Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال هجدهم، شماره‌ی ۶۴
زمستان ۱۳۹۷، صفحات ۱۹۹-۱۷۷

*عقیل مددی [۱]
الناز پیروزی [۲]
الهام شکرزداده فرد [۳]

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای، با استفاده از مدل ELECTRE

تاریخ دریافت: ۱۳۹٤/۰۸/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٦/۰۲/۲٤

چکیده

زمین‌لغزش، از خطرات اصلی در مناطق کوهستانی می‌باشد حوضه آبخیز آق لاقان چای با داشتن چهره‌ی کوهستانی و با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، لیتولوژی و اقلیمی، عمده شرایط لازم جهت شکل‌گیری حرکات لغزشی را دارد. این پدیده همه ساله موجب خسارات جانی و مالی به مناطق مسکونی، تخریب راه ارتباطی، رسوب‌زایی گسترده و پر شدن مخزن سد یامچی و بستر رودخانه از رسوب می‌شود؛ بنابراین هدف تحقیق حاضر، سطح‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آق لاقان چای می‌باشد. در این مطالعه ابتدا با بررسی‌های میدانی و مطالعه منابع، ده عامل به‌عنوان عوامل مؤثر برای ایجاد زمین لغزش در منطقه شناسایی شدند. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از مناطق مسکونی، بارش، کاربری اراضی و خاک می‌باشد. سپس لایه‌ها اطلاعاتی توسط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های معیار، در نرم‌افزار IDRISI به‌صورت توأم با استفاده از روش فازی انجام گرفت. در مرحله بعد عوامل مورد بررسی به‌صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل که مبین میزان تأثیر آن‌ها است، در نرم‌افزار Expert Choice ارائه شد. تحلیل و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش ELECTERE به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. طبق نتایج به‌دست آمده، عوامل شیب، بارش و لیتولوژی بیش‌ترین تأثیر را بر ایجاد زمین لغزش در حوضه‌ی آق

*۱- گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی (نویسنده مسئول). E-mail: aghil48madadi@yahoo.com
۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه محقق اردبیلی.
۳ - دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی دانشگاه محقق اردبیلی.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

لاقان چای دارند و زیر حوضه‌ی نیر و ایرنجی با شیب‌های ۳۰- ۱۵ درصد، مقدار بارش ۵۵۰-۲۵۰ میلی‌متر و سازندهایی با زیربنای سنگ سخت به همراه مواد رسوبی و سست سطحی، به ترتیب از پتانسیل بیش‌تری جهت وقوع زمین‌لغزش در سطح حوضه‌ی آق لاقان چای برخوردارند. به‌طور کلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق لاقان چای دارای توان بسیار بالا از لحاظ رخداد زمین لغزش می‌باشد، لذا انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه‌ی مطالعات ضروری می‌باشد.

کلید واژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین لغزش، آق لاقان چای، مدل ELECTERE.

مقدمه

عوامل طبیعی همواره در طول تاریخ و در نقاط مختلف جهان خطرهایی را به محیط‌های مصنوع و طبیعی تحمیل می‌کنند و موجب خسارات جانی و مالی می‌گردد. لذا یکی از نگرانی‌های جوامع بشری در طول تاریخ، وقوع بلایای طبیعی بوده است. یکی از مخاطرات طبیعی که همواره محیط طبیعی را دستخوش تغییرات قرار داده، حرکات دامنه‌ای می‌باشد که باعث ناپایداری دامنه‌ها می‌گردد. خطر ناپایداری دامنه‌ها و حرکات توده‌ای مواد بر روی دامنه‌ها، از فرآیندهای ژئومورفولوژیک سطحی کره زمین است. این فرآیندها تحت تاثیر عوامل متعدد طبیعی از قبیل دینامیک درونی و بیرونی زمین و نیز فعالیت‌های انسانی از قبیل بارگذاری مواد بر روی دامنه، معدن کاوی، احداث سد، مخازن آب و عوارض خطی از قبیل جاده‌ها، راه آهن، خطوط لوله نفت و گاز و مواردی از این دست ایجاد می‌شوند و رویداد این حرکات جزء فرآیندهای شکل‌زایی زمین محسوب می‌شود. وقتی ناپایداری دامنه‌ها و حرکات توده‌ای مواد بر روی دامنه‌ها در ارتباط با انسان و ساخت‌وسازهای بشری و مراکز سکونتی و فعالیت‌های وی صورت می‌گیرد، به‌عنوان بلایا و سوانح طبیعی قلمداد می‌شوند و گاهی وقوع آن‌ها موجب خسارات فراوانی اعم از جانی و مالی در گوشه و کنار جهان می‌گردد (Hodai, 2002: 454). از میان انواع حرکات دامنه‌ای زمین لغزش‌ها، با توجه به تکرار وقوع این پدیده و خسارات زیان‌بار آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به‌عنوان مثال؛ بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تا اوایل سال (۱۳۷۸)، وقوع حدود ۲۵۹۰ زمین لغزه در ایران باعث مرگ ۱۶۲ نفر، تخریب ۱۷۶ باب خانه، ایجاد خسارات مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی و ایجاد رسوب سالانه‌ای به حجم ۹۶۳۸۰۷ متر مکعب شده است (Mirsanei & Kardan, 2008: 70). زمین لغزش، عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها (Mahmodi, 2008: 38). وجود عواملی مانند مستعد بودن ناهمواری‌ها از نظر منشأ ساختمانی و دینامیک، قطع درختان و بهره‌برداری‌های بی‌رویه از جنگل‌ها، رعایت نکردن اصول فنی و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره‌برداری غیر اصولی از منابع موجود سبب شده که هرساله خسارت‌های زیادی بر سکونتگاه‌های روستایی، فعالیت‌های ساختمانی و زراعی تحمیل شود (Shadfar et al, 2005: 68). نکته‌ای که بایستی بدان توجه کرد این است که زمین‌لغزش‌ها از جمله بلایایی هستند که می‌توان آن‌ها را پیش‌بینی نمود و از خسارات و آسیب‌های جانی و مالی

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

ناشی از آن جلوگیری کرد. جهت مطالعه‌ی خطر زمین‌لغزش، روش‌های متعددی وجود دارد که پهنه‌بندی از مهم‌ترین آن‌هاست. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، ترسیم نقشه نواحی با احتمال یکسان وقوع در زمان معینی می‌باشد. از این طریق سطح زمین به نواحی مجزایی از درجات بالفعل و بالقوه خطر (بسیار کم تا بسیار زیاد) تقسیم می‌شود (Bell & Glade, 2004: 236). به طور مسلم پهنه‌بندی خطر حرکات دامنه‌ای گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی به شمار می‌رود و نقش غیرقابل انکار را در مدیریت حوضه‌های رودخانه‌ای و کوهستانی ایفا می‌نماید (Sakar, 1995: 301). مطالعه و بررسی نواحی مختلف از نظر پتانسیل وقوع زمین لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت این پدیده، در محدوده فعالیت‌های بشری حایز اهمیت بوده و از سوی دیگر جهت شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌ها و سکونتگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و انرژی، نیروگاه‌ها در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد (Sefidgari et al, 2005: 58).

حوضه آبخیز آق لاقان چای که در دامنه‌ی جنوب شرقی رشته کوه سبلان قرار گرفته است، به لحاظ وضیت خاص منطقه، مانند توپوگرافی (کوهستانی و مرتفع بودن حوضه)، شیب زیاد، وجود مواد سطحی سست و نامقاوم بر روی سازندهای مقاوم و شرایط اقلیمی (به‌ویژه به علت بارش‌های بهاری و نیز ذوب برف‌ها در فصل بهار)، از پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش برخوردار می‌باشد. از آن جهت که وقوع لغزش‌ها، منجر به آسیب‌ها و خسارات متعدد، از جمله تخریب راه‌های ارتباطی، پر شدن مخزن سد یامچی واقع در پایین دست حوضه و فرسایش و هدر رفتن منابع با ارزش خاک در حوضه آق لاقان چای می‌گردد؛ بنابراین، پهنه‌بندی حوضه، از لحاظ حساسیت به وقوع زمین لغزش امری ضروری می‌باشد و هرگونه غفلت و اهمال در این مورد، ممکن است تبعات سوء جبران‌ناپذیری را به دنبال داشته باشد. انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این تحقیق، راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح در این زمینه گردد.

