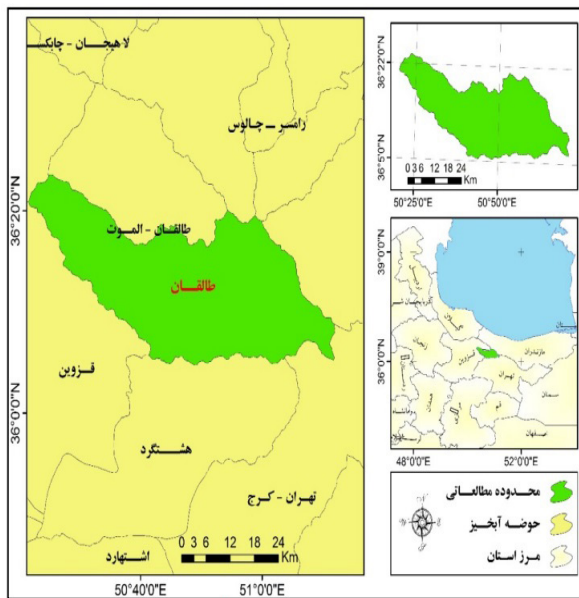
سید عطاله حسینی^۱، امیرحسین خطکه^۲، مریم سلیمی^۳
 تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۹/۱۴ تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۲/۱۳
 DOR:20.1001.1.26454777.1401.10.39.3.3

چکیده

زمین‌لغزش یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب حوزه آبخیز می‌باشد. فراوانی وقوع زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های شیب‌دار و مرطوب متشکل از سازندهای حساس بیشتر است. حوزه آبخیز طالقان با وجود مساحت قابل توجهی از مارن‌های میوسن و رطوبت طبیعی بالای حاصل از تراکم زیاد شبکه زهکشی و احداث سد طالقان از مستعدترین نواحی لغزشی در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه البرز به شمار می‌رود. بررسی سوابق مطالعات مربوط به حوزه آبخیز طالقان نشان می‌دهد، مطالعات قدیمی‌تر با ابزارهای ساده و کیفی و بر اساس تجربیات کارشناسان صورت گرفته است، در حالی که امروزه این شیوه‌ها جای خود را به مطالعات کمی آماری و روش‌های مبتنی بر تعلیم ماشین داده است که بررسی روند تکاملی ابزارهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در طالقان نیز گویای این مهم است. در این مطالعه مروری بر کاربرد روش‌های پهنه‌بندی و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش طی حدود دو دهه گذشته شده است و پس از بررسی تعدادی مقاله تحقیقی مجزا، سیر تکاملی ابزارهای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بررسی‌ها نشان داد، مدل‌های آماری قابلیت بهتر و کاربرد بیشتری نسبت به مدل‌های ابتکاری و روش‌های کیفی و نیمه کمی داشته‌اند و این نکته قابل توجه است که سرعت استفاده از روش‌های مبتنی بر تعلیم ماشین و منطق فازی بیشتر بوده و این نتیجه به وضوح در مطالعات انجام‌شده در این حوزه به ویژه طی پنج سال اخیر دیده می‌شود.

۱- استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
 ۲- دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، نویسنده مسئول، Email: amir.khetkeh@ut.ac.ir
 ۳- دانشجوی دکتری مهندسی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

و دمای سالانه آن نیز ۱۰/۵ درجه سلسیوس است [۱۶].



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی طالقان

حوزه آبخیز طالقان از جمله پهنه‌های رسوبی-ساختمانی ایران میانی و به‌طور دقیق‌تر زیر پهنه البرز است. در این منطقه، رسوبات آبرفتی دوره کواترنری و نهشته‌های لای سنگی و گل سنگی قرمز رنگ با عدسی‌های رسی اواخر ترشباری بیش‌ترین رخمون را دارند. به نظر می‌رسد، زمین‌ساخت فعال ناحیه‌ای و فرآیندهای مرتبط با آن، شیب هیدرولیکی و حرکت آب‌های سطحی از شمال و جنوب به سمت مرکز منطقه، بالا بودن سطح آب زیرزمینی (با نشانه‌هایی چون انواع چشمه، تالاب‌های رسوبی و نشست آب)، شیب تند و دامنه‌های متشکل از رسوبات عمدتاً مارنی، گلسنگی و سیلتستونی، عوامل اصلی وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان هستند (شکل ۲).

طالقان رود، رودخانه اصلی منطقه و سرشاخه اصلی رودخانه شاهرود می‌باشد که دارای حوزه آبریز مرتفع و کوهستانی است که از دامنه‌های کهار سرچشمه می‌گیرد و در جهت شمال شرقی به جنوب غربی جریان پیدا می‌کند. سرشاخه‌های متعدد این رودخانه آب‌های وسیعی از ارتفاعات البرز شامل ارتفاعات تخت سلیمان، کهار و رشته‌کوه طالقان را جمع‌آوری می‌کند و به دره عمیق طالقان و به رودخانه شاهرود می‌ریزد. شاخه ابتدایی رودخانه از روستاهای دراپی، کته‌ده، دهدر، جوستان، نسا علیا، منگولان، سفچ‌خانی، گوران، اوانک و پرده‌سر و مشروب کردن زمین‌های این روستاها وارد شهرک طالقان می‌شود و در غرب شهرک و پایین‌تر از گلینک وارد دریاچه سد طالقان می‌شود. طول این رودخانه ۱۰۵ کیلومتر بوده و حوزه آبریز آن در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. تقریباً تمام پهنه شهرستان طالقان دارای کاربری طبیعی شامل اراضی کشاورزی،

از جمله جمع‌آوری اطلاعات و شناسایی پارامترهای مؤثر در ایجاد ناپایداری‌ها، پردازش اطلاعات حاصل و کمی نمودن معیارهای کیفی، تلفیق معیارهای کمی شده مختلف و به دست آوردن مقدار خطر و رده‌بندی میزان خطر به‌دست‌آمده و ارائه نقشه خطر وجود دارد [۱].

