نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره۶۲، پاییز ۱۴۰۰

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبریز طالقان)

دریافت مقاله: ۹۷/۶/۲۵ **پذیرش نهایی**: ۹۸/۲/۱

صفحات: ۱۱۴-۹۵

مهدی فیض اله پور: استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران[۱]
Email: feyzolahpour@znu.ac.ir
مرضیه منافی: دانشجوی کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
Email: manafimarzieh@gmail.com
رضا خوشرفتار: استادیار گروه جغرافیا، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
Email: m_mehdi_s2004@yahoo.com
یونس خسروی: استادیار گروه محیط زیست، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان، ایران
Email: khosravi@znu.ac.ir

چکیده

مرور خسارات ناشی از زمین‌لغزش، لزوم بررسی عوامل تأثیرگذار بر وقوع این پدیده و پیش‌بینی رخداد آن را به اثبات می‌رساند. به این منظور، هدف از پژوهش حاضر بهبود نتایج پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از تئوری آنتروپی شانون می‌باشد. از میان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، ده عاملِ ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، گسل، جاده، بارش به‌عنوان متغیرهای مستقل و پهنه‌های لغزشی به‌عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از اندکس آنتروپی، برای هر یک از این عوامل با توجه به میزان اثرگذاری آن‌ها، وزن دهی صورت گرفته و نقشه ارزش هر پارامتر با توجه به وزن آن، تهیه شد. در مرحله بعد، با استفاده از تلفیق این نقشه‌ها با نقشه پراکنش لغزش‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر برای حوضه مورد مطالعه ترسیم شد. پس از محاسبه شاخص آنتروپی شانون مشخص شد، ۸۶ درصد از مساحت زمین‌لغزش‌ها در سه رده خطر متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر قرار دارند. هم‌چنین، شاخص مجموع کیفیت (Qs) در این روش برابر با ۲/۳ به دست آمد که بیانگر صحت و مطلوبیت بیشتر این روش جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان است. میزان شاخص دقت روش(P) نیز، برای مدل آنتروپی، برابر ۰/۲۴ بود که نشان از تفکیک‌پذیری مناسب‌تر پهنه‌های خطر در این روش دارد.

کلید واژگان: زمین‌لغزش، آنتروپی شانون، پهنه‌بندی خطر، پیش‌بینی، طالقان

۱. نویسنده مسئول: زنجان، دانشگاه زنجان، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا. شماره تلفن: ۰۹۱۴۱۵۳۵۲۶۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

مقدمه

امروزه توجه به پدیده زمین‌لغزش، پیش‌بینی، شناسایی، کنترل و کاهش خطرات ناشی از آن به‌عنوان یکی از اشکال حوادث غیرمترقبه امری ضروری است. زمین‌لغزش پدیده‌ای است که به عوامل مختلفی چون شیب، زمین‌شناسی، بارندگی، پوشش گیاهی و زلزله بستگی دارد و همانند زمین‌لرزه و شاید در بعضی کشورهای جهان بیشتر از پدیده زمین‌لرزه، خسارات فراوانی را در زمینه‌ی جانی و مالی و منابع طبیعی در پی داشته است. اگرچه اطلاعات دقیقی در مورد خسارات ناشی از زمین‌لغزش و بی‌ثباتی شیب در بسیاری از کشورهای جهان وجود ندارد، بااین‌حال همه‌ساله خسارت جانی و مالی فراوانی در مناطق کوهستانی، پرباران و لرزه‌خیز به همراه دارد.

در ایران نیز زمین‌لغزش یکی از شایع‌ترین رخدادهای مخاطرات طبیعی است که جان و مال مردم را تهدید می‌کند و سالیانه موجب میلیون‌ها دلار خسارت می‌گردد. ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی و شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی از شرایط طبیعی ایجاد کننده طیف وسیعی از زمین‌لغزش‌ها برخوردار است. بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق زمین‌لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود (رنجبر و احمدی[1]، ۲۰۱۳: ۳۱۹۱). در مناطق مختلف که دارای سازند ریزدانه باشند، مشاهده می‌گردد که یکی از نمونه های آن را می‌توان در حوضه آبخیز طالقان به‌خصوص در منطقه شهرک مشاهده نمود. البته باید توجه داشت که زمان وقوع لغزش، احتمالاً جدید نبوده و مربوط به دوره چهارم بوده باشد؛ زیرا در آن دوره آب‌وهوا به‌مراتب مرطوب‌تر و نزولات آسمانی ۳ تا ۴ برابر، بیشتر از امروز بوده است. ولی لغزش‌های جدید را نیز می‌توان در آن مشاهده نمود.

با توجه به نگرانی‌های مطرح در زمینه‌ی وقوع زمین‌لغزش و آثار مخرب آن، شناسایی و پهنه‌بندی نواحی لغزش خیز، اهمیت بسیاری دارد. انتخاب روش مناسب برای پهنه‌بندی موجب صرفه‌جویی در زمان و کاهش هزینه‌ها می‌گردد. تاکنون، روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه‌شده که هر یک از آن‌ها بسته به شرایط منطقه مورد مطالعه، دقت و صحت متفاوتی داشته‌اند. بنابراین برای شناخت مناطق لغزش خیز و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر، باید مناسب‌ترین و دقیق‌ترین روش را با توجه به عوامل تأثیرگذار در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه، انتخاب نمود. در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی برای زمین‌لغزش مورداستفاده قرارگرفته است (لی و پرادان[2]، ۲۰۰۶: ۳۸). هم‌چنین برای ارزیابی حساسیت یک منطقه به زمین‌لغزش، روش‌های محلی و منطقه‌ای مختلفی از قبیل روش تحلیل سلسله‌مراتبی[3]، انواع رگرسیون‌ها، منطق فازی و آنتروپی شانون استفاده‌شده است. یکی از روش های مطلوب در این زمینه روش آنتروپی شانون می باشد.

وان[4] (۲۰۰۹) با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیریِ فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین‌لغزش، جهتِ تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در تایوان پرداخت و از مدل آنتروپی برای بخش‌بندی و برطرف کردن عدم قطعیت عوامل مختلف زمین‌لغزش استفاده کرد. بدناریک[5] و همکاران (۲۰۱۰) به‌منظور ارزیابی حساسیت

1- Ranjbar & Ahmadi
2- Lee and Pradhan
5- Analytical Hierarchy Process (AHP)
4- Shiuan Wan
5- Bednarik

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

زمین‌لغزشِ بخش‌هایی از کشور اسلوونی، از آنالیز آماری دومتغیره و شاخص آنتروپی استفاده کردند. نتایج ارزیابی با استفاده از منحنی ROC، بیانگر دقت خوب مدل (۷۰ درصد) است. کنستانتین[1] و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش حوزه آبخیز سیبسیو[2] کشور رومانی، از آنالیز آماری دومتغیره و شاخص آنتروپی شانون استفاده کردند. نتایج نشان داد که کاربری اراضی و لیتولوژی بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین‌لغزش منطقه است. فلیسیمو[3] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از چهار تکنیک آماری رگرسیون لجستیک چندگانه، رگرسیون تطبیقی چندمتغیره، رگرسیون درختی و آنتروپی، به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در اسپانیا پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که با افزودن متغیر لیتولوژی، عملکرد مدل‌ها قابل‌قبول‌تر است و مدل‌های آنتروپی و رگرسیون طبقه‌ای، قابلیت پیش‌بینی بهتری نسبت به دو مدل دیگر را دارا می‌باشند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) به پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در تاقدیس نسارِ زاگرس شمال غربی پرداختند. دقت‌سنجیِ نقشه پهنه‌بندی نهایی با زمین‌لغزش‌های رخداده در منطقه، نشان داد که ۳ زمین‌لغزش یعنی ۳۳/۳۳ درصد زمین‌لغزش‌های رخداده، در پهنه خطر متوسط و ۶۶/۶۶ درصد آن‌ها در پهنه خطر بالا واقع‌شده‌اند و در منطقه کم‌خطر، لغزشی رخ نداده که این امر، نشان از کارایی مطلوب مدل آنتروپی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارد. پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۲) به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن، با استفاده از شاخص آنتروپی شانون پرداختند. این مطالعه بر روی بخش شمالی شهر تهران صورت گرفت و در آن، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی، ۵۴۸ نقطه لغزش شناسایی و نقشه پراکنش آن‌ها در محیط نرم‌افزار ARC GIS تهیه گردید. عوامل مؤثر بر این لغزش‌ها شامل محاسبه ۱۷ پارامتر بود که درنهایت، نتایج نشان داد ۴ عامل بیشترین تأثیر و دو عامل کمترین تأثیر را در لغزش‌های منطقه دارند. حسین پور و عباسپور (۱۳۹۳) به بررسی نتایج پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش، با استفاده از مدل آنتروپی شانون پرداخته و به این نتیجه رسیدند که مدل مذکور، برای تصمیم‌گیری و مدیریت کاربری زمین قابل‌استفاده و بسیار مناسب است. محمدخان و همکاران (۱۳۹۳) به پتانسیل سنجی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، در منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب غرب استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد از مجموع مساحت منطقه، ۳۲ درصد در محدوده خطر زیاد و ۴۸/۸۴ درصد در پهنه خطر متوسط قرار دارد. این امر حاکی از آن است که خطر وقوع زمین‌لغزش در منطقه بالا است. تیموری و همکاران (۱۳۹۶) نواحی حساس به وقوع لغزش را در حوضه آبخیز چهاردانگه (مازندران) با استفاده از روش آنتروپی شانون پهنه‌بندی کردند. ارزیابی نقشهٔ حساسیت تهیه‌شده با استفاده از منحنی راک[4]، بیانگر دقت خوب مدل آنتروپی برای منطقه‌ی مورد مطالعه بود.

این پژوهش سعی دارد پس از شناسایی مناطق لغزش خیز حوضه آبریز مورد مطالعه، به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه، با مدل جدید آنتروپی شانون[5] بپردازد.

1- Constantin
2- Sibiciu
3- Felicisimo
4 - ROC
5- Shannon entropy

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

طالقان از طریق دو جاده به آزاد راه تهران- کرج متصل می‌شود. جاده اول از نیروگاه شهید رجایی بعد از آبیک منشعب می‌شود. جاده دوم، بین آبیک و قزوین، از آزادراه منشعب شده و از طریق روستاهای پایین طالقان به میان طالقان می‌رسد.