پژوهش‌های ارزنده‌ای، به‌ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلفی، به‌منظور بررسی و مطالعه زمین‌لغزش‌ها در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. برای مثال در ایران، Karimi sangchini et al (2011) در حوضه چهل چای استان گلستان، از روش‌های WLC، AHP و رگرسیون لجستیک و روش آماری چند متغیره، به‌منظور پهنه‌بندی ریسک‌پذیری زمین لغزش استفاده کرده‌اند، نتایج نشان داد که مدل ترکیب خطی وزنی بعد از روش آماری از مطلوبیت بالایی برخوردار می‌باشد. Piroozi et al (2012) با استفاده از روش AHP، پهنه‌بندی زمین‌لغزش را در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای انجام دادند. طبق نتایج به‌دست آمده دو عامل شیب و کاربری اراضی به ترتیب مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش منطقه مورد مطالعه می‌باشند و نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیش‌تر وسعت منطقه پرخطر در کلاس شیب ۲۰-۳۵ قرار گرفته است و شیب ۵-۲۰ در درجه دوم اهمیت قرار دارد. Piroozi et al (2013) در مطالعه‌ای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی به‌عنوان یکی از روش های تحلیل چند معیاری، انجام دادند. با توجه به نتایج مطالعه، طبقه با خطر زیاد و بسیار زیاد به‌ترتیب ۳۶ و ۸ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می‌شوند. همچنین طبق نتایج حاصل از این مطالعه،

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

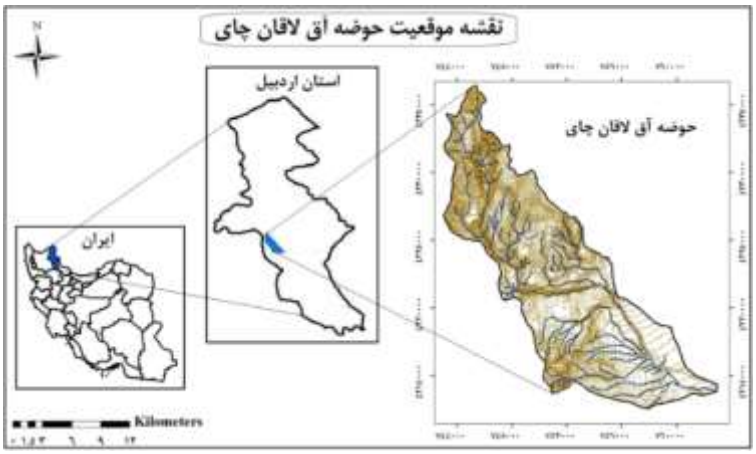
مناطق بسیار پرخطر، از لحاظ لیتولوژی دارای سازندهای سست و نامقاوم آبرفتی کواترنر می‌باشند و اغلب کاربری های نواحی پرخطر زراعی، مسکونی و مرتع می‌باشد. Abedini & Fathi (2014) با استفاده از مدل‌های فازی و AHP پهنه‌بندی زمین‌لغزش را در حوضه آبخیز خلخال چای انجام داده‌اند، یافته‌های این پژوهش نشان داد، ۲۱/۸۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها با مساحتی در حدود ٤٦/۳۰ در زمره مناطق با لرزه‌خیزی زیاد در مناطق شرق و شمال‌شرق حوضه واقع شده‌اند. Seif & Rahedan Monfared (2015) در مطالعه‌ای به بررسی پتانسیل زمین‌لغزش در استان چهارمحال بختیاری با استفاده از فنون تصمیم‌گیری چند معیاره، AHP و Topsis پرداختند. طبق نتایج حاصل از این مطالعه، عامل زمین‌شناسی مهم‌ترین شاخص و تراکم آبراهه کم اهمیت‌ترین عامل در ایجاد لغزش در منطقه‌ی مطالعاتی می‌باشد و نیز نتایج مطالعه نشان داد که شهرستان‌های اردل، کوهرنگ و فارسان به‌ترتیب از پتانسیل بالایی برای ایجاد زمین‌لغزش برخوردارند. Madadi et al (2015) با استفاده از روش ویکور به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز آق لاقان چای پرداختند. طبق نتایج به‌دست آمده، ۸ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و ۲۷ درصد نیز در طبقه پرخطر قرار دارد. به‌طور عمده مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در قسمت کوهستانی شمال و جنوب‌غربی حوضه مطالعاتی، در سازندهایی با زیربنای سنگ سخت به همراه مواد رسوبی و سست سطحی، شیب‌های ۳۵-۲۰ درصد و مقدار بارش بالا (۵۵۰-۳۵۰ میلی‌متر) قرار دارند. همچنین در خارج از ایران، Kouli et al (2011) در حوضه ریتمنو جزیره ایسلند، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را با استفاده از مدل WLC انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که روش ترکیب خطی وزنی روش مناسبی جهت مطالعه و پهنه‌بندی زمین لغزش‌ها می‌باشد. Yalcin et al (2011) در ترابزون ترکیه از مدل آماری رگرسیون لجستیک و AHP استفاده کرده‌اند، نتایج حاصله نشان داد که عوامل زمین‌شناسی، ارتفاع، فاصله از جاده و تغییر کاربری به‌ترتیب بیش‌ترین نقش را در وقوع لغزش منطقه داشته‌اند. Chingkhei et al (2013) در کشمیر هیمالیا در هند، با استفاده از روش AHP و معیارهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی و پوشش زمین، طبقات ارتفاعی، خاک و خطوط گسلی، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را انجام داده‌اند. در نتیجه، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در شش کلاس شدید، بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم به‌دست آمد و نتایج مطالعه نشان داد که استفاده از روش AHP در منطقه مورد مطالعه از دقت نسبی خوبی برخوردار است. Arab Ameri et al (2018) به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش در حوضه ونک با استفاده از مدل عامل اطمینان پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که فاصله از جاده و شیب بیش‌ترین تاثیر را در زمین لغزش داشته است. Asghari et al (2018) به تحلیل فضایی شاخص‌های تاثیرگذار زمین‌لغزش‌ها بر بار رسوبی حوضه سد ایلام پرداخته‌اند و به این نتیجه رسیدند که شیب بیش‌تر تاثیر را دارد.

با توجه به پیشینه تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله الگوهای تصمیم‌گیری است که در دو دهه اخیر از استقبال بالایی برخوردار بوده است، در این بررسی نیز در نهایت از روش ELECTRE، که براساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه‌ریزی گردیده است، به‌عنوان قاعده تصمیم‌گیری چند معیاری، جهت پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای استفاده خواهد شد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز آق لاقان چای با وسعت ١٦٦ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ١٤ دقیقه عرض شمالی و ٤٧ درجه و ٤٦ دقیقه تا ٤٨ درجه طول شرقی قرار گرفته است و از زیر حوضه‌های بالیخلوچای اردبیل محسوب می‌شود. این حوضه در شمال‌غرب ایران و در دامنه جنوب‌شرقی کوه سبلان واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آق لاقان چای در ایران و اردبیل

Figure 1: Location map of Aghlaghan chay water shade in Iran and Ardabil

حوضه مورد مطالعه از شمال با قله سبلان، از جنوب با حوضه امام چای، از شرق با جوراب چای و سرعین و از غرب با حوضه بیوک و گردنه صائین هم جوار می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوضه ٤٣٨٠ متر و حداقل ارتفاع آن ١٦٢٠ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط حوضه نیز ۳۸ درصد است. با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، اقلیم منطقه نیمه خشک سرد می‌باشد بر اساس تقسیم‌بندی Darvishzadeh (1991), Eftekharnezhad (1975), Nabavi (1976) از نظر زمین ساختی منطقه مورد مطالعه در زون زمین ساختی البرز غربی-آذربایجان قرار دارد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش حوضه مورد مطالعه (شامل: شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه، فاصله از آبادی و فاصله از گسل)، با مطالعه‌ی منابع از کانال‌هایی چون مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، بررسی ادبیات موضوع و پیمایش نظرات و عقاید افراد صاحب نظر و نیز بررسی‌ها و پیمایش‌های میدانی و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه شناسایی گردید. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی خطوط منحنی میزان، راه‌های ارتباطی، شبکه آبراهه و مناطق مسکونی با رقومی سازی از روی نقشه توپوگرافی شهرستان نیر با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به‌دست آمد. لایه‌های طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب با استفاده از خطوط

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

منحنی میزان در محیط Arc map تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل با رقومی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی مشگین شهر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. به‌منظور تهیه لایه اطلاعاتی کاربری از نقشه کاربری شهرستان نیر با مقیاس۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد. جهت تهیه نقشه خاک حوضه از نقشه خاک استان اردبیل با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و نقشه خاکی که سبحانی با پیمایش میدانی از حوضه آق لاقان چای تهیه کرده‌اند، استفاده کردیم (Sobhani, 1997:113). نقشه بارش منطقه مورد مطالعه را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در داخل حوضه و همچنین ایستگاه‌های مجاور (آمارهای مربوط به سال‌های (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰)، ایستگاه‌های اردبیل، سرعین، نیر و لای) و با به‌دست آوردن معادله گرادیان بارش حوضه (P= 0.228 H-86.64) و نیز استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به‌دست آوردیم. در نهایت، به علت این که روش تصمیم‌گیری چند معیاره چهارچوب تصمیم‌گیری مناسب، برای برنامه‌ریزی محلی می‌باشد (Anada, 2008:334). در این مطالعه، از مدل الکتر، به‌عنوان قاعده تصمیم‌گیری چندمعیاری، جهت سطح‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آق لاقان چای استفاده شد.