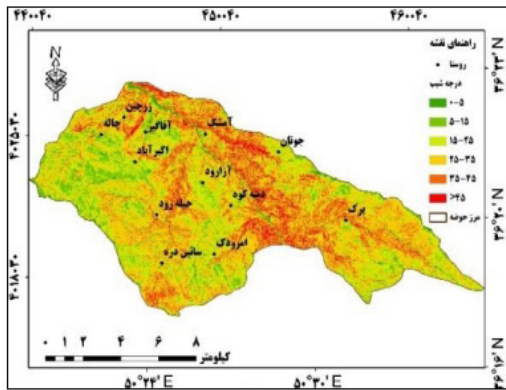
مواد و روش‌ها

روش مرور مطالعات

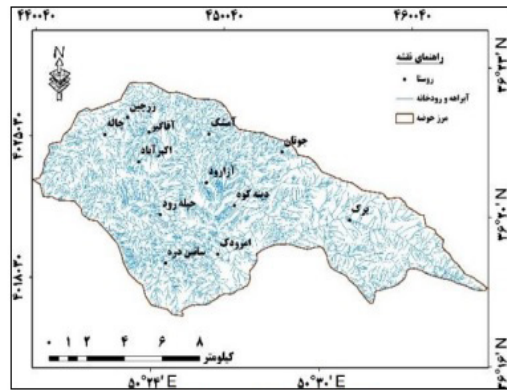
ابتدا جهت گردآوری مطالعات صورت گرفته، کلمات کلیدی مدنظر از قرار کلیدواژه‌های مرتبط با عارضه‌های طبیعی حرکات توده‌ای خاک مورد جستجو قرار گرفته و به‌منظور محدود شدن دایره‌ی بررسی‌ها به منطقه‌ی طالقان، نام این شهرستان و سد طالقان به کلمات کلیدی بکارگرفته‌شده، اضافه شد. در نهایت از بین مطالعات پژوهشی به چاپ رسیده در نشریات داخلی تعداد ۱۳ مقاله جهت بررسی بیش‌تر انتخاب شدند. در این مرور از بررسی مطالعات مطرح‌شده در همایش‌ها و کنفرانس‌های داخلی صرف‌نظر شده است. در سیر بررسی مقالات و گزینش نتایج سعی شده پوشش مناسبی از نتایج همه‌ی مقالات گزینش‌شده‌ی محققین کشور که بر مسائل متنوع مرتبط با حرکت‌های توده‌ای خاک نظیر بحث فرسایش و عوارض رسوب خاک در مخزن سد طالقان، تأثیر حرکات‌های توده‌ای بر جاده‌ها و سایر ابنیه فنی از قبیل خطوط انتقال نیرو و خطرات ناشی از این دسته بلایای طبیعی بر جامعه انسانی منطقه از جمله بحث امنیت جانی و مالی، ارائه شود. در مورد عوامل مؤثر در وقوع این رخداد نظرات تمام محققین بررسی‌شده است تا در نهایت تصویر روشنی از وزن هرکدام از این عوامل در اختیار خواننده قرار گیرد. هم‌چنین مقالات به چاپ رسیده بر اساس روش انجام پهنه‌بندی ریسک وقوع زمین‌لغزش به دودسته‌ی روش‌های کمی و کیفی تقسیم‌شده است.

منطقه مورد مطالعه

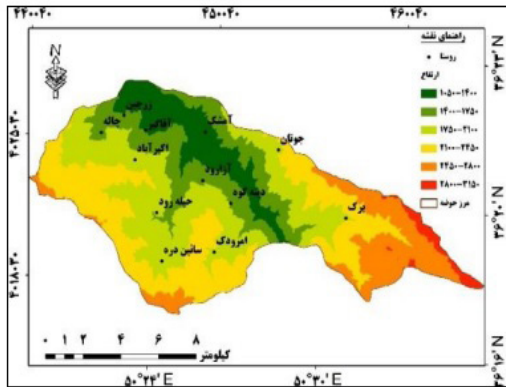
حوزه آبخیز طالقان با مساحتی معادل ۱۳۲۶ کیلومتر مربع یکی از زیر حوضه‌های مهم سفیدرود به‌شمار می‌رود که در دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز و در بخش شمال غربی تهران و به فاصله ۱۲۰ کیلومتری از این شهر واقع شده است. موقعیت جغرافیایی حوضه بین ۳۶°۵۵' تا ۳۶°۲۳' عرض شمالی و ۵۰°۲۱' تا ۵۱°۰۱' شرقی قرار دارد (شکل ۱). طالقان از طریق دو جاده به آزادراه تهران-کرج متصل می‌شود. جاده اول از نیروگاه شهید رجایی بعد از آبیگ منشعب می‌شود و جاده دوم بین آبیگ و قزوین، از آزادراه منشعب شده و از طریق روستاهای پایین طالقان به میان طالقان می‌رسد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۴۰ متر بالاتر از دریا (ارتفاع حداکثر ۴۴۰۰ و حداقل ۱۰۸۰ متر) می‌باشد. بر مبنای دوره آماری ۱۰ ساله داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک کرج و هشتگرد و ایستگاه باران‌سنجی جزینان، میانگین بارش سالانه حوزه آبخیز طالقان ۵۱۵/۱۶ میلی‌متر



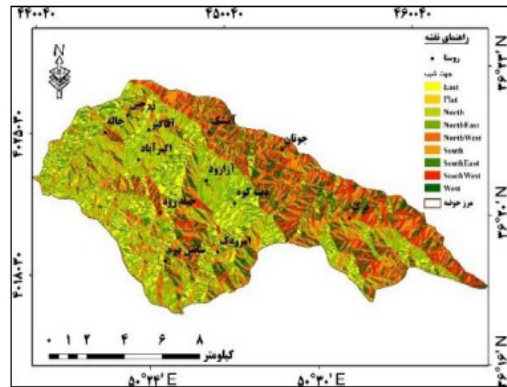
ب: شیب (درجه)



الف: آبراهه‌ها و رودخانه



ت: طبقات ارتفاع (متر)



پ: جهت شیب

شکل ۲: نقشه ناهمواری‌ها و شبکه زهکشی آبریز طالقان

تخریب محیط طبیعی به حفظ اکوسیستم و کاربری متناسب با آن کمک شود [۲].

اطلاعات حاصل از نقشه‌های توپوگرافی نشان می‌دهد، جهت‌های جغرافیایی شمال و شمال غربی که کم‌تر در معرض نور خورشید قرار دارند در کنار شیب‌های ۲۰ تا ۴۰ درصد، تأثیر به‌سزایی در ناپایداری ذاتی این منطقه دارند و بسیاری از لغزش‌های گذشته در این کلاسه‌ها به وقوع پیوسته است. ارتفاع در طالقان نیز به لحاظ تبدیل نوع بارش از باران به برف می‌تواند در وقوع حرکت‌های توده‌ای بسیار مؤثر باشد. مطالعات انجام‌شده نشان داده است که تا اواخر اردیبهشت‌ماه منطقه پوشیده از برف باقی می‌ماند و ذوب تدریجی برف باعث ایجاد بسیاری از لغزش‌ها از جمله تختانک‌ها در ارتفاعات بالای ۱۹۰۰ متر به‌عنوان مرز برف شده است [۳].