طالقان رود، رودخانه اصلی منطقه و سرشاخه اصلی رودخانه شاهرود می‌باشد که دارای حوضه آبریز مرتفع و کوهستانی است. که از دامنه‌های کهار سرچشمه می‌گیرد و در منطقه با جهت شمال شرقی- جنوب غربی جریان پیدا می‌کند. شاخه‌های 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 ابتدائی رودخانه از روستای گراب شروع و در جهت شرق به غرب جریان می‌یابد و پس از گذشتن از روستاهای دراپی، گته ده، دهدر، جوستان، نساء علیا، منگلان، سفچ خانی، گوران، اوانک و پرده سر و مشروب کردن زمین‌های این روستاها وارد شهرک طالقان می‌شود و در غرب شهرک و پایین‌تر از گلینک وارد سد طالقان می‌شود. طول این رودخانه ۱۰۵ کیلومتر بوده و حوضه آبریز آن حدود ۲۰۰۰ کیلومترمربع وسعت دارد. شکل (۱).

تقریباً تمام پهنه‌ی شهرستان طالقان دارای کاربری طبیعی است که شامل کشاورزی، باغات، مرتع و جنگل می‌شود و بخش بسیار اندکی از آن، کاربری نواحی شهری را داراست. این نوع کاربری‌های سازگار با محیط طبیعی، باعث شده تغییرات کمی در کاربری‌ها در طی زمان‌بر پهنه‌های شهرستان طالقان اعمال شود. 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 تخریب محیط طبیعی به حفظ اکوسیستم و کاربری متناسب با آن کمک شود(احمدی، ۱۳۹۰: ۵۸). شکل (۲).

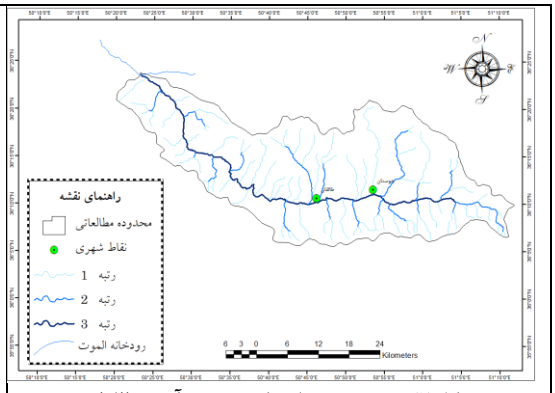
به دلیل اختلاف ارتفاع زیاد، توپوگرافی، ژئومورفولوژی و زمین‌شناسی متنوع و گوناگون، پوشش گیاهی در این منطقه بسیار متنوع و متغیر بوده و به شدت از توپوگرافی، سنگ مادر و اقلیم تبعیت می‌نماید. به‌طورکلی می‌توان گفت علیرغم مساعدت اقلیمی منطقه برای تولید علوفه مرتعی و پرورش گونه‌های مرغوب علوفه‌ای، دخالت‌های ناروای انسان از طریق بهره‌برداری مفرط و بی‌رویه از مراتع منطقه در زمان‌های گذشته موجب گردید که گونه‌های مرغوب ازنظر تراکم و ترکیب رو به کاهش نهاده و در عوض گونه‌های نامرغوب توسعه‌ی بیشتری یابند و حتی در برخی نقاط گونه‌های مهاجم سهم عمده‌ای در ترکیب فعلی پوشش گیاهی به خود اختصاص می‌دهند. شکل (۳). باوجود این هنوز هم گونه‌های مرغوب و بخصوص گراس‌های دائمی در اکثر نقاط حضور دارند و با مساعدت شرایط طبیعی منطقه توانسته‌اند به زندگی خود در این حوضه ادامه دهند و یا حتی در قسمت‌هایی از مراتع که فشار چرای کمتری را تحمل نموده‌اند، توسعه یابند(اکبری، ۱۳۹۱: ۷۶).

حوضه آبریز طالقان در ۷ طبقه ارتفاعی نمایش داده‌شده است شکل(۴). این طبقات ارتفاعی به‌صورت ۵۰۰ متر افزایش می‌یابد. قسمت سراب حوضه، در طبقه ارتفاعی ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متری قرار دارد. نقشه شیب حوضه آبریز طالقان در ۹ کلاس طبقه‌بندی شده است که ماهیت و مفاهیم این شیب‌ها به‌طور مختصر موردبررسی قرار می‌گیرد شکل(۲). بیشترین میزان شیب در حوضه آبریز طالقان به طبقه هفتم با مقدار ۲۰-۳۰ درصد اختصاص دارد که ۳۸/۵ درصد از مساحت حوضه را شامل می‌شود. این میزان شیب در بخش‌های شمالی حوضه و شرق

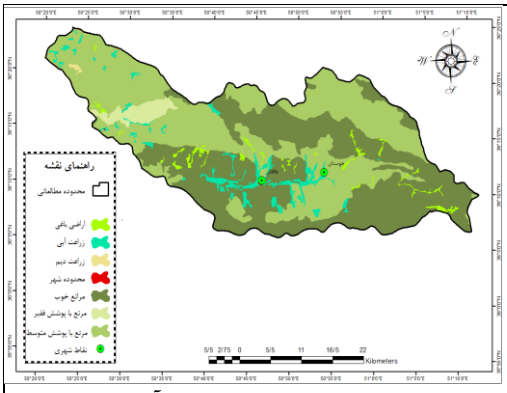
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

آن قابل‌مشاهده می‌باشد. برای مشخص شدن شکل واحدهای زمین به تهیه نقشه‌ی جهت شیب نیاز است شکل(۵). همان‌طور که در شکل(۶) مشاهده می‌شود، دامنه‌های بخش‌های شمالی حوضه به جهت جنوب شرق، جنوب و جنوب غرب است و دامنه‌های جنوبی غالباً به جهت شمال و شمال شرق است. از منظر زمین‌شناسی طالقان منطقه‌ای کوهستانی، متشکل از یک سری چین و راندگی غربی- شرقی است که به‌سوی شمال و جنوب، به روی‌هم رانده‌شده‌اند و منطقه را به پهنه‌های مشخصِ محصورشده توسط گسل‌ها تقسیم می‌کنند شکل(۷). از میان ساختمان‌های مختلف زمین‌شناسی، گسل‌ها وضعیت مشخص‌تری داشته و اهمیت بیشتری در شکل‌گیری وضع کنونی منطقه داشته‌اند شکل(۸).

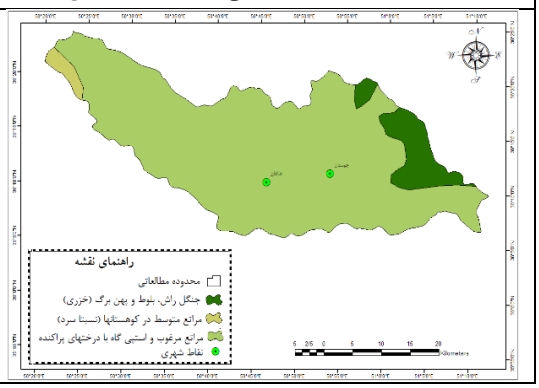
در واقع، منطقه طالقان در امتداد کمربند آلپ-هیمالیا قرار گرفته است. این امر از طریق توجه به زمین‌لرزه‌های تاریخی قابل‌اثبات است. با توجه به این‌که بسیاری از لغزش‌ها در امتداد دامنه‌های زمین ساختی جوان و گسل فعال رخ می‌دهد، می‌توان به ارتباط رانش زمین و روند گسل دست‌یافت. مطالعات در منطقه طالقان نیز نشان می‌دهد که حدود ۷۰ درصد از رانش‌های زمین در امتداد گسل می‌باشد، همین‌طور گویای این واقعیت است که زمین‌لرزه از عناصر اصلی در زمین‌لغزش است (رحمانی و طاهرخانی، ۲۰۱۳: ۱۴۶). ازنظر سازند نیز به دلیل این‌که مساحت قابل‌توجهی از حوزه طالقان روی مارن های میوسن قرار دارد، بسیار مستعد برای زمین‌لغزش است. ایجاد سد و دریاچه سد نیز سبب نفوذ رطوبت زیاد به داخل خاک اراضی حاشیه سد شده و سبب ناپایداری زمین در این منطقه گشته است (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۴).

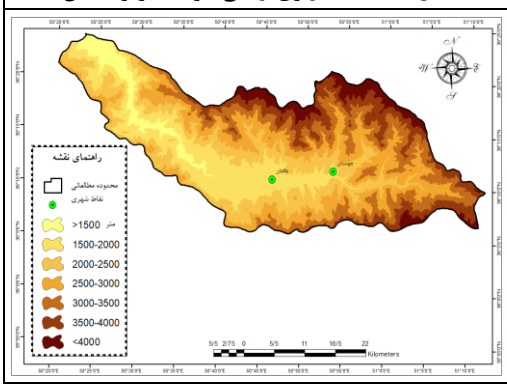


شکل(۱). نقشه هیدرولوژیکی حوضه آبریز طالقان



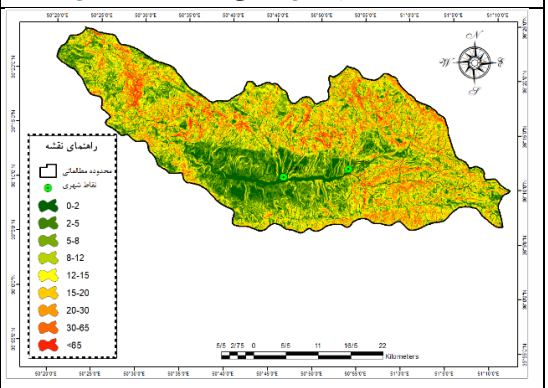
شکل(۲). نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز طالقان