- تشریح مدل الکتر

ELECTRE یک مدل تصمیم‌گیری چند شاخصه است که برای اولین بار در اواخر دهه (۱۹۸۰) به‌عنوان یکی از بهترین فنون تصمیم‌گیری مطرح شد (Momeni, 2008: 30). این مدل، با مشخص کردن مطلوبیت گزینه‌ها و ماتریس‌های هماهنگ و ناهماهنگ، به الویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به شاخص‌های مختلف می‌پردازد. در روش الکتر از مفهوم تسلط به‌صورت ضمنی استفاده می‌شود. در این روش گزینه‌های ضعیف و مغلوب حذف می‌شوند (Roy, 1991: 49-73). اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از روش الکتر مراحل زیر باید انجام شود:

گام اول: تبدیل ماتریس تصمیم به ماتریس بی مقیاس: روش‌های مختلفی برای بی واحد کردن وجود دارد، اما در روش الکتر معمولا از رابطه (۱)، استفاده می‌شود (Tille & Dumont, 2003: 21-19).

رابطه (۱)
$$r_{ij} = \frac{xij}{\sqrt{\sum_i^m x_{ij}^2}}$$

گام دوم: تشکیل ماتریس بی مقیاس وزین: که W ماتریس قطری وزن شاخص‌هاست که تنها عناصر آن غیر صفر است و V، ماتریس وزنی است (رابطه ۲).

رابطه (۲)
$$V = N_D \,.\, W_N$$

گام سوم: تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف: در این مرحله تمامی گزینه‌ها نسبت به تمامی معیارها، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و مجموعه‌های موافق و مخالف تشکیل می‌شود (Roy, 1990: 156)، رابطه (۳).

رابطه (۳) اگر معیار مورد نظر دارای جنبه مثبت باشد:
$$S_{ke} = \{ j \mid v_{kj} \geq v_{ej} \}$$

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

و اگر معیار مورد نظر دارای جنبه منفی باشد:

$$I_{ke} = \{ j \mid v_{kj} \leq v_{ej} \}$$

گام چهارم: محاسبه ماتریس موافق و مخالف: ماتریس موافق یک ماتریس مربع m*m بوده که قطر آن فاقد عنصر می‌باشد. سایر عناصر این ماتریس نیز از جمع اوزان شاخص‌های متعلق به مجموعه‌ی موافق حاصل می‌شود (رابطه ٤).

$$C_{ke} = \frac{\sum_{j=ske} W_j}{\sum_{j-1} W_j}$$ رابطه (٤)

ماتریس مخالف نیز، یک ماتریس مربع m*m بوده که قطر آن فاقد عنصر می‌باشد. سایر عناصر این ماتریس از ماتریس بی مقیاس شده‌ی موزون به‌دست می‌آید (رابطه ٥).

$$d_{ke} = \frac{\max |v_{kj} - v_{ej}| j \in D_{ki}}{\max |v_{kj} - v_{ej}| j \in \sum A}$$ رابطه (٥)

لازم به تذکر است که اطلاعات موجود در ماتریس موافق تفاوت‌های عمده‌ای با اطلاعات موجود در ماتریس مخالف دارد و در واقع این اطلاعات مکمل یکدیگرند. تفاوت میان وزن‌ها به‌وسیله ماتریس موافق حاصل می‌شود، حال آن‌که تفاوت میان مقادیر مشخص شده به‌وسیله ماتریس مخالف به‌دست می‌آید.

گام پنجم: محاسبه ماتریس موافق مؤثر: از طریق رابطه (٦) به‌دست می‌آید.

$$\bar{C} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^{m} \sum_{\substack{e=1 \\ e \neq k}}^{m} . \frac{c_{ke}}{m(m-1)} \qquad f_{ke} = f(x) = \begin{cases} o, & C_{ke} \geq \bar{C} \\ 1, & C_{ke} < \bar{C} \end{cases}$$ رابطه (٦)

گام ششم: محاسبه ماتریس مخالف مؤثر: از طریق رابطه (٧) به‌دست می‌آید.

$$\bar{d} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq e}}^{m} \sum_{\substack{e=1 \\ e \neq k}}^{m} . \frac{d_{ke}}{m(m-1)} \qquad f_{ke} = f(x) = \begin{cases} o, & C_{ke} > \bar{C} \\ 1, & C_{ke} \leq \bar{C} \end{cases}$$ رابطه (٧)

گام هفتم: مشخص نمودن ماتریس مؤثر H: ماتریس تسلط نهایی H از ضرب تک‌تک سلول‌های (سطر و ستون)، ماتریس تسلط موافق F در ماتریس تسلط مخالف G حاصل می‌شود و از طریق رابطه (٨) به‌دست می‌آید.

$$h_{ke} = f_{ke} \cdot g_{ke}$$ رابطه (٨)

گام هشتم: حذف کردن گزینه‌های با رضایت کم‌تر و انتخاب بهترین گزینه: ماتریس تسلط نهایی H ترجیحات جزیی گزینه‌ها را بیان می‌کند. به‌طور مثال، اگر مقدار h_{ke} برابر یک باشد بدین معناست که برتری گزینه k بر گزینه e در هر حالت موافق و مخالف قابل قبول است (برتری آن از حد آستانه موافقت بیش‌تر بوده و مخالف و یا ضعف آن نیز از حد آستانه مخالف نیز کم‌تر است) و لیکن هنوز گزینه k شانس مسلط شدن توسط گزینه‌های دیگر را دارد. گزینه‌ای باید انتخاب شود که بیش‌تر از آن‌که مغلوب شود تسلط داشته باشد و از این نظر می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد (Ataei, 2008: 55-63). در واقع گزینه‌ای ارجح گزینه‌ای دیگر است که دارای کم‌ترین عدد ۱ در ستون باشد (Mirfakhredini, 2010).

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

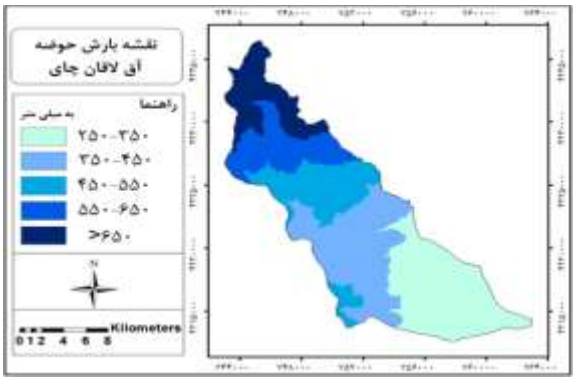
یافته‌ها و بحث

- بررسی معیارهای مطرح در سطح‌بندی خطر زمین لغزش حوضه‌ی مطالعاتی

قبل از سطح‌بندی منطقه مورد مطالعه از لحاظ پتانسیل زمین‌لغزش، بررسی عوامل مؤثر بر آن اجتناب ناپذیر است؛ زیرا درک مفاهیم و عوامل مؤثر، بر دقت روش سطح‌بندی، تأثیرگذار می‌باشد. لذا در ادامه عوامل مؤثر و دخیل در شکل‌گیری زمین لغزش در حوضه آق لاقان چای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

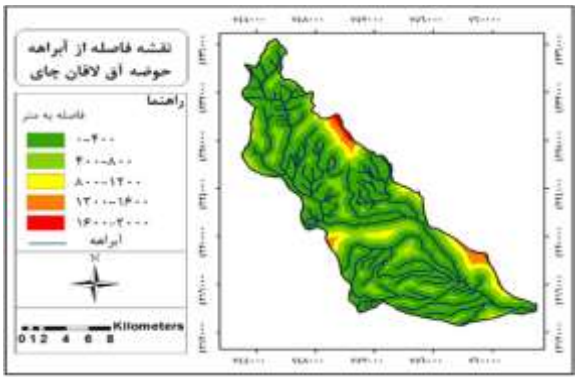
- بارش: بارش با تأثیر بر روی فشار آب منفذی و سطح آب زیرزمینی، افزایش بار دامنه و زیرشویی و از بین بردن تکیه‌گاه‌های جانبی به‌عنوان یک عامل محرک در وقوع زمین لغزش‌ها، عمل می‌نماید (KorakiNejad, 2005: 28). در حوضه‌ی آق لاقان چای، فصل بهار با ٤٠ درصد از بارش سالانه حوضه، پرباران‌ترین فصل سال می‌باشد (زیرا هنوز بادهای غربی از منطقه خارج نشده و از طرف دیگر بر اثر تابش عمودی آفتاب به دامنه‌های آفتاب‌گیر، سطح زمین بسیار گرم‌تر از اتمسفر مجاور خود شده و همرفت دامنه‌ای و در نهایت ناپایداری و بارش شدید را سبب می‌شود؛ بنابراین فصل بهار در ناحیه فصل طغیان رودهاست). با توجه به نقش بارش به‌ویژه بارش‌های رگباری و بهاری در افزایش تنش برشی و شکل‌گیری لغزش در حوضه آق لاقان چای، مد نظر قرار دادن بارش از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد. حداقل بارش حوضه، ۳۵۰-۲۵۰ میلی‌متر و حداکثر آن بیش از ٦٥٠ میلی‌متر می‌باشد (شکل ۲).