به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد، توپوگرافی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی متنوع و گوناگون، پوشش گیاهی در این منطقه بسیار متنوع و متغیر بوده و به‌شدت از ناهمواری‌ها، سنگ مادر و اقلیم تبعیت می‌نماید. به‌طورکلی می‌توان گفت، علی‌رغم مساعدت اقلیمی منطقه برای تولید علوفه مرتعی و پرورش گونه‌های مرغوب علوفه‌ای، دخالت‌های ناروای انسان از طریق بهره‌برداری مفرط و بی‌رویه از مراتع منطقه در زمان‌های گذشته موجب گردید که گونه‌های مرغوب از نظر تراکم و ترکیب رو به کاهش نهاده و در عوض گونه‌های نامرغوب توسعه بیش‌تری یابند و حتی در برخی

باغات، مرتع و جنگل می‌شود و بخش بسیار اندکی از آن را کاربری مسکونی نواحی شهری و روستایی تشکیل داده است. با مطالعه و مقایسه عکس‌های هوایی سال ۱۳۴۵ مشاهده گردید، بیش‌تر اراضی منطقه دارای کاربری مرتع و یا دیم‌زار بوده است، ولی در سال ۱۳۷۰ و بعدازآن به‌تدریج اراضی دیم وسعت کم‌تری پیدا کرده و برخی رهاشده و دچار فرسایش سطحی و انواع حرکت‌های توده‌ای شده‌اند، در عوض به وسعت باغات میوه افزوده شده است. هم‌چنین، مدیریت غیراصولی مرتع طی سه فاز زمانی سال‌های ۱۳۴۵، ۱۳۷۰ و ۱۳۷۹ باعث کاهش پوشش گیاهی شده است. تبدیل اراضی مرتعی با پوشش گیاهی بسیار نامناسب و انبوه به زمین‌های دیم کم‌بازدهی که دچار فرسایش سطحی شده‌اند و تبدیل زمین‌های کشاورزی دیم به باغات که احتیاج به آبیاری دارند و واردکردن مقادیر زیادی آب از طریق اجرای آبیاری سنتی به روش غرقابی به سازندی که از نظر سنگ‌شناسی مستعد حرکات توده‌ای است، رعایت نکردن فاصله مناسب کاشت درختان، عدم استفاده از روش‌های آبیاری تحت‌فشار و قطره‌ای و از سوی دیگر تبدیل اراضی شیب‌دار به اراضی مسطح به‌منظور ساختمان‌سازی مسکونی باعث شده است که بازهم آب بیش‌تری به داخل سازند حساس وارد شود و در نتیجه شاهد وقوع انواع حرکت‌های توده‌ای باشیم [۳]. گرچه در سال‌های اخیر، احداث دریاچه سد و ویلاها در شهرستان، کاربری‌ها را تا حدی دستخوش تغییر کرده است، اما انتظار می‌رود با اعمال مقررات و جلوگیری از

مناطق گونه‌های مهاجم سهم عمده در ترکیب فعلی پوشش گیاهی به خود اختصاص می‌دهند. با وجود این، هنوز هم گونه‌های مرغوب و به‌خصوص پوشش علفی دائمی در اکثر نقاط حضور دارند و با مساعدت شرایط طبیعی منطقه توانسته‌اند به حیات خود در این حوضه ادامه دهند و یا حتی در قسمت‌هایی از مراتع که فشار چرای کم‌تری را تحمل نموده‌اند، توسعه یابند [۴]. از منظر زمین‌شناسی، منطقه طالقان در امتداد کمربند آلپ-همیالیا قرار گرفته است. این امر از طریق توجه به زمین‌لرزه‌های تاریخی قابل اثبات است. با توجه به اینکه بسیاری از لغزش‌ها در امتداد دامنه‌های زمین‌ساختی جوان و گسل فعال رخ می‌دهد، می‌توان به ارتباط رانش زمین و روند گسل دست یافت.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات در منطقه طالقان نیز نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد از رانش‌های زمین در امتداد گسل می‌باشد. هم‌چنین، گویای این واقعیت است که زمین‌لرزه از عناصر اصلی در زمین‌لغزش است [۱۷]. از نظر سازند نیز به دلیل اینکه مساحت قابل توجهی از حوزه طالقان روی مارن‌های میوسن قرار دارد، بسیار مستعد برای زمین‌لغزش است، به طوری که نهشته‌های لغزشی و سولیفلوکسیون دوره کوارترن بخش وسیعی از مساحت این منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. ایجاد سد و دریاچه سد نیز سبب نفوذ رطوبت زیاد به داخل خاک اراضی حاشیه سد شده و دلیل اصلی ناپایداری زمین در این منطقه است [۲]. در این مطالعه از ۱۵ مقاله که از سال ۱۳۸۴ تاکنون در منطقه طالقان انجام شده و در آن حرکات توده‌ای منطقه از جهات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است استفاده شده، به ترتیب سال و به تفکیک روش مورد استفاده مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نوع روش مورد استفاده به دودسته تفکیک شده‌اند. دسته اول روش‌های کیفی و دسته دوم روش‌های کمی هستند.

روش‌های کیفی

احمدی و همکاران در یکی از قدیمی‌ترین مطالعات مربوط به حرکات توده‌ای خاک در حوزه آبخیز طالقان، درصدد ارائه مدلی به‌منظور پیش‌بینی نقاط پرخطر به کمک تعریف شاخصی به نام M با مقدار بین صفر تا ۱۰۰ بوده‌اند. در این مطالعه، ساخت نقشه پهنه‌بندی بر اساس شیوه‌های تجربی و با تلفیق ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی انجام شده است. نقاط لغزشی و عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها را شناسایی کردند و میزان تأثیر هر عامل در روند مقایسات زوجی را به دست آوردند. سپس، با ضرب وزن هر معیار در شاخص آن برای هر منطقه و جمع این وزن‌ها، میزان رقم M را محاسبه کردند. عوامل سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، شیب، جهت، بارش و ارتفاع به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را بر وقوع حرکت‌های توده‌ای داشتند. نتایج بررسی نقاط لغزش یافته حاکی از آن است که بیش‌ترین لغزش‌ها در عرصه‌هایی با زمین‌ساخت مارن‌های دوره سوم زمین‌شناسی و پس‌از آن در مراتع با وضعیت ضعیف، شیب‌های