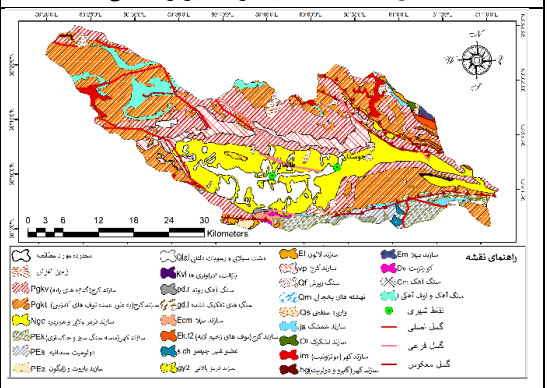


[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

شکل(۳). نقشه پوشش گیاهی حوضه آبریز طالقان

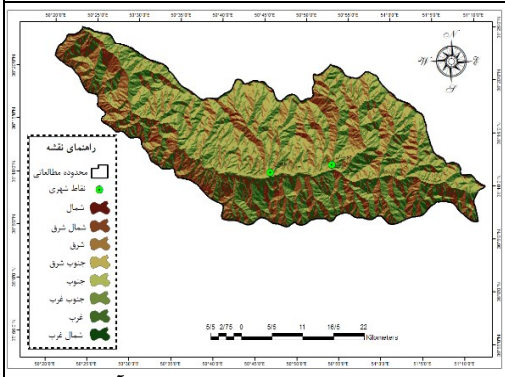


شکل(۵). نقشه شیب حوضه آبریز طالقان

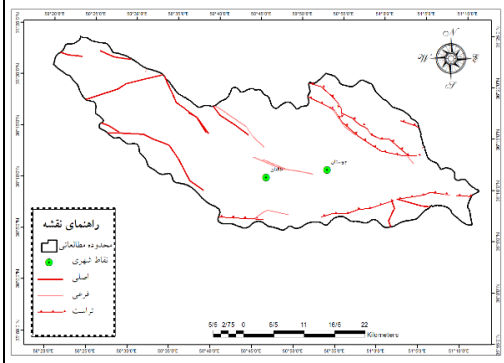


شکل(۷). نقشه زمین‌شناسی حوضه آبریز طالقان

شکل(۴). نقشه طبقات ارتفاعی حوضه آبریز طالقان



شکل(۶). نقشه جهات جغرافیایی شیب حوضه آبریز طالقان



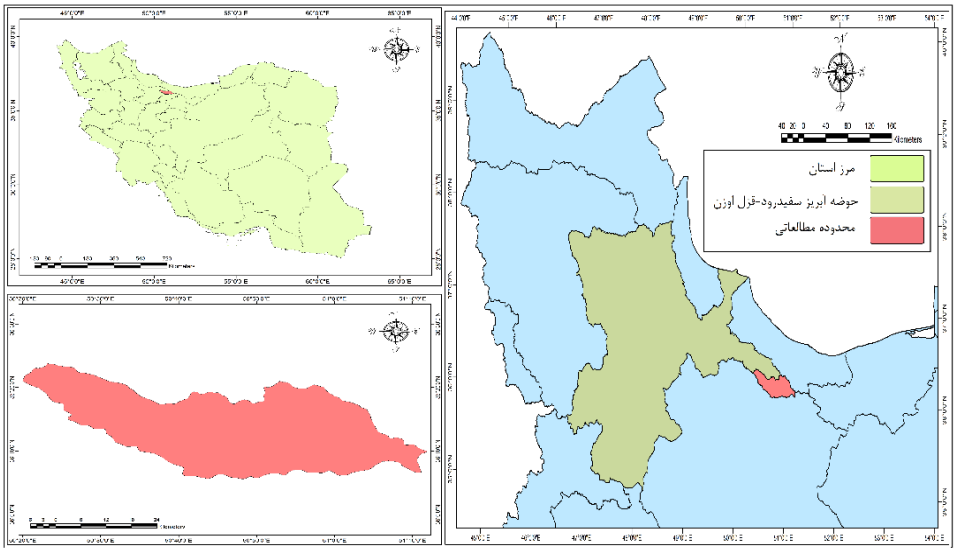
شکل(۸). نقشه پراکنش گسل‌های حوضه آبریز طالقان

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز طالقان با مساحتی معادل ۱۳۳۶ کیلومترمربع یکی از زیر حوضه‌های مهم سفیدرود به شمار می‌رود که در دامنه جنوبی رشته‌کوه‌های البرز و در بخش شمال غربی استان تهران و در ۱۲۰ کیلومتری از این شهر واقع‌شده است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز الموت، از جنوب به زیاران و صمغ‌آباد، از شرق به بخشی از حوضه آبریز کرج و از غرب به حوضه آبریز شاهرود محدود می‌شود. این حوضه در ′۵ °۳۶ تا ′۲۳ °۳۶ عرض شمالی و ′۲۱ °۵۰ تا ′۱ °۵۱ طول شرقی قرار دارد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۶۷۰ متر از سطح دریا است. بر مبنای دوره آماری ۱۰ ساله ایستگاه‌های سینوپتیک کرج و هشتگرد و ایستگاه‌های باران‌سنجی جزنیان، میانگین بارش سالانه حوضه آبریز طالقان ۵۱۵/۱۶ میلی‌متر و دمای سالانه آن ۱۰/۵ درجه سانتی‌گراد است که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتین، آب‌وهوای حوضه در طبقه نیمه مرطوب قرار می‌گیرد شکل(۹) (خالدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۰).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]



شکل(۹). نقشه موقعیت حوضه آبریز طالقان منبع: (نویسندگان)

داده و روش کار

در این تحقیق پس از تعیین عوامل مؤثر بر وقوع لغزش در محدوده مورد مطالعه، با استفاده از اندکس آنتروپی، برای هر یک از این عوامل با توجه به میزان اثرگذاری آن‌ها، وزن دهی انجام گرفته و در جدول(۱) نمایش داده شده و سپس، نقشه ارزش هر پارامتر با توجه به وزن آن، تهیه شد. در مرحله بعد، با استفاده از تلفیق این نقشه‌ها با نقشه پراکنش لغزش‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر برای حوضه مورد مطالعه ترسیم شد. آنتروپی، یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم مورداستفاده قرار می‌گیرد. تئوری مذکور اولین بار توسط استفان بولتزمن (اصل دما پویا یا ترمودینامیک) مطرح و نهایتاً توسط شانون(۱۹۴۸) به‌صورت کمی ارائه شد.

از آنجایی‌که در پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش، بسته به شرایط منطقه معمولاً فاکتورهای مختلفی تأثیرگذار بوده و هم‌چنین در تعیین میزان خطر با استفاده از مدل‌های آماری دومتغیره و احتمالاتی نظیر بیزین[۱] تمامی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش وزن یکسانی دارند لذا چنان چه یکی از عوامل تأثیر بیشتری داشته باشد، میزان اثر آن نادیده گرفته می‌شود. بنابراین تئوری مذکور می‌تواند به‌عنوان یک رویکرد مدیریتی تأثیر بسزایی در شناسایی عوامل مؤثر و میزان تأثیرگذاری آن‌ها داشته باشد. به‌طورکلی به‌منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و تهیه نقشه حساسیت پذیری آن با استفاده از روش مذکور از روابط(۱ تا ۴) استفاده گردید.

2- Bayesian

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

$$pij = \frac{n}{a},$$ رابطه (۱)

$$Eij = -(pij \log pij),$$ رابطه (۲)

$$Ej = \sum (pij \log pij),$$ رابطه (۳)

$$Wj = {Di}/{\sum Di},$$ رابطه ۴

در رابطه(۱)، Pij، میزان احتمال هر زیرکلاس از کلاس، n تعداد پیکسل های هر زیرکلاس از پارامترها و a تعداد کل پیکسل های منطقه مورد مطالعه، است. در جداول(۲ و ۳) محاسبات مربوط به هر پارامتر آورده شده که در آن، Eij، مقدار آنتروپی برای هر رده و مقادیر

ستون E_j بیانگر آنتروپی هر یک از پارامترها است. در گام بعد، عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (Di) که از کسر E_j از عدد ۱ به دست می‌آید، محاسبه شده و درنهایت با استفاده از رابطه(۵) وزن نهایی (w_j) هر یک از پارامترهای استفاده شده، در ماتریس آنتروپی حاصل می‌شود (حسین پور و عباسپور، ۱۳۹۳: ۲۵۸؛ محمدخان و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۴).

لازمه تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش این است که نقاط لغزش در محدوده مورد مطالعه، با عوامل مؤثر بر وقوع آن‌ها تلفیق شوند. بر همین اساس، برای ترسیم نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز طالقان، گام نخست، تهیه لایه‌ی زمین‌لغزش‌های منطقه بود. در پایان، به‌منظور سنجش دقت و کیفیت مدل آنتروپی، دو شاخص "مجموع کیفیت" و "دقت روش" برای آن محاسبه شد. در صورتی‌که در منطقه‌ای چند نقشه خطر تهیه شده باشد، با استفاده از مقدار مجموع کیفیت (Qs) یا جمع کیفی می‌توان نقشه‌های با دقت بیشتر و صحیح تر را شناسایی نمود. یک نقشه خطر مناسب، نقشه ای می‌باشد که بهترین جدایش را بین مناطق با تراکم بالای زمین‌لغزش و مناطق با تراکم پایین زمین‌لغزش ایجاد نماید. برای تعیین مجموع کیفیت، لازم است ابتدا نسبت تراکمی محاسبه گردد. که این محاسبه در قالب رابطه(۵) صورت می‌پذیرد.

$$Dr = \frac{\frac{Si}{Ai}}{\frac{\sum Si}{\sum Ai}},$$ رابطه (۵)

در رابطه(۵)، Si، مساحت زمین‌لغزش‌های واقع در هر رده خطر و Ai، مساحت iمین رده خطر در یک نقشه پهنه‌بندی می باشد.