- فاصله از شبکه آبراهه: در فواصل نزدیک به شبکه آبراهه، جریان آب با زیربری و شستشوی پاشنه دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه و همچنین، با نفوذ دادن آب در سازندها (به‌ویژه ریزدانه و سست) و بالا بردن فشار آب منفذی و کاهش مقاومت برشی موجب افزایش زمین لغزش می‌گردد. در حوضه آق لاقان چای با توجه به تراکم زیاد شبکه آبراهه، توپوگرافی کوهستانی، شیب زیاد حاکم بر منطقه، بارش زیاد و نیز دائمی بودن رود آق لاقان چای، آب‌های جاری و پرآب در مسیر خود از میان سنگ‌های آتشفشانی سبلان عبور کرده و در بخش‌های نامقاوم و فرسایش‌پذیر رسوبات آذرآواری را دچار آب بردگی کرده و با زیرشویی دامنه‌ها و نفوذ دادن آب به خاک و سنگ موجب تشدید لغزش می‌گردد و این امر ضرورت توجه به عامل فاصله از آبراهه را بیش‌تر نمایان می‌کند. با توجه به (شکل ۳)، حداقل فاصله از آبراهه ٤٠٠-٠ متر و حداکثر فاصله بیش از ۳۰۰۰-۱٦۰۰ متر می‌باشد.



شکل ۲: نقشه بارش

Figure 2: Precipitation map



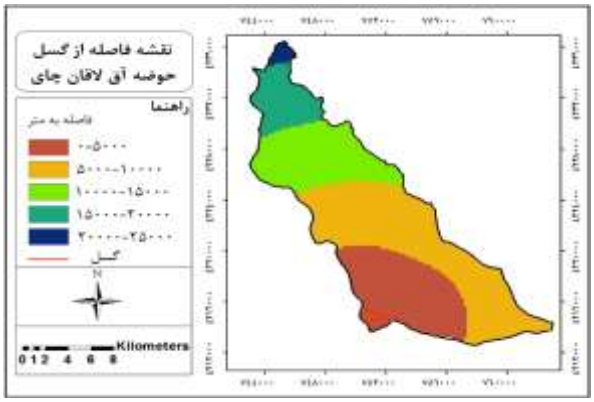
شکل ۳: نقشه فاصله از آبراهه

Figure 3: Distance from stream map

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

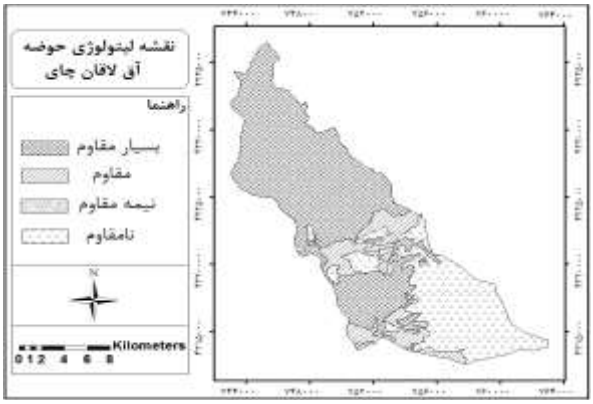
– فاصله از گسل: وجود گسل به‌عنوان عامل ثانویه و متغیر مستقل، در ایجاد حرکات توده‌ای بسیار قابل توجه است. با توجه به این که مسیر گسل‌های بالقوه بر نقاط ناپایدار زمین می‌باشند و همچنین به دلیل گسیختگی در دامنه‌ها و ایجاد شکستگی در لایه‌ها و خردشدگی توده‌های سنگی عموماً در مسیر سیستمی از درزها و شکاف‌ها ایجاد می‌گردد و در نتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردد (Roozbehani, 2010: 5). گسل‌های موجود در حوضه که به‌صورت گسل‌های فرعی می‌باشند، در قسمت کوهستانی واقع در جنوب‌غربی حوضه (قصر داغی) قرار دارند. (شکل ٤)، فاصله از گسل را، در حد فاصل صفر تا ۲۵۰۰۰ متر، نشان می‌دهد.

– لیتولوژی (مقاومت سنگ): به دلیل این‌که مقاومت سنگ‌ها بیش از جنس آن‌ها در ایجاد ناپایداری دامنه‌ای دخالت دارد، بررسی نوع لیتولوژی هر منطقه به‌عنوان بستر تشکیل حرکات دامنه‌ای از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در حوضه‌ی آق لاقان چای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی، به‌صورت آتش‌فشانی و رسوبی گسترده شده است. از جمله این واحدها می‌توان به گدازه‌های آندزیتی، گدازه‌ها و گنبدهای داسیتی، تراکی آندزیتی، بازالت و مواد آتش‌فشانی ایگنمبریت و توف قطعات انفجاری سبلان به همراه سنگ‌های رسوبی تراورتن، پادگانه‌های آبرفتی جوان و قدیمی که از تخریب و فرسایش سنگ‌های آتش‌فشانی حاصل شده‌اند اشاره کرد. لذا با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به وقوع حرکات توده‌ای، عامل لیتولوژی نقش بسیار مهمی در وقوع حرکات دامنه‌ای در حوضه مورد مطالعه دارد. در (شکل ۵)، نقشه لیتولوژی حوضه، نمایش داده شده است.



شکل ٤: نقشه فاصله از گسل

Figure 4: Distance from faults map



شکل ۵: نقشه لیتولوژی

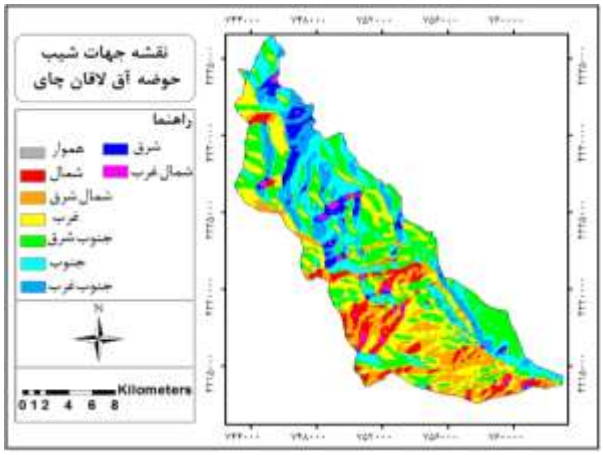
Figure 5: Lithology map

– شیب: وجود شیب در دامنه‌ها به‌عنوان اساس حرکات توده‌ای مطرح می‌باشد. شیب سبب افزایش نیروی ثقل، انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی می‌شود. لذا افزایش مقدار شیب، وضعیت تعادل مواد سازنده‌ی دامنه بر هم می‌زند و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد در دامنه می‌شود. در حوضه مورد مطالعه، متوسط مقدار شیب ۳۸

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

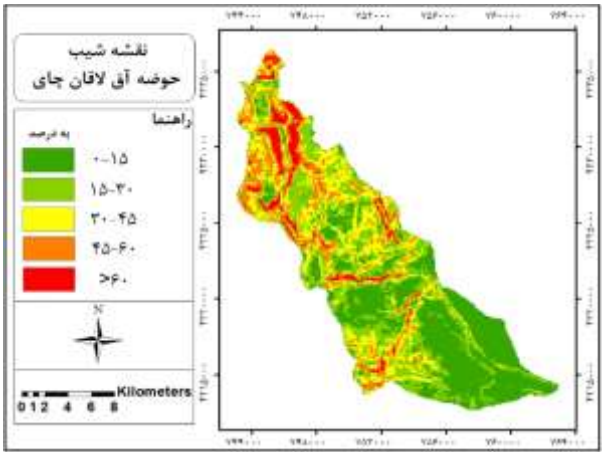
درصد می‌باشد. میزان شیب در قسمت کم ارتفاع و دشت، بین ۱۵-۰ درصد، در نواحی کوهستانی و دامنه‌های مشرف بر دره‌ها بین ۶۰-۴۵ درصد و در برخی نقاط کوهستانی حتی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز می‌باشد (شکل ٦).

- جهت شیب: جهت شیب نقش غیرقابل انکاری را در میزان و نوع هوازدگی سنگ‌ها، جذب و دریافت انرژی خورشیدی، تراکم پوشش گیاهی و میزان رطوبت ایفا می‌کند. در حالت کلی دامنه‌های شمالی به دلیل برخورداری از رطوبت بیش‌تر، ماندگاری زیاد و طولانی مدت برف، تبخیر کم‌تر (به دلیل پشت به آفتاب بودن دامنه)، برای لغزش بسیار مستعد می‌باشد (Piroozi et al, 2012: 3). (شکل ۷)، نقشه جهات شیب حوضه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل ۷: نقشه جهت شیب