۲۰ تا ۴۰ درصد، دامنه‌های شمالی، بارندگی‌های ۵۵۰ تا ۶۵۰ و ارتفاعات ۲۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر به وقوع پیوسته است [۳].
انتظاری و همکاران [۷]، در مطالعه‌ای، اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکت‌های توده‌ای در حوزه آبخیز طالقان، بر اساس مقایسه نقشه نقاط لغزشی با هریک از عوامل مؤثر به کمک روش تجربی حائری-سمیعی کردند. برای این منظور، هفت عامل سنگ‌شناسی، شیب، طول و ساختار گسل، راه رودخانه و بارندگی و میزان رطوبت، شدت بارندگی و تأثیر زمین‌لرزه مورد ارزیابی قرار گرفته شده و مقدار شاخص Hls تمام عرصه مورد مطالعه به شش کلاسه ریسک وقوع حرکات توده‌ای تقسیم شد. نتایج نشان داد، طول گسل، شدت بارندگی و اندازه زاویه شیب، بیش‌ترین تأثیر را در وقوع حرکت‌های توده‌ای خاک داشته و فاکتورهای لیتولوژی و فاصله از راه و رودخانه و هم‌چنین، فاصله از گسل کم‌ترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش‌های حادث شده در طالقان دارند. بر اساس نتایج این تحقیق، میزان بیش از ۶۳ درصد از مساحت حوزه آبخیز طالقان در رده‌های خطر زیاد و بسیار زیاد واقع شده است و فقط حدود ۸ درصد از مساحت این عرصه به‌عنوان اراضی پایدار شناخته شده است. آقایی و همکاران [۱]، در مطالعه‌ای، پس از پهنه‌بندی ریسک وقوع پدیده زمین‌لغزش به کمک مدل ارزش اطلاعات به شناسایی عناصر در معرض خطر از جمله جاده‌ها، حاشیه رودها، مناطق مسکونی و خطوط انتقال نیرو پرداختند. عوامل شیب، جهت، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، میزان بارندگی و ساختار سنگ‌شناسی را به‌عنوان فاکتورهای محرک در نظر گرفتند. نقشه کاربری اراضی را نیز در پنج کلاسه برای کاربری‌های دریاچه، مسکونی، خطوط انتقال نیرو، جاده و رودخانه تهیه و بر اساس نظر کارشناسی به ترتیب با اعداد یک تا پنج وزن‌دهی کردند. نشان دادند، از میان عناصر در معرض خطر، بیش‌ترین خطر متوجه دریاچه، روستاها و خطوط انتقال نیرو می‌باشد، هم‌چنین، آبراهه‌ها و جاده‌ها نیز کم‌ترین میزان خطرپذیری را به خود اختصاص داده بودند.

روش‌های کمی

در مطالعه‌ای دیگر، مشکوتی و همکاران اقدام به ارزیابی مقایسه‌ای عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در دو مقیاس مکانی در حاشیه دریاچه سد طالقان کردند تا تأثیر فاصله از دریاچه بر وقوع این رخداد را اندازه‌گیری کنند. برای این کار، پهنه‌بندی ریسک وقوع رخداد زمین‌لغزش برای دو حدفاصل ۴۵۰ و ۱۵۰۰ متری از دریاچه سد طالقان به کمک روش آماری رگرسیون چند متغیره انجام شده بود. نتایج نشان داد، عامل فاصله از دریاچه، در محدوده بزرگ تأثیری در لغزش‌ها نداشته، درحالی‌که با نزدیک شدن به دریاچه این عامل اثر خود را بیش‌تر نشان می‌دهد. در واقع، دریاچه دارای تأثیر محلی است و عمدتاً تا شعاع ۲۰۰ متری بیش‌ترین اثر را نسبت به سایر عوامل مؤثر دارد [۱۳].

خالدی و همکاران [۱۱]، در مطالعه‌ای، پس از پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای، چگونگی جهت تأثیر عوامل محرک زمین‌لغزش را

به‌عنوان متغیر وابسته مورد بررسی قرار دادند. در این راستا ضرایب مثبت حاصل در مدل آماری رگرسیون لجستیک برای هر عامل و یا هر طبقه به معنای تأثیر مستقیم و ضرایب منفی به معنی تأثیر وارونه می‌باشد. در روش رگرسیون لجستیک، بر اساس وجود یا عدم وجود لغزش در یک نقطه، احتمال وقوع زمین‌لغزش را با متغیر P که مقدار آن بین صفر و یک است، مطرح می‌شود که مبنای درجه‌بندی خطر در هر نقطه است. در این مطالعه، پهنه‌بندی با عوامل زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، ارتفاع، شیب، جهت و تراکم شبکه زهکشی صورت گرفته است. پس از نرمال‌سازی وزن‌های مثبت و منفی مربوط به عوامل مختلف مؤثر در رویداد زمین‌لغزش معلوم شد که عامل فاصله از گسل با رابطه معکوس، دارای بیش‌ترین تأثیر بوده و پس از آن به ترتیب عوامل فاصله از جاده، تراکم شبکه زهکشی، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی و ارتفاع از سطح دریا در رده‌های بعدی اهمیت قرار دارند. بر اساس نتایج حاصل، کم‌تر از ۱۰ درصد مساحت عرصه در کلاسه‌های خطر کم و خیلی کم، ۱۸ درصد در کلاسه خطر متوسط و بیش از ۷۲ درصد عرصه در محدوده با پتانسیل خطر زیاد و خیلی زیاد واقع شده و حکایت از ناپایداری‌های وسیع در محدوده مورد مطالعه دارد.

قنواتی و همکاران [۱۰]، به منظور پهنه‌بندی ریسک وقوع زمین‌لغزش، از مدلی ترکیبی مبتنی بر منطق فازی استفاده کردند و در پی محاسبه بهترین مقدار متغیر گامای فازی بین مقادیر مختلف و یا عملیات جمع یا ضرب گامای فازی برای پهنه‌بندی در حوزه آبخیز طالقان بودند. در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه طالقان از متغیرهای شیب، سنگ‌شناسی، کاربری زمین‌ها، بارش، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده استفاده شد. نتایج نشان داد، به‌کارگیری مجموعه‌های فازی در کمی کردن و بالا بردن دقت بسیار مؤثر و نسبت به سایر روش‌های کیفی و سلسله مراتبی دقیق‌تر است. هم‌چنین، از میان عملگرهای اعمال‌شده در این پژوهش بر پایه نقشه حاصل از عملگر ضرب فازی در حدود ۲۸ درصد از محدوده مطالعاتی در منطقه پرخطر قرار گرفته است که با توجه به بررسی و تطبیق با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، این مقدار غیرواقعی می‌نماید. با در نظر گرفتن اختلاف فراوان میان نتیجه استفاده از عملگرهای جمع جبری فازی با ضرب فازی و برای دستیابی به نتیجه بهتر از عملگر فازی گاما استفاده شد. پس از اعمال عملگر فازی بین مقادیر صفر و یک، مشخص شد که نقشه حاصل از گامای ۰/۷ دقت بالایی در پهنه‌بندی ریسک زمین‌لغزش دارد. با محاسبه فراوانی نسبی زمین‌لغزش‌های رخ داده و پهنه‌های خطر به‌دست‌آمده مشخص شد که ۳۵/۵ درصد از لغزش‌های رخ داده در پهنه‌های پرخطر نقشه‌های تهیه‌شده با مقدار گامای ۰/۷ واقع شده‌اند که دال بر صحت نتیجه مبتنی بر این مقدار گاما است.

متولی و همکاران در مطالعه‌ای دیگر اقدام به پهنه‌بندی ریسک وقوع زمین‌لغزش توسط چهار مدل آماری رگرسیون چند متغیره، رگرسیون لجستیک، تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی کردند.