تراکم زمین‌لغزش در نقشه‌های خطری که به‌طور صحیح تهیه شده‌اند، از رده های خطر کم تا رده های پرخطر به‌صورت صعودی است. در یک روش پهنه‌بندی، تراکم لغزش رده با $DR = 1$ معادل با "متوسط تراکم لغزش" در کل منطقه و رده دارای نسبت تراکمی ۲، دارای تراکم لغزشی معادل با "دوبرابر تراکم لغزش" منطقه است. بنابراین هرچه تفکیک بین رده های خطر به‌وسیله‌ی شاخص نسبت تراکم، بهتر صورت گرفته باشد، روش، دارای دقت یا مطلوبیت بیش تری می‌باشد. مقدار مجموع کیفیت (Qs) که از طریق رابطه(۶) محاسبه می‌گردد، نشان‌دهنده صحت یا مطلوبیت عملکرد روش در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش منطقه است.

$$QS=\sum((Dr-1)^2 \times S)$$ رابطه (۶)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

در رابطه(۶) Qs، مجموع کیفیت، DR، نسبت تراکم و S، نسبت مساحت خطر به مساحت کل منطقه می‌باشد. معمولاً مقدار این شاخص برای روش‌های مختلف در گستره صفر تا ۷ قرار می‌گیرد. البته از بعد نظری (تئوریک) حدی برای آن وجود ندارد. اختلاف بین مقادیر Qs، کم تر از ۰/۱ در نظر گرفته می شود و مقادیر با اختلاف کم تر از این مقدار تقریباً یکسان لحاظ می گردند. در واقع، Qs از جنس واریانس می‌باشد. انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف اگر به هم نزدیک باشند، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین‌لغزش‌ها در کلاس‌های مختلف، نزدیک به یکدیگر بوده و مقدار Qs نیز پایین می‌باشد و اگر انحراف مقادیر Dr از میانگین در پهنه‌های مختلف زیاد باشد، نشان‌دهنده آن است که تراکم زمین‌لغزش‌ها با یکدیگر تفاوت داشته و درنتیجه مقدار عددی Qs بزرگ می‌گردد. بنابراین در ارزیابی روش‌ها، هرچه مقدار مجموع کیفیت (Qs) در روشی بیشتر باشد، آن روش صحت یا مطلوبیت بیشتری در تفکیک خواهد داشت. شاخص دقت روش (P) نیز عبارت است از نسبت سطح لغزش یافته در پهنه‌های خطر بالا و خیلی بالا به مساحت کل آن پهنه‌ها که از رابطه (۷) به دست می‌آید (متولی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۵، قویمی پناه و همکاران، ۱۳۹۶: ۷۸۳).

$$P=KS/S \qquad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه(۷) P، دقت روش در پهنه‌های دارای خطر متوسط به بالا، KS، مساحت سطح لغزش یافته در پهنه‌های دارای خطر متوسط به بالا و S مساحت پهنه‌های خطر مرتبط است.

نتایج

در این محدوده ۴۹۰ زمین‌لغزش شناسایی و ثبت شده است که در مجموع مساحت آن‌ها ۱۹۵/۷ کیلومترمربع می‌باشد. در گام بعدی، از میان عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش، ده عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، تراکم آبراهه، جاده، گسل و بارش به‌عنوان متغیرهای مستقل انتخاب شدند. پس از طی این مراحل، باید برای هر یک از این عوامل به‌صورت جداگانه در محیط نرم‌افزار Arc GIS، نقشه تهیه می شد. برای تهیه نقشه ارتفاع، شیب و جهت شیب از مدل ارتفاعی رقومی[1] با دقت ۱۰ متر استفاده شد. سپس، برای تهیه نقشه زمین شناسی حوضه آبریز طالقان، از نقشه‌های قزوین- رشت و آمل در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ استفاده گردید. نقشه پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵-TM+۴ (جولای ۲۰۱۰) ترسیم شد. برای آماده سازی نقشه بارش نیز داده‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه آبریز طالقان از سازمان وزارت نیرو (تماب) دریافت شد و در نرم‌افزار Arc GIS به شیپ فایل نقطه ای تبدیل گردیده و پس از آن، با به کارگیری روش کریجینگ معمولی[2]، به سببِ دقت بهتر و خطای کمتر، میانیابی انجام شد و نقشه آن ترسیم گردید. پس از جمع‌آوری داده‌های موردنظر و آماده‌سازی آن‌ها به‌صورت جداگانه و تهیه نقشه‌های مربوط به پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، به‌منظور محاسبه شاخص آنتروپی، لازم بود نقشه‌های

1- Digital Elevation Model
2- Ordinary Kriging

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

تهیه‌شده مربوط به پارامترها به رستر[1] تبدیل شود تا بتوان تعداد پیسکل های هر طبقه، پیکسل های لغزشی و پیکسل های فاقد لغزش را از آن‌ها استخراج کرد. در ادامه، نتایج آن در جدول(۱) آورده شده است.

جدول (۱). اطلاعات برگرفته از پارامترهای مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	درصد پیکسل فاقد لغزش	تعداد پیکسل فاقد لغزش	درصد پیکسل لغزشی	تعداد پیکسل لغزشی
ارتفاع (متر)	۱۰۶۰ -۱۵۰۰	۲۴۹۸۵۸	۲	۲۴۷۴۲۰	۰/۱۲	۲۴۳۸
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۲۵۳۵۲۰	۱۸	۲۰۴۵۶۵۸	۱۰/۶۲	۲۰۷۸۶۲
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۴۵۲۴۲۸۳	۳۳	۳۸۰۵۹۲۰	۳۶/۷	۷۱۸۳۶۳
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۷۷۲۸۱۰	۲۸	۳۱۷۱۳۷۲	۳۰/۷	۶۰۱۴۳۸
	۳۰۰۰ -۳۵۰۰	۱۸۷۴۸۹۵	۱۳	۱۵۳۳۰۷۴	۱۷/۴	۳۴۱۸۲۱
	۳۵۰۰ -۴۳۶۵	۵۸۲۷۳۵	۵	۴۹۷۰۷۸	۴/۳	۸۵۶۵۷
شیب (درجه)	۰-۵	۴۹۰۵۱۸	۴	۴۵۳۵۱۲	۲/۵	۵۰۴۹۳
	۵-۱۲	۱۷۵۶۹۶۲	۹/۲	۱۰۴۴۴۷۲	۹/۵	۱۸۶۵۳۶
	۱۲-۲۰	۳۴۵۴۹۸۲	۱۵/۴	۱۷۴۸۲۱۵	۱۷/۶	۳۴۴۹۳۰
	۲۰-۳۰	۴۹۸۹۵۶۸	۳۱/۱	۳۵۲۳۵۱۶	۳۲/۴	۶۳۵۳۸۰
	۳۰-۴۰	۲۳۸۱۷۹۹	۲۹/۲	۳۳۰۰۱۳۹	۲۷/۷	۵۴۲۵۹۵
	۴۰-۷۹	۱۸۱۴۱۳	۱۰/۸	۱۲۳۰۶۶۸	۱۰	۱۹۷۴۴۶
جهت شیب	N	۱۵۴۵۲۴۲	۱۱/۷	۱۳۳۲۱۹۷	۱۰/۸	۲۱۳۰۴۵
	NE	۱۶۳۴۲۰۷	۱۲/۶	۱۴۲۳۶۷۳	۱۰/۷	۲۱۰۵۳۴
	E	۱۴۹۵۲۱۱	۱۱/۴	۱۲۹۴۷۷۷	۱۰/۲	۲۰۰۴۳۴
	SE	۱۵۷۹۰۰۷	۱۲/۲	۱۳۷۹۴۶۲	۱۰/۱	۱۹۹۵۴۵
	S	۱۷۴۵۵۸۳	۱۳/۱	۱۴۸۹۰۷۶	۱۳/۱	۲۵۶۵۰۷
	SW	۱۸۸۰۶۹۹	۱۳/۹	۱۵۸۰۴۱۴	۱۵/۳	۳۰۰۲۸۵
	W	۱۷۵۱۴۳۷	۱۲/۷	۱۴۴۲۶۸۱	۱۵/۷	۳۰۸۷۵۶
	NW	۱۶۲۶۷۱۵	۱۲	۱۳۵۸۲۴۲	۱۳/۷	۲۶۸۴۷۳
کاربری اراضی	زراعی	۴۹۲۵۸	۰/۴	۴۹۲۴۶	۰	۱۲
	باغ	۱۷۶۱۱۸	۱/۳	۱۴۷۴۵۳	۱/۴۶	۲۸۶۶۵
	مرتع خوب	۸۵۹۹۵۱	۹/۷	۷۶۸۲۵۵	۴/۶۸	۹۱۶۹۶
	ترکیبی (کشاورزی- باغ)	۴۳۶۴۹۶	۳/۲	۳۶۷۲۳۲	۳/۵۴	۶۹۲۶۴
	ترکیبی (کشاورزی- جریانی)	۲۶۷۸۰	۰/۲	۲۶۷۱۸	۰	۶۲
	ترکیبی (باغ- جریانی)	۳۸۳۸۵	۰/۲	۲۶۷۶۰	۰/۵۹	۱۱۶۲۵
	ترکیبی (اراضی دیم- جریانی)	۱۷۸۰۴	۰/۱	۱۷۸۰۴	۰	۰
	ترکیبی (مرتع خوب- جریانی)	۶۱۰۸۴۰۰	۴۴/۳	۵۰۱۱۹۱۸	۵۶/۰۱	۱۰۹۶۴۸۲
	مرتع متوسط	۵۵۳۷۱۰۳	۴۳/۱۶	۴۸۷۷۳۳۰	۳۳/۷	۶۵۹۷۷۳
	مرتع فقیر	۱۲	۰	۱۲	۰	۰
	ساخته شده	۷۶۹۰	۰/۰۶	۷۶۹۰	۰	۰
تراکم پوشش گیاهی	کم	۸۷۳۵۱۶۶	۶۷/۲۶	۷۵۲۶۱۱۷	۶۱/۷۷	۱۲۰۹۰۴۹
	متوسط	۳۸۵۱۵۹۵	۲۸/۵۲	۳۱۹۱۸۵۹	۳۳/۷	۶۵۹۷۳۶
	زیاد	۵۶۰۸۴۴	۴/۲۲	۴۷۲۱۹۳	۴/۵	۸۸۶۵۱
	Cm	۵۰۰۳۲	۰/۳۶	۴۰۱۳۸	۰/۵	۹۸۹۴
	Eb	۳۰۹۵۲	۰/۲۲	۲۴۸۱۶	۰/۳	۶۱۳۶
	Ek	۳۵۱۴۶۰۱	۲۷/۲۶	۳۰۸۱۰۴۳	۲۲/۱۵	۴۳۳۵۵۸