Figure 7: Aspect map



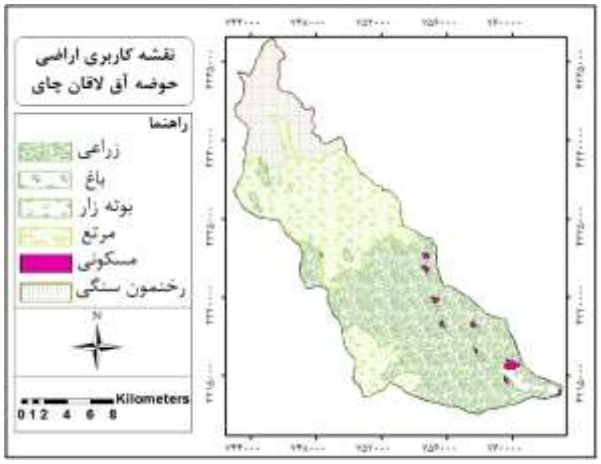
شکل ٦: نقشه شیب

Figure 6: Slope map

- کاربری اراضی: منظور از کاربری نوع و نحوه‌ی استفاده از زمین در حال حاضر است. به‌طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین کننده‌ای در تغییرات محیطی، به‌ویژه ایجاد و تشدید حرکات دامنه‌ای ایفا می‌کند و انواع مختلف کاربری‌ها عملکردهای متفاوتی در ناپایداری دامنه‌ها دارند. نوع کاربری اراضی در سطح حوضه به شش نوع کاربری زراعی (به مساحت ۷۹٤۹/۹۷ هکتار)، مرتع (به مساحت ٦۰۱۰/۳۰ هکتار)، بوته‌زار (به مساحت ٤۲/۵۳ هکتار)، مسکونی (به مساحت ۱۰۳/۷۳ هکتار)، باغ (به مساحت ۲۷۹/۳٤ هکتار) و رخنمون‌های سنگی (به مساحت ۲۲۹۰/۲۸ هکتار) تقسیم می‌گردد (شکل ۸). کاربری زراعی با توجه به عدم رعایت تناوب زارعی، کشت در اراضی شیب‌دار و افزایش رطوبت خاک از طریق آبیاری و نفوذ دادن آب بیش‌تر به زمین، از بیش‌ترین اهمیت در پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه، برخوردار می‌باشد و کاربری رخنمون سنگی با توجه به نبود خاک عمیق در منطقه کم‌ترین اهمیت را دارد.

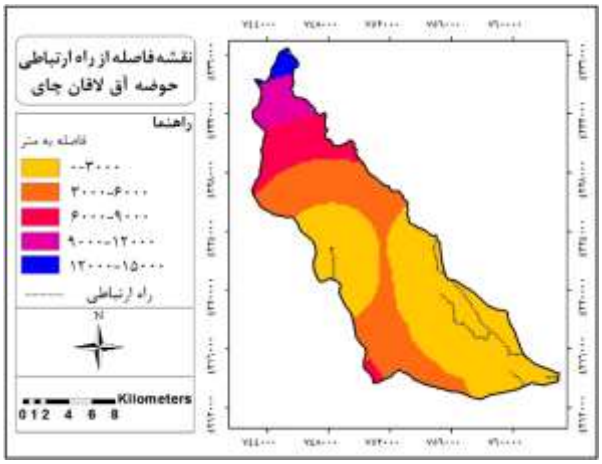
- فاصله از راه ارتباطی: عوارض خطی مانند راه‌ها به‌طور عمده، با تضعیف نیروی مقاومتی دامنه‌ها باعث کاهش ضریب اطمینان در شیب‌های طبیعی گردیده و در نتیجه پتانسیل خطر را افزایش می‌دهد. در حوضه‌ی آق لاقان چای، احداث راه‌ها، به‌ویژه راه‌های عشایری و بین روستایی یکی از مهم‌ترین عواملی است که با زیربری دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه‌ها منجر به ایجاد زمین لغزش می‌گردد. طبق (شکل ۹)، حداقل فاصله ۳۰۰۰-۰ و حداکثر فاصله ۱۵۰۰۰-۱۲۰۰۰ متر می‌باشد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی

Figure 8: Landuse map

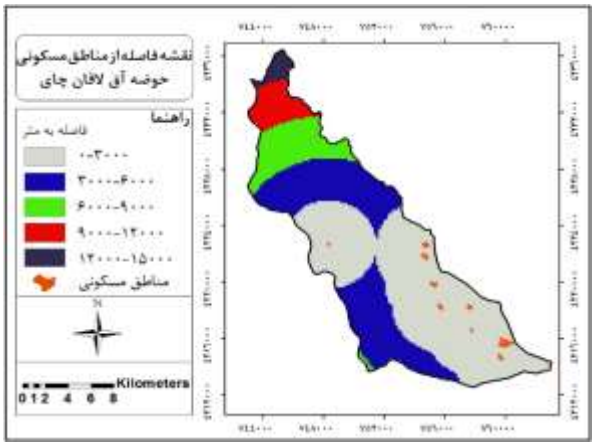


شکل ۹: نقشه فاصله از راه ارتباطی

Figure 9: Distance from roads

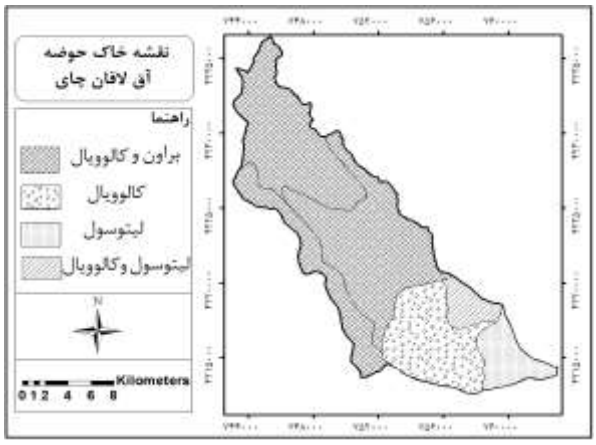
– فاصله از مناطق مسکونی: منظور از معیار فاصله از آبادی در تحقیق حاضر، در واقع، فاصله از مناطق مسکونی مربوط به شهر نیر و روستاهای واقع در حوضه (شامل: روستاهای ایرنجی، لای، ویرثق، قره‌تپه، برران، گدگه، سرخاب، گوگرجین و صندوقلو) می‌باشد. اصولاً در مناطق سکونتگاهی اهالی با تغییر درشیب به منظور ساخت خانه‌ها، جاده‌های بین سکونتگاهی و تغییر کاربری اراضی به شکل‌گیری حرکات دامنه‌ای به‌ویژه از نوع لغزش کمک می‌کنند. در (شکل ۱۰)، فاصله از مناطق مسکونی، در حد فاصل صفر تا ۱۵۰۰۰ متر نمایش داده شده است.

– خاک: خاک هر منطقه از عوامل مؤثر در ایجاد حرکات دامنه‌ای می‌باشد و انواع خاک‌ها منجر به شکل‌گیری انواع مختلفی از حرکات توده‌ای می‌شود. خاک‌های حوضه آق لاقان چای، شامل چهار نوع خاک براوون–کالوویال، کالوویال، لیتوسول و لیتوسول –کالوویال می‌باشد (Sobhani,1997: 113). به منظور سطح‌بندی زمین‌لغزش در سطح حوضه آق لاقان چای، خاک‌های ریزدانه (به‌ترتیب شامل: لیتوسول، لیتوسول–کالوویال و کالوویال) که از درصد زیادی رس، مارن و سیلت تشکیل شده‌اند و از عمق زیادی نیز برخوردارند، اهمیت زیادی دارند (شکل ۱۱).



شکل ۱۰: نقشه فاصله از مناطق مسکونی

Figure 10: Distance from residential area map

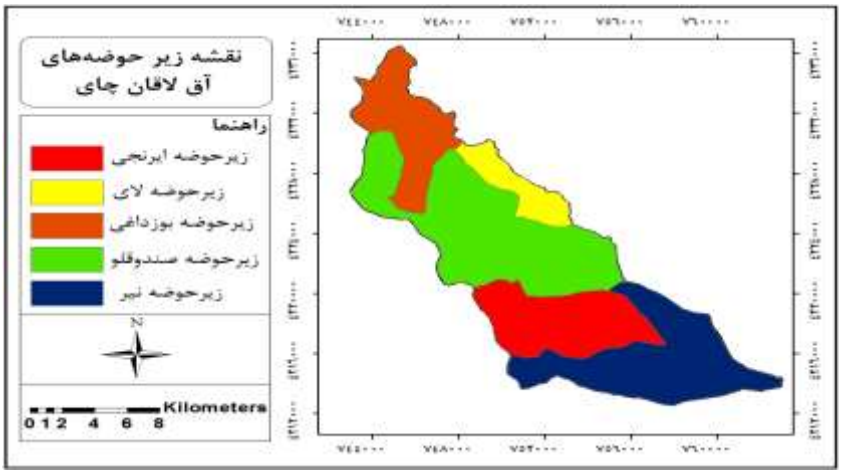


شکل ۱۱: نقشه خاک

Figure 11: Soil map

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

در ادامه تحقیق، ابتدا، با توجه به خط‌الراس کوه‌ها و شبکه آبراهه‌ها از روی نقشه توپوگرافی، حوضه آبخیز آق لاقان چای را به پنج زیر حوضه تقسیم کردیم (شکل ۱۲).