سپس، نقشه‌های حاصل را توسط شاخص مجموع کیفیت (Qs) و شاخص دقت (P) مورد ارزیابی مقایسه‌ای قرار دادند. در این مطالعه، پهنه‌بندی خطر با روش‌های مذکور بر اساس معیارهای مؤثر ارتفاع، شیب، جهت، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، تراکم آبراهه، جاده، گسل و بارش و هم‌چنین نقشه پراکنش پهنه‌های لغزش یافته انجام‌گرفته تا نتایج بر اساس شاخص مجموع کیفیت و شاخص دقت مورد ارزیابی قرار گیرند. پس از بررسی نتایج، مشاهده شد که روش رگرسیون لجستیک با مقدار شاخص کیفیت ۰/۲۶ بهترین و بعد از آن روش فازی با گامای ۰/۷ با مقدار ۰/۲۵ دومین کیفیت را برای پهنه‌بندی داشته‌اند. روش‌های رگرسیون چند متغیره و تحلیل سلسله مراتبی هم با مقادیر شاخص کیفیت ۰/۲۴ و ۰/۱۶ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. شاخص دقت نیز روش رگرسیون لجستیک را دقیق‌ترین و هم‌چنین سایر روش‌ها را مطلوب و مؤثر قلمداد می‌کند [۱۶].

اسحاقی و همکاران [۶]، در مطالعه‌ای اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای به‌منظور کنترل تخریب اراضی زراعی و ورود رسوبات به دریاچه سد طالقان کردند. آن‌ها نقشه پهنه‌بندی خطر را با روش آماری رگرسیون چند متغیره و باهدف ارزیابی چگونگی اثر عوامل مؤثر در زمین‌لغزش صورت گرفته، تهیه کردند و ضمن معرفی سازندهای ناپایدار، وضعیت ریسک اراضی با کاربری کشاورزی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها هم‌چنین برای بررسی صحت نتایج، نقشه پهنه‌بندی را به کمک شاخص‌های Q و منحنی ROC مورد اعتبارسنجی قرار دادند.

$$Qs = \sum_{i=1}^n [(Dr - 1)^2 \times 5] \quad \text{رابطه (۱)}$$

به‌منظور ساخت نقشه پهنه‌بندی، شش عامل سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش متوسط سالانه، شکل شیب دامنه و اندازه زاویه شیب به‌عنوان عوامل مؤثر در نظر گرفته شدند. پس از بررسی نقشه‌ها به این نتیجه رسیدند که حوزه آبخیز طالقان، به علت دارا بودن مساحت قابل توجه از مارن‌های دوره میوسن، کوهستانی بوده، داشتن بارش و رطوبت قابل ملاحظه، تغییرات کاربری اراضی غیرمجاز و دست‌درازی به اراضی ملی و هم‌چنین احداث سد طالقان به‌منظور تأمین آب شرب و کشاورزی (اراضی دیم) دارای پتانسیل زیادی برای وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. در این حوضه، ۲۳۵ مورد زمین‌لغزش رخ داده است که این زمین‌لغزش‌ها، خسارات زیادی را به اراضی زراعی و دیگر منابع موجود در حوضه، وارد نموده‌اند. در نهایت، عنوان کردند که عوامل زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و گسل)، بارش و شبکه آبراهه‌ها که جزو عوامل طبیعی مهم در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه هستند، غیرقابل تغییر می‌باشند، این در حالی است که عوامل کاربری اراضی و جاده‌ای که از عوامل مهم انسانی در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه می‌باشند، قابلیت بیش‌تری برای مدیریت دارند.

انتظاری و همکاران [۸]، تعداد شش زیر حوزه آبخیز طالقان را مورد رتبه‌بندی ریسک زمین‌لغزش قرار دادند و ناپایدارترین زیر

حوضه‌ها و مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری‌ها را به کمک الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور (Q) و بر اساس شاخص‌های سودمندی (S) و پشیمانی (R) مورد محاسبه قرار دادند. برای این کار، تعداد شش عامل به‌عنوان مؤثرترین فاکتورهای مؤثر در وقوع ناپایداری‌ها در نظر گرفته شد. سپس، پهنه‌بندی با روش آماری تحلیل سلسله مراتبی با وزندهی به شش عامل مذکور به انجام رسید. نتایج نشان داد، از بین عوامل مؤثر در حساسیت‌پذیری حوضه به لغزش، معیارهای شیب، ارتفاع، تراکم شبکه زهکشی، کاربری اراضی، بارش، نوع خاک و ساختار لیتولوژی دارای اثر فزاینده و دو معیار فاصله از گسل و پوشش گیاهی دارای اثر کاهنده در استعداد حوضه به زمین‌لغزش ارزیابی شدند. پس از وزندهی به عوامل و ساختار نقشه برای زیر حوضه مطالعاتی، مشخص شد که زیر حوضه‌های زیدشت ۱، ۲ و دونوبلید بیش‌ترین مقدار و زیر حوضه‌های شهرک، ناوزیک و حسنجان دارای کم‌ترین مقدار هستند.

سلیمی و فاطمی [۱۹]، در مطالعه‌ای اقدام به پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکت‌های توده‌ای به‌روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی به کمک دو تابع گوسی و پرسپتون کردند و عملکرد هرکدام از عوامل را بر اساس ضریب همبستگی مورد ارزیابی قرار دادند. برای این کار، ابتدا نقشه محدوده لغزش‌ها و نقشه‌های لایه‌های شیب، جهت، زمین‌شناسی، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه آماده و نقشه پهنه‌بندی به روش ارزش اطلاعات جهت قرارگیری به‌عنوان معیار بررسی توابع گوسی و پرسپتون تهیه گردید. سپس، از پهنه‌های خطر موجود به تعداد برابر و به‌صورت تصادفی داده انتخاب شد و برای آموزش و آزمون در اختیار شبکه قرار گرفت. بعدازآن، با استفاده از نمونه‌های آموزشی و آزمون منطقه، بهترین ساختار شبکه‌ها طراحی شد و خطا به کم‌ترین میزان خود کاهش یافت. درنهایت، از مدل طراحی‌شده برای کل منطقه طالقان استفاده شد. در آخر شاخص مطلوبیت برتری توابع مورد استفاده را مورد قضاوت قرار داد. با تحلیل نقشه‌های حاصل از هر دو روش و با مشاهده پارامتر مطلوبیت نقشه‌های حاصل، ملاحظه می‌شود که با هم‌پوشانی مناطق لغزشی آزمایشی با نقشه‌های حاصل، بیش از ۸۰ درصد مساحت آن‌ها در پهنه‌های خطر متوسط تا خیلی زیاد، در هر دو نقشه قرار می‌گیرند که نسبتاً پاسخ خوبی است.

روستایی و همکاران [۱۸] در مطالعه‌ای عوامل مؤثر بر وقوع حرکات توده‌ای را به کمک شاخص آنتروپی شانون شناسایی و خطر وقوع زمین‌لغزش را پهنه‌بندی کردند. آن‌ها همچنین به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع این رخداد پرداختند تا به‌منظور مدیریت دامنه‌های خطرناک و آمایش سرزمین به کار گرفته شود. پهنه‌بندی خطر در آبریز سد طالقان به کمک مدل آنتروپی شانون و بر اساس عواملی از جمله شیب، جهت، ارتفاع، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، شاخص وضعیت توپوگرافیک، شاخص رطوبت، زمین‌شناسی، فاصله از گسل و جاده صورت گرفت. نتایج حاصل از نقشه پهنه‌بندی نشان داد، عوامل جهت شیب دامنه، کاربری اراضی،

ارتفاع، شیب، شاخص پوشش گیاهی و فاصله از رودخانه بیش‌ترین تأثیر را داشته و عوامل شاخص رطوبت، زمین‌شناسی و شاخص وضعیت توپوگرافی در رده‌های بعدی اهمیت قرار گرفته‌اند.