1-Raster

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

لیتولوژی	Ekgy	۳۱۳۵۰۷	۲/۵۶	۲۸۸۸۵۳	۱/۲۶	۲۴۶۵۴
	Em	۱۳۶۸۰۷	۰/۸۹	۱۰۱۱۲۶	۱/۸۲	۳۵۶۸۱
	Etliv	۳۲۳۳۳	۰/۲۹	۳۲۳۳۳	۰	۰
	Evai	۹۷۵۲۴	۰/۸۶	۹۶۹۶۸	۰/۰۳	۵۵۶
	Evbv	۳۷۶۶۲۳۳	۲۸/۵۹	۳۲۳۰۹۳۱	۲۷/۳۵	۵۳۵۳۰۲
	Evib	۲۲۲۱۱۰	۱/۶۷	۱۸۹۱۲۳	۱/۶۹	۳۲۹۸۷
	Ez	۴۴۱۵۵	۰/۳۴	۳۷۸۸۴	۰/۳۲	۶۲۷۱
	Jl	۱۴۱۷۰۱	۱/۰۵	۱۱۸۵۴۳	۱/۱۸	۲۳۱۵۸
	Js	۶۹۱۶۶	۰/۵۶	۶۲۸۱۶	۰/۳۲	۶۳۵۰
	Msm	۲۶۸۵۴۳۸	۱۹/۷۱	۲۲۲۶۸۷۲	۲۳/۴۳	۴۵۸۵۶۶
	Oiiv	۳۶۶۷۵۵	۲/۸۳	۳۲۰۲۵۶	۲/۳۸	۴۶۴۹۹
	P	۸۱	۰	۸۱	۰	۰
	Pec	۴۸۸۶۹۸	۳/۹	۴۴۰۸۲۳	۲/۴۵	۴۷۸۷۵
	Pek	۴۱۸۷۷۵	۲/۷۶	۳۱۱۹۴۰	۵/۴۶	۱۰۶۸۳۵
	Pes	۲۶۶۴۱۸	۲/۱۲	۲۳۹۰۶۴	۰/۲۵	۲۷۳۵۴
	Pliai	۲۹۰	۰	۲۹۰	۰	۰
	Pr	۸۸۳	۰/۰۱	۶۱۲	۰	۲۷۱
	Qt1	۶۱۱۳۴۷	۴/۰۳	۴۵۵۷۱۵	۷/۹	۱۵۵۶۳۲
	Qt2	۲۹۵	۰	۲۹۵	۰	۰
فاصله از گسل (متر)	۰-۱۰۰	۱۷۳۷۹۸۸	۱۳/۵	۱۵۲۸۶۲۰	۱۰/۷	۲۰۹۳۶۸
	۱۰۰-۳۰۰	۲۰۸۷۲۴۸	۱۶/۱	۱۸۲۲۴۵۵	۱۳/۵	۲۶۴۷۹۸۳
	۳۰۰-۵۰۰	۲۵۵۱۸۲۵	۱۹/۲	۲۱۷۷۳۱۵	۱۹/۱	۳۷۴۵۱۰
	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۷۵۳۷۵۸	۱۲/۹	۱۴۶۶۵۱۹	۱۴/۶	۲۸۷۲۳۹
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۳۶۰۰۴۴	۱۰/۳	۱۱۷۱۴۲۱	۹/۶	۱۸۸۶۲۳
	بالای ۲۰۰۰	۳۷۶۷۲۱۷	۲۷/۷	۳۱۳۴۱۷۱	۲۳/۳	۶۳۳۰۴۶
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۰۰	۱۶۰۴۴۶۶	۱۲/۱۵	۱۳۷۳۴۱۵	۱۱/۸	۲۳۱۰۵۱
	۱۰۰-۳۰۰	۲۴۰۸۹۲۷	۱۷/۹	۲۰۲۷۱۶۳	۱۹/۵	۳۸۱۷۶۴
	۳۰۰-۵۰۰	۱۹۴۷۴۴۹	۱۴/۶	۱۶۵۳۶۸۲	۱۵	۲۹۳۷۶۷
	۵۰۰-۱۰۰۰	۳۲۵۵۷۵۵	۹/۲۴	۲۸۱۶۶۱۶	۲۲/۴	۴۳۹۱۳۹
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۵۸۶۷۵۸	۱۹/۶	۲۲۱۸۷۴۶	۱۸/۸	۳۶۸۰۱۲
	بالای ۲۰۰۰	۱۴۵۴۷۰۳	۱۰/۷	۱۲۱۰۸۵۷	۱۲/۴	۲۴۳۸۴۶
تراکم آبراهه کیلومتر به کیلومتر مربع	+۲/۳۶	۱۸۴۷۳۰۶	۱۴/۶	۱۶۵۰۰۴۹	۱۰	۱۹۷۲۵۷
	۲/۳۶ -۳/۲۴	۲۸۷۹۶۰۵	۲۱/۴	۲۴۱۸۸۸۲	۲۳/۵	۴۶۰۷۲۳
	۳/۲۴ -۴/۱۰	۳۰۲۴۹۳۰	۲۲/۳	۲۵۲۵۴۰۹	۲۵/۵	۴۹۹۵۲۱
	۴/۱۰ -۴/۹۸	۳۲۳۷۳۶۹	۲۳/۶	۲۶۷۴۷۹۶	۲۸/۷	۵۶۲۵۷۳
	۴/۹۸ -۶/۴۸	۲۲۷۰۰۷۶	۱۷/۹	۲۰۳۳۱۳۳	۱۲/۱	۲۳۶۹۴۳
بارش (میلی‌متر)	+۵۰۰	۱۷۷۲۷۱	۸/۹	۵۶۰۶۷	۱۱/۹	۲۳۳۳۳۸
	۵۰۰-۵۵۰	۵۰۵۹۳۲	۲۸/۶	۱۸۰۸۶۸	۳۵/۱	۶۸۶۸۰۰
	۵۵۰-۶۵۰	۲۵۹۷۰۲	۲۲/۸	۱۴۴۳۹۲	۲۰/۶	۴۰۴۰۹۴
	۶۵۰-۷۵۰	۱۵۰۲۶۸	۲۲	۱۳۹۰۶۵	۱۴/۷	۲۸۹۳۳۳
	۷۵۰-۸۵۰	۱۰۰۳۹۱	۸/۴	۵۳۰۱۸	۷/۷	۱۵۳۴۰۹
	+۸۵۰	۱۳۲۲۴۴	۹/۲	۵۸۴۵۷	۹/۷	۱۹۰۷۰۱

از آنجایی که مساحت پهنه‌های لغزش یافته نسبت به فراوانی نقاط لغزشی اهمیت بیشتری دارد، پس از تبدیل لایه ها به حالت رستر و استخراج اطلاعات مورد نیاز، تعداد پیکسل های لغزشی هر رده مشخص شد و سپس نقشه‌های مربوط به عوامل تأثیرگذار، مجدداً بر اساس درصد پیکسل‌های لغزشی طبقه‌بندی شد. این طبقه‌بندی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

به این نحو صورت گرفت که برای هر پارامتر، طبقاتی که درصد پیکسل‌های لغزشی آن بیشتر بود، ارزش بیشتری گرفت. در عاملی مانند کاربری اراضی که چند زیرکلاس، فاقد پیکسل لغزشی هستند، طبقات یکی شده و یک گروه را تشکیل می‌دهند. همان‌طور که در شکل(۱۰) مشاهده می شود، ارتفاع کمتر از ۱۵۰۰ متر، دارای کمترین پیکسل لغزشی می‌باشد و در طبقه‌بندی مجدد هم دارای ارزش ۱ است. طبقه ۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر نیز، که در جدول(۱) بیشترین درصد پیکسل لغزشی را داراست، در طبقه‌بندی، ارزش ۶ را به خود اختصاص داده است. در مجموع، بیش از ۶۰ درصد مساحت پهنه‌های لغزشی در ارتفاع ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر قرار دارند که گویای حجم بالای توده مواد جابجا شده در این ارتفاع می‌باشد.

نقشه طبقه‌بندی شیب حوضه آبریز طالقان بیانگر این مطلب است که بیشترین مساحت زمین‌لغزش در شیب ۲۰-۳۰ درجه قرار دارد شکل(۱۱). پس از آن، بیشترین میزان به شیب۴۰-۳۰ درجه تعلق دارد درحالی که پایین‌ترین میزان مساحت در شیب‌های کمتر از ۱۲ درجه است. با توجه به اینکه در کنار ارزیابی عامل مساحت، از فراوانی زمین‌لغزش‌ها نیز چشم پوشی نشده است، می‌توان گفت که زمین‌لغزش‌ها به‌طور تقریبی در محدوده شیب ۱۵ تا ۴۰ درجه رخ داده‌اند و در شیب‌های کمتر یا بیشتر، از فراوانی و مساحت زمین‌لغزش‌ها کاسته شده است.

در شکل(۱۲) ارزش هر یک از جهات جغرافیایی شیب مشخص شده است. در ادامه، پس از محاسبه روش آنتروپی مشخص شد که این عامل بیشتری وزن کمّی را به خود اختصاص داده است. در بین جهات اصلی و فرعی، بیشترین درصد مساحت لغزش‌های منطقه به ترتیب در شیب‌هایی است که جهاتِ غرب، جنوب غرب و شمال غرب دارند. کمترین ارزش نیز به جهت های جنوب شرق و شرق تعلق دارد. علت این امر را می توان در تراکم بالای پوشش گیاهی در شرق حوضه نسبت به غرب آن دانست.

در نقشه ارزش کاربری اراضی آن دسته از کاربری‌ها که فاقد پیکسل لغزشی بوده اند، در یک گروه قرار گرفته اند و در نقشه به‌عنوان اراضی بدون ارزش معرفی شده‌اند شکل(۱۳). پس از این گروه، کمترین ارزش به اراضی باغی تعلق دارد. همچنین بیشترین ارزش متعلق به ترکیب مراتع خوب و جریانی و مراتع متوسط است. در ادامه، محاسبه شاخص آنتروپی نشان داد که بعد از پوشش گیاهی، عامل کاربری اراضی کم‌ترین تأثیر را در رخداد زمین‌لغزش‌های منطقه داشته است.

شکل(۱۴) تراکم پوشش گیاهی حوضه آبریز طالقان را نشان می‌دهد. نواحی که دارای پوشش گیاهی ضعیف هستند، ارزش بیشتری را به خود اختصاص داده اند. به‌عبارت‌دیگر، درصد مساحت زمین‌لغزش در این رده نسبت به دو رده دیگر تفاوت قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. همینطور، کمترین ارزش متعلق به نواحی با پوشش گیاهی خوب است.درواقع، بیشتر لغزش‌های منطقه، هم ازنظر فراوانی و هم ازنظر مساحت در نواحی که پوشش گیاهی فقیر دارند، رخداده است.