شکل ۱۲: نقشه زیرحوضه‌های آق‌لاقان چای

Figure 12: Sub basins map of Aghlaghan chay

جدول ۱- اطلاعات مورد نیاز تمامی معیارها در زیر حوضه‌های آق‌لاقان چای

Table 1- Information required by all criteria in Sub basins of Aghlaghan chay

زیر حوضه / معیار	زیر حوضه ۱ (نیر)	زیر حوضه ۲ (ایرنجی)	زیر حوضه ۳ (صندوقلو)	زیر حوضه ٤ (لای)	زیر حوضه ٥ (بوزداغی)
X_1	زراعی، باغی مرتعی، مسکونی	زراعی، مرتعی، باغی، مسکونی، بوته‌زار	مرتعی، زراعی، مسکونی، بوته‌زار	مرتعی، رخنمون سنگ، بوته‌زار	رخنمون سنگ
X_2	۰-٦٥٠٠ متر	٥٠-٥٥٠٠	۰-۸۰۰۰	۲۲۰۰-۷۰۰۰	۳۱۰۰-۱۵۰۰۰
X_3	۰-٦١٠٠ متر	۳۰-٦۰۰۰	۰-۸۰۰۰	۲۰۰۰-۷۰۰۰	۳۲۰۰-۱۵۰۰۰
X_4	۲۵۰-۵۰۰ میلی‌متر	۳۰۰-۵۰۰	۳۵۰-۷۰۰	٤۰۰-۷۵۰	۵۵۰-۷۵۰
X_5	۰-۱٤۰۰ متر	۰-۱۵۰۰	۰-۷۰۰	۰-۲۰۰۰	۰-۸۰۰
X_6	نامقاوم، نیمه‌مقاوم، مقاوم	نامقاوم، مقاوم، بسیار مقاوم	نیمه‌مقاوم، مقاوم، بسیار مقاوم	بسیار مقاوم	بسیار مقاوم
X_7	۰-۱۰۰۰۰ متر	٥۰۰-٦٥۰۰	٤٥۰۰-۱٦۰۰۰	۹۰۰۰-۱٤٥۰۰	۱۱۰۰۰-۲۵۰۰۰
X_8	کالوویال، براوون-کالوویال، لیتوسول-کالوویال (کلاس D-CB-CD، سری ۲/۲، ۸/۱،۳/۲)	لیتوسول، لیتوسول-کالوویال (کلاس C-D-CD، سری ۲/۲، ۱/٦)	لیتوسول (کلاس D و C، سری ۱/٦ و ۱/۷)	لیتوسول (کلاس D، سری ۱/۷)	لیتوسول (کلاس D، سری ۱/۸)
X_9	٦۰- ۲ درصد*	٥ -٦۰	٥ -۸۰	۱٥ -٦٥	۱۰ -۹۰
X_{10}	به ترتیب: غرب، شمال، شمال شرق، جنوب شرق، جنوب، جنوب‌غرب	شمال، غرب، شمال شرق، شمال‌غرب، جنوب‌شرق، جنوب	جنوب‌غرب، شمال، جنوب‌شرق، جنوب، غرب، شمال‌غرب	جنوب‌شرق، جنوب، جنوب-غرب، غرب	غرب، جنوب‌غرب، جنوب‌شرق، جنوب، شمال، شمال‌شرق

* لازم به ذکر است که در مورد معیار شیب، شیب‌های ۳۰- ۱۵ درصد حساسیت بیش‌تری نسبت به وقوع زمین لغزش دارند و عمدتاً در شیب‌های بالا و کم‌تر از این مقدار در منطقه، امکان شکل‌گیری حرکات لغزشی کم می‌باشد. لذا در ادامه‌ی تحقیق در مرحله تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری کمی، با توجه به وسعت شیب‌های ۳۰- ۱۵ درصد، در هر یک از زیر حوضه‌ها، ارزش‌گذاری انجام گرفت.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

مرحله عملیاتی تکنیک ELECTRE در اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آق لاقان چای: پس از جمع‌آوری داده‌ها و ترکیب آن‌ها، ماتریس داده‌های خام هر یک از معیارها در محدوده مورد مطالعه تعریف شده است. از آن جایی که در اندازه‌گیری معیارها دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، لذا لازم است که معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد گردد (Salman Mahini, 2008: 190). استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر (مانند ۰ الی ۲۵۵) است (Ashuri, 2011: 131).

در این مطالعه، مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به‌صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی در نظر گرفته شده است. ارزش عضویت یا درجه تعلق در یک مجموعه فازی را می‌توان با شماره‌ای که دامنه آن بین مقادیری چون ۰ تا ۱ یا ۰ تا ۲۵۵ قرار دارد، تعیین کرد. درجه بالای ارزش عضویت یک عنصر به معنای نسبت بالای تعلق آن به مجموعه می‌باشد (Afrouz, 2011: 108). بدین منظور، کلیه نقشه‌های پایه و اولیه به محیط ادریسی وارد شد و رستری گردید. در مرحله بعد برای معیارهایی با استفاده از تابع Distance در محیط IDRISI بر روی نقشه پراکنش شبکه آبراهه، راه ارتباطی، مناطق مسکونی و گسل حوضه، نقشه‌ی فاصله تهیه گردید. در نهایت، با استفاده از نقشه‌های فاصله از معیارهای شبکه‌ی آبراهه، گسل، راه ارتباطی و مناطق مسکونی و نقشه‌های دیگر معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه‌ی مطالعاتی (کاربری، لیتولوژی، خاک، بارش، شیب و جهت شیب)، نقشه استاندارد شده‌ی فازی معیارها تهیه شد. مقدار استاندارد شده‌ی تمامی معیارها در هر ۵ زیر حوضه آق لاقان چای، به‌صورت ماتریس ارزیابی که به‌صورت فازی می‌باشد، در (جدول ۲) نمایش داده شده است.

جدول ۲- ماتریس ارزیابی و تصمیم‌گیری کمی

Table 2- Quantitative evaluation and decision matrix

حوضه	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
نیر	۲۵۵	۲۵۵	۲۵۵	۹۱	۱۱۶	۲۵۵	۲۵۵	۲۵۵	۱۹٤	۱۹۱
ایرنجی	۲۱۳	۱۹۳	۱۹۱	۱۰٦	۹۰	۱۹۱	۲۳۳	۲۰۱	۲۱٤	۲۵۵
صندوقلو	۱۷۰	۲۱۸	۲۲٦	۱۷۰	۲۵۵	۱۲۸	۲۰۹	۱۵۰	۲۵۵	۱۲۸
لای	۱۲٦	۱۵۹	۱۳۷	۲۲۹	۵۳	٦٤	۱۳۲	۱۱۰	۲۲۱	۹٤
بوزداغی	٤۳	۹۱	۸۸	۲۵۵	۱۹۷	۵٤	۹۸	۵٤	۱۵٦	۱۱۰

معیارهای مورد بررسی پس از تکمیل به‌صورت ماتریس ۵×۱۰ (X_{ij}) از طریق رابطه استاندارد $r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_i^m x_{ij}^2}}$ شده و ماتریس R را تشکیل می‌دهند (جدول ۳).

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

جدول ۳- ماتریس R، بی مقیاس سازی معیارها

Table 3- R matrix, without scaling the criteria

حوضه	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
نیر	۰/٦٤٣	۰/٦١٣	۰/٦٠٣	۰/٢٤٤	۰/٣٢٤	۰/٦٥٥	۰/٥٨٥	۰/٦٧٥	۰/٤١٣	۰/٥١٣
ایرنجی	۰/٥٣٨	۰/٤٩٤	۰/٠٤٦	۰/٢٥٨	۰/٢٥٢	۰/٤٩	۰/٥٣٥	۰/٥٣٢	۰/٤٥٥	۰/٦٨٥
صندوقلو	۰/٤٣	۰/٥٢٥	۰/٥٣٤	۰/٤٥٧	۰/٧١٣	۰/٣٢٩	۰/٤٨	۰/٣٩٧	۰/٥٤٢	۰/٣٤٤
لای	۰/٣١٧	۰/٣٨٣	۰/٣٢٤	۰/٦١٥	۰/١٤٩	۰/٢٤٢	۰/٣٠٢	۰/٢٩١	۰/٤٧	۰/٢٥٣
بوزداغی	۰/١٠٨	۰/٢١٩	۰/٢٠٨	۰/٦٨٥	۰/٥٥١	۰/١٣٩	۰/٢٢٥	۰/١٤٣	۰/٣٣٢	۰/٢٩٦

سپس برای بیان اهمیت نسبی معیارها لازم بود که وزن نسبی آن‌ها تعیین شود. در تحقیق حاضر برای تعیین وزن معیارها، از روش مقایسه‌ای دو به دو که در ذیر روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد، در محیط برنامه Expert choice استفاده شده است (جدول ٤).

جدول ٤- وزن معیارهای به‌دست آمده در Expert chice

Table 4- The weight of the criteria obtained in Expert chice

معیار	کاربری	فاصله از راه ارتباطی	فاصله از مناطق مسکونی	بارش	فاصله از آبراهه
وزن	۰/١٠	۰/٠٤	۰/٠٦	۰/١٥	۰/٠٣
معیار	لیتولوژی	فاصله از گسل	خاک	شیب	جهت شیب
وزن	۰/١٣	۰/٠٨	۰/٠٨	۰/١٨	۰/١٠

در مرحله بعد اقدام به تشکیل ماتریس (V) می‌شود. در واقع ماتریس (V) حاصل ضرب مقادیر استاندارد هر معیار در اوزان مربوط به همان معیار است (جدول ٥).