مصفاوی و همکاران [۱۴]، نیز در مطالعه‌ای پیرامون موضوع ریسک بروز زمین‌لغزش، اقدام به پهنه‌بندی خطر وقوع حرکت‌های توده‌ای بر اساس روش آماری مبتنی بر عملگر گامای فازی کردند و عملکرد مقادیر مختلف گاما از ۰/۱ تا ۰/۹ را با توجه به نقاط لغزشی رخ داده، مورد ارزیابی قرار دادند. در این پژوهش، نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت به وقوع زمین‌لغزش با استفاده از روش آماری ترکیبی عملگرهای گامای فازی و بر اساس مقادیر مختلف گاما تهیه شده است. در این راستا، افزون بر لایه پراکنش لغزش‌های به وقوع پیوسته (۷۰ درصد لغزش‌ها برای مدل‌سازی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل)، یازده لایه اطلاعاتی شیب، جهت، ارتفاع، بارش، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، شتاب زمین‌لرزه، حداکثر بارش روزانه، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل و فاصله از جاده مورد استفاده قرار گرفت و به کمک شاخص‌های نسبت تراکم و جمع مطلوبیت نقشه‌های تولیدشده مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد، بر اساس اعتبارسنجی نقشه‌های حاصل با استفاده از نسبت تراکم و جمع مطلوبیت، از بین یازده نقشه حاصل بر اساس مقادیر متفاوت گاما، مدل گامای فازی با گامای معادل ۰/۷ بهترین و مدل جمع گامای فازی ضعیف‌ترین نقشه پهنه‌بندی را ارائه می‌دهد. همچنین، بررسی لایه‌های متفاوت دخیل در پهنه‌بندی نشان داد، طبقات شیب ۳۵ تا ۴۵ درصد، جهات شمال و شمال شرقی، ارتفاع ۱۰۵۰ تا ۱۴۰۰ متر، بارش ۲۸۰ تا ۳۸۰ میلی‌متر، حداکثر بارش روزانه ۵۱ تا ۵۵ میلی‌متر، شتاب زمین‌لرزه ۲۴۲/۰ تا ۲۴۶/۰، فواصل بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ متری از گسل، فاصله ۱۰۰ تا ۲۰۰ متری از آبراهه، فواصل بیش از ۴۰۰ متر از جاده، کاربری زراعی دیم و ساختار سنگ‌شناسی مربوط به رسوبات یخچالی دوره سوم به همراه لایه‌های زیرین ماری، بیش‌ترین تأثیر را در وقوع رخداد زمین‌لغزش دارند و می‌توانند به‌منظور مطالعات آمایش کاربری اراضی و نیز کاهش ریسک وقوع زمین‌لغزش در حوزه آبخیز طالقان مورد استفاده قرار گیرند.

فیض‌اله پور و همکاران [۹]، در مطالعه‌ای دیگر، اقدام به پهنه‌بندی ریسک وقوع حرکات توده‌ای به کمک روش آماری شاخص آنتروپی شانون در حوزه آبخیز طالقان کردند. آن‌ها نتایج را به کمک شاخص‌های مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) مورد ارزیابی قرار داده و میزان مساحت عرصه‌های پرخطر و نسبت آن‌ها از کل عرصه آبخیز طالقان را مورد محاسبه قرار دادند. برای این منظور، وزن عوامل مؤثر در رخداد زمین‌لغزش و وزن هرکدام از طبقات آن بر اساس نتایج مدل و طبق برداشت‌های میدانی از پهنه‌های خطرناک انجام شده و نهایتاً اعتبار مدل توسط شاخص مجموع کیفیت و دقت مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از پهنه‌بندی خطر و تهیه نقشه مشاهده شد که از بین عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، بیش‌ترین وزن به ترتیب متعلق به جهت شیب و ساختار زمین‌شناسی و

کمترین وزن به ترتیب متعلق به پوشش گیاهی و کاربری اراضی است. به عبارت دیگر، می توان گفت که در بین لغزش های رخ داده در طالقان، عامل جهت شیب بیشترین تأثیر و پوشش گیاهی کمترین تأثیر را داشته است. در روند آماده سازی نقشه پهنه بندی، طبقه بندی مجدد پارامترها بر پایه مساحت پهنه های لغزش یافته، صورت گرفته است و مطابق با نقشه نهایی، ۸۶ درصد از مساحت زمین لغزش ها، در سه رده خطر متوسط، پرخطر و بسیار پرخطر قرار گرفت. در راستای صحت سنجی نقشه نیز، شاخص مجموع کیفیت Qs برای آنتروپی شانون برابر با ۲/۳ محاسبه شد. این نشان دهنده صحت و مطلوبیت درخور این روش برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوزه آبریز طالقان بود. هم چنین، شاخص دقت P روش نیز برای مدل آنتروپی سنجیده شد و میزان آن برابر با ۰/۲۴ بود که حاکی از تفکیک پذیری مناسب تر پهنه های خطر در این روش است. ویژگی های محیطی طالقان، ساختار زمین شناسی متنوع این حوضه باعث اختلاف در پایداری و مقاومت سنگ ها و هم چنین تنوع جنس خاک می شود. وجود سازندهای مارنی سست و رسوبات یخچالی در این حوزه آبخیز نقش مهمی در گسترش پهنه های لغزشی دارد. وجود گسل ها در نقش یک عامل ماشه ای، جایی که سایر فاکتورها از جمله شرایط تکتونیکی و توپوگرافیکی، عرصه را در آستانه وقوع زمین لغزش قرار داده اند، بسیار چشمگیر است و تقریباً در تمام مطالعات پوشش داده شده است. با توجه به اینکه در بیش تر موارد لغزش ها معلول فشارهای نئوتکتونیکی هستند، در مناطقی که پراکندگی خطوط گسل بیش تر از سایر نقاط است، می توان شاهد تعدد وقوع حرکات توده ای به خصوص وقوع لغزش ها بود؛ بنابراین، نه تنها عوامل تکتونیکی به طور مستقیم (تحریک سازندهای سست) باعث وقوع لغزش ها می شوند، بلکه به طور غیرمستقیم نیز باعث ناپایداری دامنه ها می گردند. به طور کلی، خطر رویداد زمین لغزش در نواحی که فاصله کمتری از گسل دارند، بیش تر است. شیب و مورفولوژی دامنه ها نیز تأثیر بسیار زیادی در وقوع پدیده زمین لغزش دارد. وجود این عامل به صورت بحرانی نقش تأثیرگذار عوامل دیگر را در حرکات توده ای تشدید می نماید. مطالعات مورد بررسی نشان داد، در یک دامنه یک شکل، با ویژگی های مواد برابر، افزایش شیب دامنه بیشترین ضریب تأثیر را در وقوع حرکات توده ای دارد. جهت شیب دامنه نیز به عنوان یکی دیگر از عوامل مؤثر (متغیر مستقل) در ایجاد حرکات توده ای مدنظر قرار گرفته است. در حالت کلی، دامنه های شمالی و غربی به دلیل برخورداری از برف و رطوبت، نقش مؤثرتری در ایجاد حرکات توده ای ایفا می کنند. تراکم بالای شبکه زهکشی، رطوبت و بارش زیاد و نیز وجود دریاچه سد طالقان از عوامل مهم محرک زمین لغزش، به خصوص در حاشیه رودخانه ها در تمام مطالعات به صورت مؤثر دیده شده است. طی دو دهه گذشته، مطالعات متعددی در زمینه آبخیزداری با موضوعاتی مانند کنترل فرسایش و رسوب و رصد ناپایداری های حاصل از فعالیت های انسانی در حوزه آبخیز طالقان به انجام رسیده است. در