شکل(۱۵) مربوط به ارزش سازندهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه است. این عامل با توجه به محاسبات مربوط به آنتروپی، دومین عامل تأثیرگذار در منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شود. در بررسی لیتولوژی، سازند بازالت با بافت حفره ای، بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است. پس از آن، سازند تشکیل شده از مارن

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

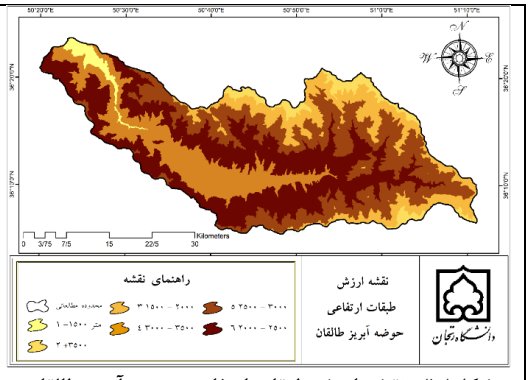
و سنگ اهک ماسه دار، بیشترین مساحت زمین‌لغزش را داراست. کمترین ارزش نیز، به ترتیب برای سازند آهک توده‌ای و گدازه های داسیتی تا آندزیتی است.

در عامل فاصله از گسل بین درصد پیکسل لغزشی و فاصله رابطه مستقیمی وجود دارد به‌نحوی‌که با افزایش فاصله، مساحت زمین‌لغزش‌ها افزایش پیدا می‌کند شکل(۱۶). هرچند نزدیکی به گسل‌های اصلی یکی از فاکتور های مؤثر در بی‌ثباتی دامنه‌ها محسوب می‌شود، اما در منطقه مورد مطالعه، بین فاصله از گسل و رخداد زمین‌لغزش همبستگی وجود ندارد و تحت تأثیر عوامل دیگر از اهمیت این فاکتور کاسته شده است.

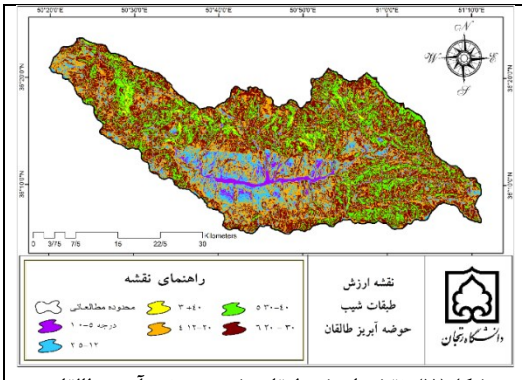
شکل(۱۷) نقشه ارزش راه‌های ارتباطی است که در آن، بیشترین مساحت زمین‌لغزش در فاصله ۱۰۰۰-۵۰۰ متری جاده‌ها است. پس از آن طبقه ۳۰۰-۱۰۰ متر بیشترین ارزش را دارد. همچنین در فواصل کمتر از ۱۰۰ متر و بیشتر از ۲۰۰۰ متر از جاده، مساحت زمین‌لغزش‌ها کاهش یافته است.

شکل(۱۸) مربوط به ارزش تراکم زهکشی می‌باشد. به‌طورکلی با افزایش تراکم زهکشی باید مساحت زمین‌لغزش‌ها نیز افزایش پیدا کند. اما در حوضه آبریز طالقان، غالب زمین‌لغزش‌ها (فراوانی، مساحت) در محدوده ۴/۹۸ – ۲/۳۶ کیلومتر در کیلومتر مربع رخداده اند و بیشتر یا کم تر از این محدوده، فراوانی و مساحت آن‌ها کاهش می‌یابد. در این پارامتر، بیش‌ترین ارزش به طبقه ۴/۱۰ کیلومتر در کیلومتر مربع و کم‌ترین، به طبقه کمتر از ۲/۳۶ تعلق دارد.

شکل(۱۹) مربوط به طبقه‌بندی عامل بارش می‌باشد. حدود ۵۰ درصد از مساحت زمین‌لغزش‌ها در حوزه ۵۰۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر رخداده اند. در این عامل، بیشترین ارزش به رده ۵۵۰-۵۰۰ و کمترین آن به رده ۸۵۰-۷۵۰ اختصاص دارد.

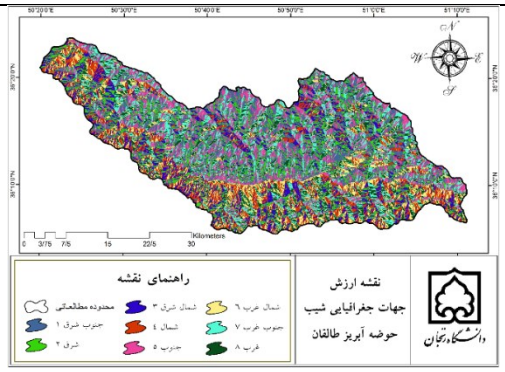


شکل(۱۰). نقشه ارزش طبقات ارتفاعی حوضه آبریز طالقان

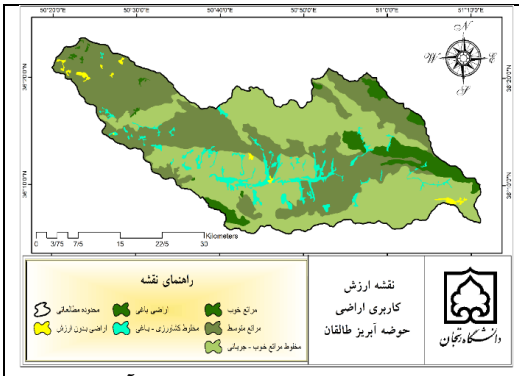


شکل(۱۱). نقشه ارزش طبقات شیب حوضه آبریز طالقان

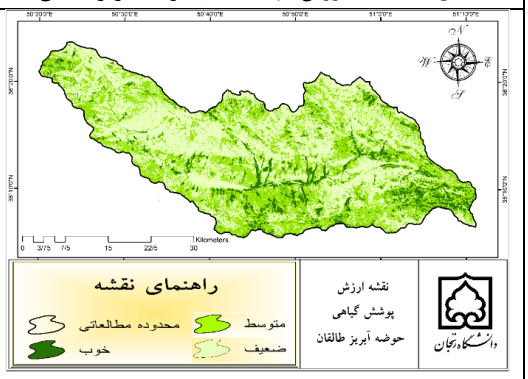
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]



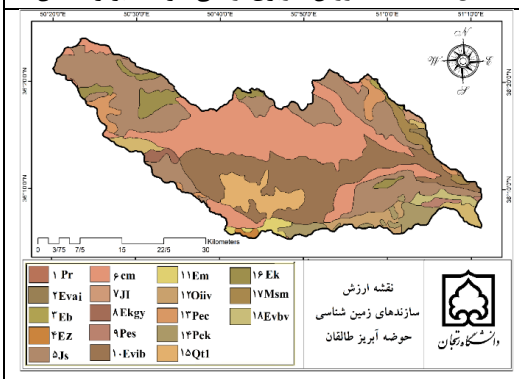
شکل(۱۲). نقشه ارزش جهات شیب حوضه آبریز طالقان



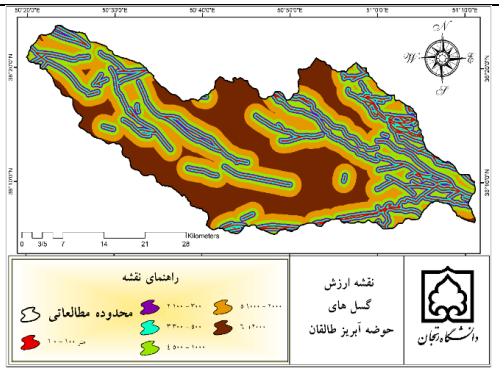
شکل(۱۳). نقشه ارزش کاربری اراضی حوضه آبریز طالقان



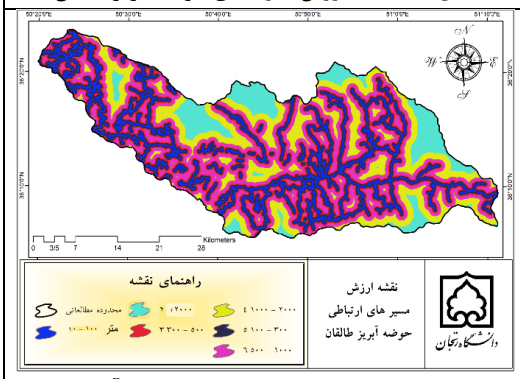
شکل(۱۴). نقشه ارزش پوشش گیاهی حوضه آبریز طالقان



شکل(۱۵). نقشه ارزش سازندهای حوضه آبریز طالقان

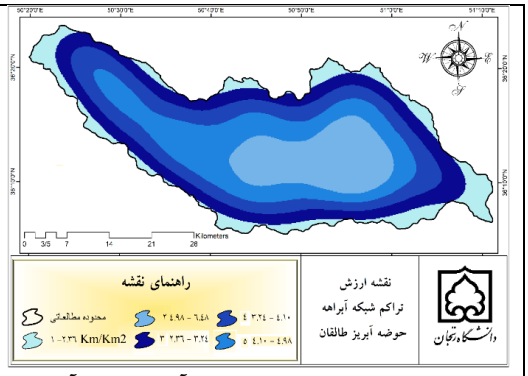


شکل(۱۶). نقشه ارزش گسل‌های حوضه آبریز طالقان

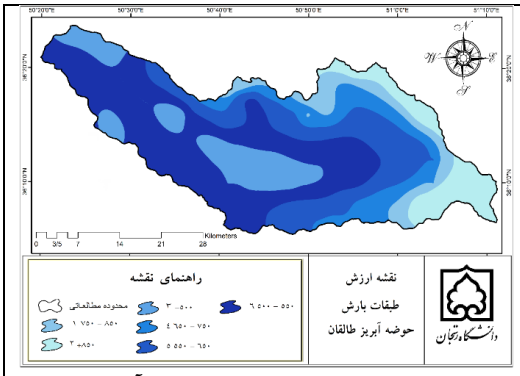


شکل(۱۷). نقشه ارزش مسیرهای ارتباطی حوضه آبریز طالقان

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]



شکل (۱۸). نقشه ارزش تراکم شبکه آبراهه حوضه آبریز طالقان



شکل(۱۹). نقشه ارزش طبقات بارش حوضه آبریز طالقان

پس از آماده‌سازی نقشه‌ها با استفاده از تعداد پیکسل های هر طبقه، اقدام به محاسبه آنتروپی شانون شد. به این منظور، به زیر کلاس هر پارامتر یک ارزش کمّی به‌عنوان وزن اختصاص داده شد جدول(۲) تا درنهایت اندکس آنتروپی با استفاده از وزن‌های محاسبه شده برای هر پارامتر ارائه گردد.