جدول ٥- ماتریس (V): حاصل ضرب مقادیر استاندارد هر معیار در اوزان مربوط

Table 5- The product is multiplied by the standard values of each criterion in the corresponding weights

حوضه	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
نیر	۰/٠٦٥	۰/٠٥٨	۰/٠٤	۰/٠٣٩	۰/٠١٣	۰/٠٨٨	۰/٠٤٩	۰/٠٥٧	۰/٠٧٧	۰/٠٥٤
ایرنجی	۰/٠٥٤	۰/٠٤٧	۰/٠٠٣	۰/٠٤٧	۰/٠٠٩	۰/٠٦٦	۰/٠٤٤	۰/٠٤٥	۰/٠٨٥	۰/٠٧٢
صندوقلو	۰/٠٤٣	۰/٠٤٩	۰/٠٣٦	۰/٠٧٣	۰/٠٢٧	۰/٠٤٤	۰/٠٤١	۰/٠٣٣	۰/١	۰/٠٣٦
لای	۰/٠٣٢	۰/٠٣٧	۰/٠٢٢	۰/٠٩٨	۰/٠٠٦	۰/٠٣٣	۰/٠٢٦	۰/٠٢٥	۰/٠٨٧	۰/٠٢٧
بوزداغی	۰/٠١١	۰/٠٢	۰/٠١٤	۰/١٠٩	۰/٠٢١	۰/٠١٩	۰/٠١٩	۰/٠١٢	۰/٠٦٢	۰/٠٣

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

پس از این مراحل به تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف می‌پردازیم. به نحوی که گزینه‌های مختلف نسبت به همدیگر مقایسه و مجموعه معیارهای موافق و مخالف به‌دست می‌آید. با توجه به این که معیارهای ۱، ٤، ۹، ۱۰ از نوع منفی (مقدار کم‌تر= ارزش بیش‌تر) می‌باشد، مجموعه معیارهای موافق و مخالف در (جداول ٦ و ۷) نمایش داده شده است. در جدول‌های زیر به‌عنوان مثال: $C_{1,2}$، معرف رابطه‌ی زیر حوضه‌ی شماره ۱ (نیر)، با زیر حوضه‌ی شماره ۲ (ایرنجی)، از لحاظ معیارهای دهگانه‌ی مطرح در پهنه‌بندی زمین لغزش حوضه‌ی مطالعاتی می‌باشد.

جدول ٦- مجموعه معیارهای موافق (Concordance)

Table 6- A set of agreed criteria (Concordance)

$C_{1,2}$	۱، ۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹، ۱۰	$C_{3,4}$	۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸
$C_{1,3}$	۲، ٤، ٦، ۷، ۸، ۹	$C_{3,5}$	۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸
$C_{1,4}$	۲، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹	$C_{4,1}$	۱، ۳، ۱۰
$C_{1,5}$	۲، ٤، ٦، ۷، ۸، ۱۰	$C_{4,2}$	۱، ۳، ۱۰
$C_{2,1}$	۱	$C_{4,3}$	۱، ۹، ۱۰
$C_{2,3}$	٤، ٦، ۷، ۸، ۹	$C_{4,5}$	۲، ۳، ٤، ٦، ۷، ۸
$C_{2,4}$	۲، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹	$C_{5,1}$	۱، ۳، ٥، ۹، ۱۰
$C_{2,5}$	۲، ٤، ٦، ۷، ۸، ۱۰	$C_{5,2}$	۱، ۳، ٥، ۹، ۱۰
$C_{3,1}$	۱، ۳، ٥، ۱۰	$C_{5,3}$	۱، ۹، ۱۰
$C_{3,2}$	۱، ۲، ۳، ٥، ۱۰	$C_{5,4}$	۱، ٥، ۹، ۱۰

جدول ۷- مجموعه معیارهای مخالف (Discordance)

Table 7- Set of opposite criteria (Discordance)

$D_{1,2}$	۱، ٤، ۹، ۱۰	$D_{3,4}$	۱، ۹، ۱۰
$D_{1,3}$	۱، ۳، ٥، ۱۰	$D_{3,5}$	۱، ۹، ۱۰
$D_{1,4}$	۱، ۳، ۱۰	$D_{4,1}$	۲، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹
$D_{1,5}$	۱، ۳، ٥، ۹	$D_{4,2}$	۲، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹
$D_{2,1}$	۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹، ۱۰	$D_{4,3}$	۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸، ۹
$D_{2,3}$	۱، ۲، ۳، ٥، ۱۰	$D_{4,5}$	۱، ٥، ۹، ۱۰
$D_{2,4}$	۱، ۳، ۱۰	$D_{5,1}$	۲، ٤، ٦، ۷، ۸
$D_{2,5}$	۱، ۳، ٥، ۹	$D_{5,2}$	۲، ٤، ٦، ۷، ۸
$D_{3,1}$	۲، ٤، ٦، ۷، ۸، ۹	$D_{5,3}$	۲، ۳، ٤، ٥، ٦، ۷، ۸
$D_{3,2}$	٤، ٦، ۷، ۸، ۹	$D_{5,4}$	۲، ۳، ٤، ٦، ۷، ۸

تشکیل ماتریس توافق: مقدار این شاخص از جمع وزن معیارهایی که در مجموعه موافق وجود دارد، به‌دست می‌آید. به‌عنوان مثال مجموعه موافق بین گزینه‌های ۱، ٤ عبارتند از: ۱، ۳، ۱۰. وزن این ۳ معیار موافق که از مدل Expert

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

choice به‌دست آمد عبارتند از: ۰/۱، ۰/۰۹٤، ۰/۱۰۱. با جمع این اوزان ماتریس توافق برای گزینه‌های ٤، ۱ مساوی با ۰/۸۰۲ است. سایر محاسبات ماتریس توافق در (جدول ۸) آمده است.

جدول ۸- ماتریس موافق در نواحی مورد مطالعه

Table 8- Appropriate matrix in the studied areas

زیرحوضه	نیر	ایرنجی	صندوقلو	لای	بوزداغی
نیر		۰/۸٦۸	۰/۷٦٤	۰/۸۰۲	۰/۵۵۲
ایرنجی	۰/۱		۰/٦٤۳	۰/۷۷۵	۰/۵۵۳
صندوقلو	۰/۲۰٤	۰/۰۳۸		۰/٦۵٦	۰/٦۵٦
لای	۰/۱٦٦	۰/۱٦٦	۰/۲۸۵		۰/٦۱۸
بوزداغی	۰/۳۸۹	۰/۳۸۹	۰/۲۸۵	۰/۳۲۳	

تعیین ماتریس مخالف: ماتریس مخالف یا عدم توافق به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$d_{ke} = \frac{\max \left| V_{kj} - V_{ej} \right| j \in D_{ki}}{\max \left| V_{kj} - V_{ej} \right| j \in \sum A}$$

به‌عنوان مثال مجموعه مخالف بین گزینه‌های ۲، ۳ عبارتند از ۱، ۲، ۳، ۵، ۱۰ طبق فرمول ماتریس مخالف برای سایر محاسبات در (جدول ۹)، آورده شده است.

جدول ۹- ماتریس مخالف در نواحی مورد مطالعه

Table 9- Opposite matrices in studied areas

زیرحوضه	نیر	ایرنجی	صندوقلو	لای	بوزداغی
نیر		۰/۱۵۹	۰/۵۳٦	۰/٤۷۸	۰/۷۸۲
ایرنجی	۰/٦۵۲		۰/٤۷۸	۰/۳۱۸	۰/٦۲۳
صندوقلو	۰/٦۳۷	۰/۳۷٦		۰/۱۸۸	۰/۵۵
لای	۰/۸۵۵	۰/۷۳۹	۰/۳٦۲		۰/۳٦۲
بوزداغی	۱	۰/۸۹۸	۰/۵۲۱	۰/۲٤٦	

تشکیل ماتریس موافق موثر: در این مرحله یک مقدار معین برای شاخص موافق موثر مشخص می‌شود که آن را آستانه موافقت می‌نامند و با $\bar{c}$ نشان داده می‌شود. اگر مقدار موجود در مقایسه گزینه‌ها در ماتریس موافق بیش‌تر از آستانه موافقت باشد، مقدار ۱ و اگر کم‌تر از آستانه موافقت باشد مقدار صفر را به‌خود اختصاص می‌دهد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

$$\bar{C} = \sum_{\substack{k=1 \\ k\neq e}}^{m} \sum_{\substack{e=1 \\ e\neq k}}^{m} . \frac{c_{ke}}{m(m-1)}$$

در واقع آستانه موافق با توجه به فرمول عبارتست از:

$$\bar{C} = \frac{9.232}{20} = 0.461$$

۳/۱۵۹ جمع کل ماتریس موافق و M تعداد گزینه‌ها می‌باشد. در نتیجه مقدار آستانه برابر با ۰/۵۳ می‌باشد. مقادیری که در ماتریس موافق بیش‌تر از این مقدار هستند ۱ و کم‌تر از آن صفر است (جدول ۱۰).