این رهگذر، مطالعات مربوط به ریسک وقوع حرکات توده ای در این آبخیز وسیع با مجموعه ای از روش های مختلف صورت گرفته و نقشه های پهنه بندی سطح خطر وقوع زمین لغزش ارائه شده است. بررسی روند به کارگیری مدل ها نشان می دهد که با گذر زمان، کاربرد مدل های کیفی و یا تجربی جای خود را به مدل های پیشرفته تر کمی و مبتنی بر داده های آماری داده اند. برتری اصلی این مدل ها تکیه کامل آن ها بر داده های کمی به جای قضاوت های کارشناسی است. هم چنین، متخصصان با به کارگیری شاخص های بررسی کیفیت نقشه های حاصل از پهنه بندی و انطباق آن ها با نقشه پراکنش لغزش های طالقان، بر اعتبار روش های کمی یا روش های مبتنی بر تعلیم ماشین مثل شبکه های عصبی و منطق فازی صحت گذاشته و دقت آن ها را مطلوب ارزیابی کرده اند. نتایج این مطالعه گویای آن است که مدل های آماری قابلیت بهتر و کاربرد بیش تر در موضوع پهنه بندی نسبت به مدل های ابتکاری و روش های نیمه کمی داشته اند، ولی این نکته قابل توجه است که سرعت استفاده از روش های مبتنی بر تعلیم ماشین و منطق فازی در ایران و جهان بیش تر بوده و این مهم در مطالعات انجام شده به خصوص طی پنج سال اخیر در حوزه آبخیز طالقان نیز دیده می شود. در مطالعات صورت گرفته برای پهنه بندی با الگوریتم فازی در حوزه آبخیز طالقان، مقدار مؤثر عملگر گامای فازی به عنوان یک متغیر مؤثر در صحت نقشه های پهنه بندی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج تمام تحقیقات بر مطلوبیت رقم ۰/۷ بین ارقام ۰/۱ تا ۰/۹ و عملگر ضرب و جمع فازی به اثبات رسیده است و بر تناسب این مقدار برای استفاده از آن جهت پهنه بندی ریسک وقوع حرکات توده ای در دامنه های جنوبی رشته کوه البرز تأکید شده است.

حوزه آبخیز طالقان از گذشته با عناوین مختلف و مرتبط باهم از جمله بررسی و کنترل روند فرسایش و رسوب و اثر آن بر دریاچه سد طالقان یا تخریب اراضی و از بین رفتن پوشش گیاهی یا بررسی های مرتبط با تغییر کاربری و اثر آن بر حرکات توده ای مورد توجه محققین مختلف بوده و از زوایای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. نکته مشترک قابل توجه در تمام این مطالعات، نقش عوامل انسانی در بروز خطرات و زیان های حاصل از این گونه فعالیت های غیرعلمی و عدم توجه پیمانکاران محترم به اصول کارشناسی است. عواملی از جمله ساختار سنگ شناسی، خاک و وضعیت توپوگرافیک به عنوان عوامل خارج از کنترل بشر در طول زمان، نقش اصلی و کلیدی در وقوع حرکات توده ای داشته است. حال آنکه، فعالیت های انسانی برای امور زیربنایی از جمله احداث سد، جاده ها و خطوط انتقال نیرو و مانند آن، باعث سرعت یافتن وقوع این رویدادها طی زمان معاصر شده است. تغییر کاربری اراضی طبیعی به اراضی کشاورزی و مسکونی، احداث نابجای جاده ها و خطوط انتقال نیرو که غالباً موجب برهم خوردن سیستم زهکشی طبیعی می شوند، از جمله عوامل انسانی قابل کنترل هستند که میزان موفقیت در مدیریت آن با کاهش اثرات مخرب زمین لغزش ها رابطه

Plan in Kohgiluyeh and Boyerahmad Province Using Haeri-Sami Model. Quantitative Geomorphological Research, 7(4): 176-196. (In Persian).

6. Eshaghi, A., Ahmadi, H., Motamedvaziri, B., and Nazari Samani, A.A. 2016. Landslide Susceptibility Mapping in Order to Control the Agricultural Land Degradation (Case Study: Taleghan Watershed). Journal of Water and Soil Resources Conservation, 5(4): 69-79. (In Persian).

7. Entezari, M., Pourzare, M., and Keykhaei, M. 2015. Landslide Risk Zoning Using Haeri-Samii Method (Case Study of Taleghan-Almut Watershed). First International Congress on Earth, Space and Clean Energy. University of Mohaghegh Ardabili.

8. Entezary, M., Khodadadi, F., and Rostami, A. 2016. Assessing the Risk of Landslide in Taleghanrood Watershed Based on Viktor Optimization Algorithm. Journal of Geography and Environmental Hazards, 5(1): 37-54. (In Persian).

9. Feyzolahpour, M., Manafi, M., Khoshraftar, R. 2021. Landslide Hazard Zonation Using of Model Shannon Entropy (Case Study: Taleghan Watershed). Journal of Applied Researches in Geographical Sciences, 21(62): 95-114. (In Persian).

10. Ghanavati, E., Karam, A., and Taghavi Moghdam, E. 2015. Fuzzy Logic Application in Identifying and Mapping of Landslide Hazard: A Case Study: Taleghan Watershed. Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 24(94): 9-16. (In Persian).

11. Khaledi, S., Derafshi, K., Mehrjunejad, A., Gharachahi, S., and khaledi, S. 2012. Assessment of the Landslide Effective Factors and Zonation of This Event Using Logistic Regression in the GIS Environment: The Taleghan Watershed Case Study. Journal of Geography and Environmental Hazards, 1(1): 65-82. (In Persian).

12. Kourkinezhad, M., Ownegh, M., Eslami, M., Kabir, A., and Shafizadeh, E. 2006. Landslide Risk Zoning in Siah Rudbar-Golestan Watershed. The Second National Conference on Watershed Management and Soil and Water Resources Management. Iranian Society of Irrigation and Water Engineering in Kerman.