جدول(۲). مقادیر آنتروپی برای هریک از پارامترهای مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان

عامل	طبقه	تعداد پیکسل	Pij	Eij
ارتفاع (متر)	۱۰۶۰-۱۵۰۰	۲۴۹۸۵۸	۰/۰۱	۰/۰۳
	۱۵۰۰-۲۰۰۰	۲۲۵۳۲۲۰	۰/۱۶	۰/۱۳
	۲۰۰۰-۲۵۰۰	۴۵۲۴۲۸۳	۰/۳۴	۰/۱۵
	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۷۷۲۸۱۰	۰/۲۸	۰/۱۵
	۳۰۰۰-۳۵۰۰	۱۸۷۴۸۹۵	۰/۱۴	۰/۱۲
	۳۵۰۰-۴۳۶۵	۵۸۲۷۳۵	۰/۰۴	۰/۰۵
شیب (درجه)	۰-۵	۴۹۰۵۱۸	۰/۰۳	۰/۰۵
	۵-۱۲	۱۷۵۶۹۶۲	۰/۱۳	۰/۱۱
	۱۲-۲۰	۳۴۵۴۹۸۲	۰/۲۶	۰/۱۵
	۲۰-۳۰	۴۹۸۹۵۶۸	۰/۳۷	۰/۱۵
	۳۰-۴۰	۲۳۸۱۷۹۹	۰/۱۷	۰/۱۳
	۴۰-۷۹	۱۸۱۴۱۳	۰/۰۱	۰/۰۲
جهت شیب	N	۱۵۴۵۲۴۲	۰/۱۱	۰/۱
	NE	۱۶۳۴۲۰۷	۰/۱۲	۰/۱
	E	۱۴۹۵۲۱۱	۰/۱۱	۰/۱
	SE	۱۵۷۹۰۰۷	۰/۱۱	۰/۱۱
	S	۱۷۴۵۵۸۳	۰/۱۳	۰/۱۱
	SW	۱۸۸۰۶۹۹	۰/۱۴	۰/۱۲
	W	۱۷۵۱۴۳۷	۰/۱۳	۰/۱۱
	NW	۱۶۲۶۷۱۵	۰/۱۲	۰/۱۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

کاربری اراضی	زراعی	۴۹۲۵۸	۰	۰
	باغ	۱۷۶۱۱۸	۰/۰۱	۰/۰۲
	مرتع خوب	۸۵۹۹۵۱	۰/۰۶	۰/۰۷
	ترکیبی (کشاورزی- باغ)	۴۳۶۴۹۶	۰/۰۳	۰/۰۴
	ترکیبی (کشاورزی- جریانی)	۲۶۷۸۰	۰	۰
	ترکیبی (باغ- جریانی)	۳۸۳۸۵	۰	۰
	ترکیبی (اراضی دیم- جریانی)	۱۷۸۰۴	۰	۰
	ترکیبی (مرتع خوب- جریانی)	۶۱۰۸۴۰۰	۰/۴۶	۰/۱۵
	مرتع متوسط	۵۵۳۷۱۰۳	۰/۴۱	۰/۱۵
	ساخته شده	۷۶۹۰	۰	۰
تراکم پوشش گیاهی	کم	۸۷۳۵۱۶۶	۰/۶۶	۰/۱۱
	متوسط	۳۸۵۱۵۹۵	۰/۲۹	۰/۱۵
	زیاد	۵۶۰۸۴۴	۰/۰۴	۰/۰۵
لیتولوژی	Cm	۵۰۰۳۲	۰	۰
	Eb	۳۰۹۵۲	۰	۰
	Ek	۳۵۱۴۶۰۱	۰/۲۶	۰/۱۵
	Ekgy	۳۱۳۵۰۷	۰/۰۲	۰/۰۳
	Em	۱۳۶۸۰۷	۰/۰۱	۰/۰۲
	Etliv	۳۲۳۳۳	۰	۰
	Evai	۹۷۵۲۴	۰	۰/۰۱
	Evbv	۳۷۶۶۲۳۳	۰/۲۸	۰/۱۵
	Evib	۲۲۲۱۱۰	۰/۰۱	۰/۰۲
	Ez	۴۴۱۵۵	۰	۰
	Jl	۱۴۱۷۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲
	Js	۶۹۱۶۶	۰	۰/۰۱
	Msm	۲۶۸۵۴۳۸	۰/۲	۰/۱۴
	Oiiv	۳۶۶۷۵۵	۰/۰۲	۰/۰۴
	P	۸۱	۶/۱	۳/۱۸
	Pec	۴۸۸۶۹۸	۰/۰۳	۰/۰۵
	PEk	۴۱۸۷۷۵	۰/۰۳	۰/۰۴
	PEs	۲۶۶۴۱۸	۰/۰۲	۰/۰۳
	PLiai	۲۹۰	۲/۱۸	۰
	Pr	۸۸۳	۶/۶۶	۰
	Qt1	۶۱۱۳۴۷	۰/۰۴	۰/۰۶
	Qt2	۲۹۵	۲/۲۲	۰
	۰-۱۰۰	۱۷۳۷۹۸۸	۰/۱۳	۰/۱۱
	۱۰۰-۳۰۰	۲۰۸۷۲۴۸	۰/۱۵	۰/۱۲

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

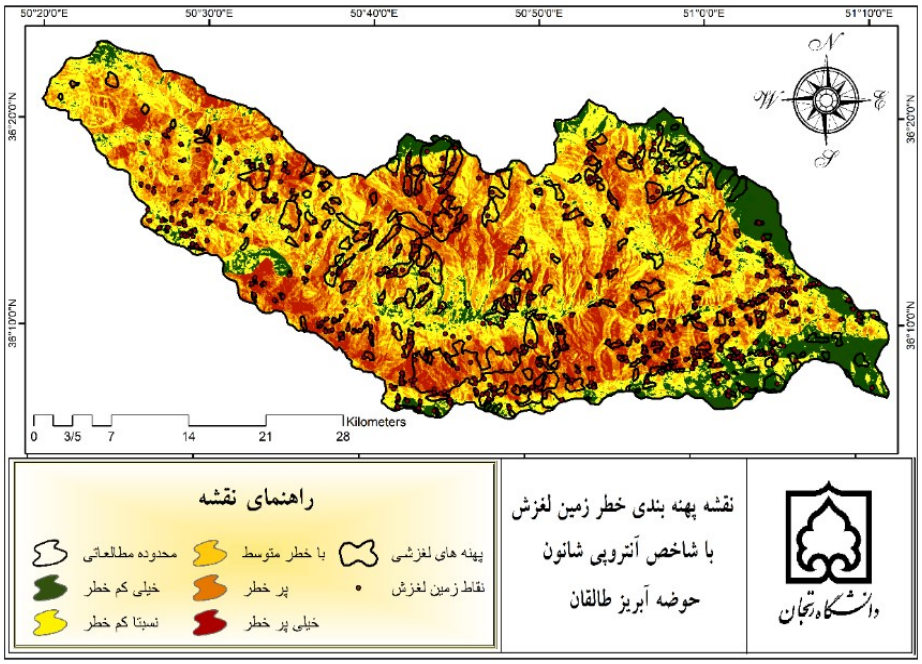
فاصله از گسل (متر)	۳۰۰-۵۰۰	۲۵۵۱۸۲۵	۰/۱۹	۰/۱۳
	۵۰۰-۱۰۰۰	۱۷۵۳۷۵۸	۰/۱۳	۰/۱۱
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۱۳۶۰۰۴۴	۰/۱	۰/۱
	۲۰۰۰<	۳۷۶۷۲۱۷	۰/۲۸	۰/۱۵
فاصله از جاده (متر)	۰-۱۰۰	۱۶۰۴۴۶۶	۰/۱۲	۰/۱۱
	۱۰۰-۳۰۰	۲۴۰۸۹۲۷	۰/۱۸	۰/۱۳
	۳۰۰-۵۰۰	۱۹۴۷۴۴۹	۰/۱۴	۰/۱۲
	۵۰۰-۱۰۰۰	۳۲۵۵۷۵۵	۰/۱۴	۰/۱۴
	۱۰۰۰-۲۰۰۰	۲۵۸۶۷۵۸	۰/۱۹	۰/۱۳
	۲۰۰۰<	۱۴۵۴۷۰۳	۰/۱	۰/۱
تراکم آبراهه کیلومتر به کیلومتر مربع	۲/۳۶ >	۱۸۴۷۳۰۶	۰/۱۳	۰/۱۱
	۳/۲۴ -۲/۳۶	۲۸۷۹۶۰۵	۰/۲۱	۰/۱۴
	۴/۱۰ -۳/۲۴	۳۰۲۴۹۳۰	۰/۲۲	۰/۱۴
	۴/۹۸ -۴/۱۰	۳۲۳۷۳۶۹	۰/۲۴	۰/۱۴
	۶/۴۸ -۴/۹۸	۲۲۷۰۰۷۶	۰/۱۷	۰/۱۳
بارش (میلی‌متر)	۵۰۰ >	۱۷۷۲۷۱۷	۰/۱۳	۰/۱۱
	۵۰۰-۵۵۰	۵۰۵۹۳۲۷	۰/۳۸	۰/۱۵
	۵۵۰-۶۵۰	۲۵۹۷۰۲۲	۰/۱۹	۰/۱۳
	۶۵۰-۷۵۰	۱۵۰۲۶۸۲	۰/۱۱	۰/۱
	۷۵۰-۸۵۰	۱۰۰۳۹۱۰	۰/۰۷	۰/۰۸
	۸۵۰	۱۳۲۲۴۴۲	۰/۰۹	۰/۰۹

جدول(۳). مقادیر وزن نهایی، عدم اطمینان و میزان نهایی آنتروپی

عامل	wj	Di	Ej
ارتفاع (متر)	۰/۱	۰/۳۴	۰/۶
شیب (درجه)	۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۶۴
جهت شیب	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۹
کاربری اراضی	۰/۱۵	۰/۵۱	۰/۴۹
تراکم پوشش گیاهی	۰/۲۸	۰/۶۷	۰/۳۳
لیتولوژی	۰/۰۴	۰/۱۴	۰/۸۵
فاصله از گسل (متر)	۰/۰۷	۰/۲۵	۰/۷۵
فاصله از جاده (متر)	۰/۰۷	۰/۲۴	۰/۷۶
تراکم آبراهه کیلومتر به کیلومتر مربع	۰/۰۹	۰/۳۱	۰/۶۹
بارش (میلی‌متر)	۰/۰۹	۰/۲۹	۰/۷۱

پس از محا سبه مقادیر آنتروپی و آماده سازی نقشه‌های مربوط به پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان در محیط نرم‌افزار Arc GIS ترسیم گردید و در ۵ کلاس خیلی کم خطر، نسبتاً کم خطر، با خطرمتوسط، پرخطر و خیلی پرخطر، طبقه‌بندی شد شکل(۲۰).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]



شکل (۲۰). موقعیت زمین‌لغزش‌ها در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز طالقان

با توجه به نقشه نهایی حدود ۶۴ درصد از نقاط زمین‌لغزش در کلاس خطر متوسط به بالا قرار دارند. همینطور ۸۶ درصد از مساحت زمین‌لغزش‌ها در این سه رده خطر متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر قرار دارند. سپس با تلاقی نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوضه و نقشه پهنه‌بندی خطر در محیط Arc GIS، به ارزیابی مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش مجموع کیفیت (Qs) و دقت (P) پرداخته شده و مدل مناسب، منطبق با منطقه موردبررسی انتخاب گردید. برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه ها یا رده های خطر در هر روش از روش‌های پهنه‌بندی، نسبت تراکم به کار رفته است. با توجه به جدول(۴) و محاسبات انجام‌گرفته بر روی نقشه نهایی با شاخص آنتروپی شانون، نتایج بیانگر آن است که دقت این روش در سه رده متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر، ۰/۲۴ می‌باشد. همچنین دقت روش آنتروپی برای دو طبقه پرخطر و خیلی پرخطر نیز عدد ۰/۳۰ است. همین طور، مجموع کیفیت (Qs) نیز عدد ۲/۳ به دست آمده که گویای صحت و مطلوبیت بیشتر کیفیت این مدل برای پهنه‌بندی سطح های لغزشی در حوضه آبریز مورد مطالعه است.

جدول (۴). محاسبه دقت و کیفیت روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با شاخص آنتروپی شانون

ردیف	مساحت رده خطر (Ai)	مساحت زمین‌لغزش (Si)	نسبت تراکمی (DR)	نسبت مساحت (S)	QS در هر رده
۱	۱۶۱/۹	۸	۰/۳۳	۰/۱۲	۰/۲۱
۲	۴۵۱/۹	۱۸/۵	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۷۱
۳	۲۹۵/۵	۴۵/۳	۱/۰۴	۰/۲۲	۰/۰۰۱
۴	۲۵۶/۹	۶۹/۴	۱/۸۱	۰/۱۹	۰/۵۱
۵	۱۵۵/۴	۵۴/۳	۲/۳	۰/۱۱	۰/۸۶
مجموع	۱۳۲۱/۷	۱۹۵/۷			۲/۳۱

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

نتیجه گیری

در این پژوهش، با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبریز طالقان، از مدل آنتروپی شانون استفاده شد. نخست، نقشه پراکنش لغزش‌های حوضه تهیه گردید. سپس، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، تراکم آبراهه، گسل، جاده و بارش به‌عنوان متغیرهای تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌های لغزش یافته به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. در گام بعدی، با استفاده از شاخص آنتروپی، میزان تأثیر هریک از آن‌ها بر لغزش‌های رخداده در منطقه مورد مطالعه، سنجیده شد. نتایج نشان داد بیش‌ترین وزن به ترتیب متعلق به جهت شیب و لیتولوژی و کم‌ترین وزن به ترتیب متعلق به پوشش گیاهی و کاربری اراضی است؛ به عبارت بهتر، می‌توان گفت در رخداد لغزش‌های حوضه آبریز طالقان، عامل جهت شیب بیشترین و پوشش گیاهی کم‌ترین تأثیر را داشته‌اند. سپس، برای هر یک از این پارامترها با توجه به وزنی که به خود اختصاص دادند، در نرم‌افزار Arc GIS، نقشه ترسیم شد و از تلفیق این نقشه‌ها با نقشه پراکنش لغزش‌ها، نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر تهیه گردید. مطابق با نقشه نهایی، ۸۶ درصد از مساحت زمین‌لغزش‌ها در سه رده خطر متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر قرار گرفت. در روند آماده‌سازی نقشه پهنه‌بندی، طبقه‌بندی مجدد پارامترها بر پایه مساحت پهنه‌های لغزش یافته، صورت گرفت. در مرحله اول، شاخص مجموع کیفیت (Qs) برای آنتروپی شانون محاسبه شد که برابر با ۲/۳ به دست آمد. این نشان‌دهنده صحت و مطلوبیت بیشتر این روش جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان بود. در مرحله دوم، شاخص دقت روش(P) نیز، برای مدل آنتروپی سنجیده شد و میزان آن برابر ۰/۲۴ بود که نشان از تفکیک‌پذیری مناسب‌تر پهنه‌های خطر در این روش دارد. با توجه به نتایج حاصل از پهنه‌بندی و سنجش کیفیت و دقت، می‌توان اظهار داشت که این مدل دارای قابلیت لازم جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر در شرایط حوضه‌های مشابه با حوضه آبریز طالقان است.

منابع

احمدی، سمیرا. (۱۳۹۰). **بررسی پادگانه‌های کواترنری حوضه آبخیز طالقان رود به‌عنوان یک شاهد کواترنری**. دومین همایش علوم زمین، آشتیان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد آشتیان، ۱۳۹۰.

اکبری‌محمودآبادی، مینا، (۱۳۹۱). **ارزیابی توان اکولوژیکی جهت توسعه اکوتوریسم شهرستان طالقان(استان البرز) با تأکید بر پدیده‌های ژئومورفولوژی**، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه زنجان.

پورقاسمی، حمیدرضا؛ مرادی، حمیدرضا؛ فاطمی عقدا، محمود. (۱۳۹۲). **اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی حساسیت آن با استفاده از شاخص آنتروپی شانون**، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۸(۷۰): ۱۸۱-۱۹۱.

تیموری یانسری، زینب؛ حسین زاده، سیدرضا؛ کاویان، عطاالله؛ پورقاسمی، حمیدرضا. (۱۳۹۶). **تعیین پهنه‌های حساس به وقوع لغزش با استفاده از روش آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چهاردانگه-مازندران)**، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۲۲(۱): ۱۸۳-۲۰۴.

حسین پور، امین؛ عباسپور، رحیم علی. (۱۳۹۳). **بهبود نتایج پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تئوری آنتروپی شانون**، فصلنامه مدیریت مخاطرات محیطی، ۱(۲): ۲۵۳-۲۶۸.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]

خالدی، شهریار؛ درفشی، خه بات؛ مهرجونژاد، اکبر؛ قره چاهی، سعید؛ خالدی، شاهین. (۱۳۹۱). **ارزیابی عامل‌های مؤثر در رویداد زمین‌لغزش پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک در محیط GIS (مطالعه موردی:حوضه آبخیز طالقان)**، نشریه جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱(۳): ۶۵-۸۲.

قویمی پناه، محمد حسین؛ خالدی، عبدالواحد؛ قویمی پناه، محمدرضا. (۱۳۹۶). **صحت سنجی روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) در پهنه‌بندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز ولی عصر استان اردبیل)**، مجله اکوهیدرولوژی، ۴(۳): ۷۸۹-۷۷۸.

متولی، صدرالدین؛ حسین زاده، محمد مهدی؛ اسماعیلی، رضا؛ درفشی، خه‌بات. (۱۳۹۴). **ارزیابی روش‌های رگرسیون چند متغیره (MR)، رگرسیون لجستیک (LR)، تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی (FL) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه آبخیز طالقان**، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، ۴(۱): ۱-۲۰.

محمدخان، شیرین؛ ویسی، عبدالکریم؛ باقری، کیوان. (۱۳۹۳). **پتانسیل سنجی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب استان کرمانشاه)**، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، ۱۱(۴۴): ۸۹-۱۰۲.

مقیمی، ابراهیم؛ باقری سیدشکری، سجاد؛ صفر راد، طاهر. (۱۳۹۱). **پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: تاقدیس نسار زاگرس شمال غربی)**، فصلنامه پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۹(۲): ۷۷-۹۰.

Bednarik, M., Magulova, B., Matys, M., Marschalko, M., (2010). **Landslide susceptibility assessment of the Kralovany–Liptovsky Mikulaš railway case study**. Phys. Chem. Earth **35(3)**: 162–171.

Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M.C., Vlaicu, M., (2011). **Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania)**. Environ. Earth Sci. **63(4)**: 397–406.

Devkota, K.C., Regmi, A.D., Pourghasemi, H.R., Yoshida, K., Pradhan, B., Ryu, I.C., Dhital, M.R., Althuwaynee, O.F., (2013). **Landslide susceptibility mapping using certainty factor, index of entropy and logistic regression models in GIS and their comparison at Mugling-Narayanghat road section in Nepal Himalaya**. Nat. Hazards **65(2)**:135–165

Felicisimo, A.M., Cuartero, A., Remondo, J., Quirós, E., (2013). **Mapping landslide susceptibility with logistic regression, multiple adaptive regression splines, classification and regression trees, and maximum entropy methods: a comparative study**. (2012), Journal of Landslides, **10(2)**: 175-189

Lee, S., Pradhan, B., (2006). **Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequencyratio and logistic regression models. Landslides**, **4(2)**: 33-41.

Rahmani, G., Taherkhani, A., (2013). **Predicting Slide Riskswith an Emphasis on the Role of Structural and Seismic Elements (Case Study: part of Taleghan)** J. Basic. Appl. Sci. Res., **3(1)**: 145-148.

Ranjbar, M., Ahmadi, H., (2013). **Analyzing the factors affecting occurrence of landslide in NAVROUD Basin using AHP Model (Tälesh City - Iran)** Advances in Environmental Biology, **7(1)**: 3188-3197.

Wan, S., (2009). **A Spatial Decision Support System for Extracting the Core Factors and Thresholds for Landslide Susceptibility Map**, Engineering Geology, **108(2)**: 237-251.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.62.6.6]
[DOI: 10.52547/jgs.21.62.95]