13. Meshkati, E., Ahmadi, H., Nazari Samani, A., and Davoodi, M. 2016. Comparison of Effective Factors on Landslide Hazard in Two Spatial Scales through Multiple Regressions (Case Study: Taleghan Watershed). Journal

مستقیم دارد. قابل توجه است که بسیاری از ناپایداری‌های رؤیت شده در حاشیه جاده‌های منطقه طالقان در اثر فقدان تعبیه مناسب آبروهای عرضی جاده‌ها حادث شده است که با دقت نظر متخصصان امر و تصمیمات مدیریتی، زیر عنوان پیشگیری از تمرکز رواناب به‌سادگی و با کم‌ترین هزینه قابل کنترل می‌باشند، هم‌چنین، با توجه به بالا بودن میزان بارش در منطقه و سایر عوامل لازم جهت رشد گیاهان توصیه می‌شود در مناطقی که خطرات جانی در کمین افراد جامعه نیست و هم‌چنین پاسخگویی سریع ضروری و مدنظر نیست، توجه بیشتری به روش‌های زیست مهندسی مربوط به پایدارسازی تراشه‌های جاده‌ها با گونه‌های بومی صورت گیرد. توجه به طرح‌های آمایش سرزمین به‌عنوان اسناد بالادستی مدیریت زمین و نظارت مداوم بر روند اجرای آن‌ها می‌تواند علاوه بر جلوگیری از سیر قهقراپی تخریب، بر بهبود وضعیت اراضی طبیعی و غیر آن نقش به‌سزایی داشته باشد. یافته‌های چنین مطالعاتی که در دوره‌های گذشته در این منطقه به انجام رسید، می‌تواند چراغ راه کارشناسان امور ترویج کشاورزی، ادارات منابع طبیعی و محیط‌زیست برای اجرای پروژه‌های آینده باشد تا بتوانند نسبت به کاهش خسارات به آب‌و‌خاک حاصل از انجام امور زیربنایی، تغییر کاربری به‌خصوص تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی و امور کشاورزی، اقدامات مدیریتی مؤثری را به اجرا بگذارند.

منابع

1. Aghaei Araei, A., Hashemi Tabatabaei, S., Salamat, A., and Fatemi Aghda, S.M. 2021. Landslide Hazard and Risk Zonation Maps Procedure in Part of Taleghan Area. Building Engineering and Housing Science, 14(1): 21-29. (In Persian).

2. Ahmadi, S. 2011. Investigation of Quaternary Outcrops of the Taleghan River Watershed as a Quaternary Evidence. The Second Conference on Earth Sciences and the Wedding of Dr. Abdolkarim Gharib, a Pioneer Professor of Iranian Geology. Islamic Azad University, Ashtian Branch.

3. Ahmadi, H., Esmali, A., Feyznia, S., Shariat Jafari, M. 2004. Mass Movements Hazard Zonation with Two Multiple Regression (MR) and Analytical Hierarchy Process (AHP) Methods (Case Study: Germichay Watershed). 56(4): 323-336. (In Persian).

4. Akbari Mahmoud-Abadi, M. 2012. Evaluation of Ecological Potential for the Development of Ecotourism in Taleghan City (Alborz Province) with an Emphasis on Geomorphological Phenomena. MSc. Thesis, Faculty of Humanities, University of Zanjan.

5. Armin, M., Mosaffaie, J., Ghorbannia Kheybari, V., and Khairi, A. 2019. Landslide Zoning and Its Risk Management

17. Rahmani, G., and Taherkhani, A. 2013. Predicting Slide Risks with an Emphasis on the Role of Structural and Seismic Elements (Case Study: Part of Taleghan). *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, 3(1): 145-148. (In Persian).
18. Rostaie, S., Mokhtari, D., and Ashrafi Fini, Z. 2020. Landslide Hazard Zonation in Taleghan Watershed Using Shannon Entropy Index. *Geography and Planning*, 24(71): 125-150. (In Persian).
19. Salimi, N., Fatemiaghda, M., Teshnehlab, M., and Sharafi, Y. 2016. Landslide Hazard Zonation in Taleghan Watershed by Using Intelligent Systems (Gaussian Radial Basis Function and Multilayer Perceptron Artificial Neural Networks). *Journal of Engineering Geology*, 10(3): 3601. (In Persian).
- of Range and Watershed Management, 69(1): 201-210. (In Persian).
14. Mosaffaie, J., Salehpour Jam, A., Sarfaraz, F., and Shadfar, S. 2020. Evaluation of Landslide Susceptibility Zonation applying Fuzzy Gamma Operators in Taleghanroud Watershed of Qazvin Province. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(36): 71-90. (In Persian).
15. Motamed Waziri, B., Sulaimanpur, S.M., and Eshaghi, A. 2015. Earth Mass Movements, Publications of College of Applied Science and the skill of Agriculture, 474 p.
16. Motavali, S., Hosseinzadeh, M.M., Esmaili, R., and Darfashi, K. 2014. Assessing the Accuracy of Multivariate Regression (MR), Logistic Regression (LR), Analysis Hierarchy Process (AHP) and Fuzzy Logic (FL) Methods in Landslide Risk Zoning in Taleghan Watershed. *Quantitative Geomorphological Research*, 4(1): 1-20. (In Persian).



Abstract

Study of the Goals and Methods of Landslide Risk Zoning in Taleghan Watershed during the Last Two Decades

S. A. Hosseini¹, A. H. Khetkeh^{2*} and M. Salimi³

Received: 2022/12/05 Accepted: 2023/03/04

Landslides are one of the most important factors in the destruction of watersheds. The frequency of landslides is higher in sloping and wet slopes consisting of sensitive formations or due to human activities. Taleghan watershed is known as one of the most prone landslides in the southern slopes of Alborz mountain range, despite the significant area of Miocene marls and high natural humidity due to high density of drainage network and construction of Taleghan dam. A review of the records of studies related to the Taleghan watershed shows that older studies have been done with simple and qualitative tools and based on the experiences of experts, while today these methods have given way to quantitative statistical studies and methods based on machine learning. The evolution of landslide risk zoning tools in Taleghan also demonstrates this importance. In this study, while reviewing the research objectives, we have reviewed the application of methods over the past two decades and after reviewing 15 separate research articles, the evolution of landslide risk zoning tools in the Taleghan watershed has been investigated. The results showed that statistical models were better and more applicable than innovative models and qualitative and semi-quantitative methods, but it is noteworthy that the speed of using methods based on machine training and fuzzy logic was higher and This result is clearly seen in studies conducted in this basin (especially during the last five years).

Keywords: Natural hazards, Mass movements, Soil protection, Taleghan dam, Technical building.

1. Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.

2 *. Ph.D. student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, (*Corresponding Author). Email: amir.khetkeh@ut.ac.ir

3. Ph.D. student of Forest Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Tehran.