جدول ۱۰- ماتریس تسلط موافق در نواحی مورد مطالعه

Table 10- Accepted mastery matrix in the studied areas

زیرحوضه	نیر	ایرنجی	صندوقلو	لای	بوزداغی
نیر		۱	۱	۱	۱
ایرنجی	۱		۱	۱	۱
صندوقلو	۰	۰		۱	۱
لای	۰	۰	۰		۱
بوزداغی	۰	۰	۰	۰	

تشکیل ماتریس مخالف موثر: ماتریس مخالف موثر مانند ماتریس موافق موثر تشکیل می‌شود. ابتدا باید آستانه مخالف $\bar{d}$ تعیین شود اگر مقدار موجود در مقایسه گزینه‌ها در ماتریس مخالف، کم‌تر از آستانه مخالف باشد، مقدار ۱ و اگر بیش‌تر از آستانه مخالف باشد، مقدار صفر را به‌خود اختصاص می‌دهد. مقدار آستانه مخالف برای تشکیل ماتریس تسلط مخالف عبارتست از:

$$\bar{d} = \frac{10.769}{20} = 0.538$$

۱۰/۷۶۹ جمع کل ماتریس مخالف و M تعداد گزینه‌ها می‌باشد. در نتیجه مقدار آستانه برابر با ۰/۵۳۸ می‌باشد. مقادیری که در ماتریس مخالف کم‌تر از این مقدار هستند ۱ و بزرگ‌تر از آن صفر است (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- ماتریس تسلط مخالف در نواحی مورد مطالعه

Table 11- Matrix of opposition in the studied areas

زیرحوضه	نیر	ایرنجی	صندوقلو	لای	بوزداغی
نیر		۱	۱	۱	۰
ایرنجی	۰		۱	۱	۰
صندوقلو	۰	۱		۱	۱
لای	۰	۰	۱		۱
بوزداغی	۰	۰	۱	۱	

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

تشکیل ماتریس تسلط نهایی: ماتریس تسلط نهایی از ضرب تک‌تک درایه‌های ماتریس تسلط موافق در ماتریس تسلط حاصل می‌شود. در (جدول ۱۲) این ماتریس نشان داده شده است.

جدول ۱۲- ماتریس تسلط نهایی در نواحی مورد مطالعه

Table 12- Matrix of final mastery in the studied areas

زیرحوضه	نیر	ایرنجی	صندوقلو	لای	بوزداغی
نیر		۱	۱	۱	۰
ایرنجی	۰		۱	۱	۰
صندوقلو	۰	۰		۱	۱
لای	۰	۰	۰		۱
بوزداغی	۰	۰	۰	۰	

حذف کردن گزینه‌های با رضایت کم‌تر و انتخاب بهترین گزینه: ماتریس تسلط نهایی ترجیهات جزئی گزینه‌ها را بیان می‌کند. گزینه‌ای باید انتخاب شود که بیش‌تر از آن‌که مغلوب شود، تسلط داشته باشد. از این نظر می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد. براساس این ماتریس تعداد دفعاتی که هر گزینه تسلط و غلبه داشته، محاسبه شده و در (جدول ۱۳) نشان داده شده است.

جدول ۱۳- تعداد مسلط و مغلوب شدن گزینه‌ها و انتخاب بهترین گزینه

Table 13- Number of dominant and defeated options and choose the best option

زیرحوضه	برد	باخت	جواب نهایی
نیر	۳	۰	۳
ایرنجی	۲	۱	۱
صندوقلو	۲	۲	۰
لای	۱	۳	-۲
بوزداغی	۰	۲	-۲

با توجه به این که زیر حوضه‌های لای و بوزداغی امتیاز منفی به‌خود اختصاص داده‌اند از میان گزینه‌های مطلوب مورد بررسی کنار گذاشته می‌شوند و به‌ترتیب نیر و ایرنجی بهترین گزینه انتخابی می‌باشد؛ به عبارت دیگر، نتایج حاصل از کاربرد مدل الکتر، در حوضه آبخیز آق لاقان چای نشان داد که زیر حوضه نیر با داشتن ٤٠ هکتار از مساحت حوضه و ایرنجی با پوشش ۳۰ هکتار از مساحت حوضه‌ی آق لاقان چای، به‌ترتیب بالاترین پتانسیل خطر زمین لغزش را در حوضه دارند. با بررسی نقشه‌های مربوط به هر یک از معیارها، به این نتیجه رسیدیم که دو حوضه فوق‌الذکر از لحاظ ویژگی‌های طبیعی و انسانی حاکم بر منطقه نیز، از پتانسیل بیش‌تری جهت شکل‌گیری زمین لغزش برخوردارند. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به وجود رخنمون‌های سنگ سخت در زیر و قرار گرفتن لایه‌های سست بر روی لایه‌های

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

نفوذناپذیر، کاربری اراضی زراعی، مرتع و مسکونی، وجود مساحت زیادی با شیب‌های ۳۰- ۱۵ درصد، دامنه‌های شمالی که از رطوبت بیش‌تری و تابش انرژی خورشیدی کم‌تری برخوردارند و بارندگی ۵۰۰-۲۵۰ میلی‌متر، فاصله نزدیک به مناطق مسکونی و نیز فواصل نزدیک از عوارض خطی شبکه آبراهه، راه ارتباطی و گسل اشاره کرد. نتایج همچنین نشان داد که زیر حوضه‌ی بوزداغی با مساحت معادل ۲٤ هکتار، از لحاظ پتانسیل زمین‌لغزش در سطح متوسط قرار دارد و زیر حوضه‌ی لای و صندوقلو، به‌ترتیب با ۱۱ و ۵۷ هکتار از مساحت حوضه، کم‌ترین پتانسیل زمین لغزش را در حوضه مطالعاتی دارند.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک و هیدرولوژی حوضه آق لاقان چای زمینه‌ی مناسبی را جهت پیدایش پدیده‌های ژئومورفولوژی و به‌ویژه زمین لغزش‌ها فراهم کرده است. در این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از مدل اکتر، به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره صورت گرفت. بعد از معرفی مدل الکتر به پردازش معیارهای مورد نظر در قالب همین مدل پرداخته شد. در نتیجه بعد از طی مراحل عملیاتی مدل، مناطق با پتانسیل بیش‌تر خطر زمین‌لغزش و مناطقی که احتمال خطر زمین‌لغزش آن‌ها کم‌تر است، مشخص شد. زیر حوضه نیر و ایرنجی به‌عنوان مناطق با پتانسیل خطر زمین‌لغزش بیش‌تر و بوزداغی، لای و صندوقلو به‌ترتیب به‌عنوان مناطق با پتانسیل لغزش کم‌تر شناخته شدند.

همچنین، بنابر نتایج حاصل از مطالعه، از بین عوامل مؤثر در لغزش‌های منطقه، عامل شیب، بارش و لیتولوژی به ترتیب مهم‌ترین عوامل ایجاد لغزش در منطقه می‌باشند. در مورد عامل شیب می‌توان گفت، افزایش مقدار شیب، وضعیت تعادل مواد دامنه‌ای را بر هم می‌زند و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد در دامنه می‌شود. در شیب‌های ۳۰-۱۵ درصد، مواد سطحی و اصولاً ریزدانه که مستعد برای لغزش‌اند با جذب آب و افزایش رطوبت به حد سیلانی رسیده و در دامنه‌ها شروع به حرکت می‌کنند. در بررسی عامل بارندگی، با توجه به پراکندگی فصلی بارش در سطح حوضه می‌توان گفت، لغزش‌های حوضه عموماً در پی بارش‌های سنگین و یا به دنبال ذوب برف‌ها در فصل بهار و در سازندهای مستعد (ریزدانه و سست) شکل می‌گیرند... مکانیسم فعالیت بدین‌گونه می‌باشد که آب در داخل دامنه‌هایی که از خاک‌های ریزدانه با درصد زیادی از رس، مارن و سیلت تشکیل شده‌اند و از عمق زیادی نیز برخوردارند، نفوذ می‌یابد و فشار آب منفذی خاک و تنش‌های برشی افزایش می‌یابد. لذا، با به هم خوردن حالت کلوئیدی و چسبندگی خاک، پایداری واحدهای مستعد کاهش یافته و موجب گسیختگی می‌گردد و به محض وجود سایر شرایط مانند شیب زیاد، از توده اصلی جدا شده و به سمت پایین دامنه‌ها حرکت می‌کنند. از لحاظ معیار لیتولوژی، در حوضه‌ی آق لاقان چای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی به‌صورت آتش‌فشانی و رسوبی گسترده شده است. لذا با توجه به تنوع ترکیب واحدهای زمین‌شناسی در منطقه و حساسیت متفاوت واحدهای سنگی به وقوع حرکات توده‌ای، عامل لیتولوژی نقش بسیار مهمی در وقوع زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه دارد. بررسی لیتولوژی نشانگر این

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

موضوع است که سازندهای نامقاوم از لحاظ لیتولوژی مانند Qt1 و Qt2 که سازندهای سست کواترنری هستند، دارای حساسیت بالایی نسبت به وقوع لغزش‌اند. از لحاظ لیتولوژی، در ارتفاعات واقع در بخش جنوب‌غربی حوضه مورد مطالعه (واقع در زیر حوضه‌ی نیر و ایرنجی)، چون سنگ‌ها توسط مواد آبرفتی و دیگر سازندهای سطحی که عموماً ریزدانه و مستعد برای زمین لغزش هستند، پوشیده شده‌اند. لذا سنگ‌های موجود در این نواحی کم ارتفاع منطقه در پهنه‌بندی حوضه از نظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش بسیار مستعد هستند و به علت رخنمون‌های سنگ سخت در زیر و قرار گرفتن لایه‌های سست بر روی لایه‌های نفوذناپذیر، آب‌های حاصل از بارندگی و ذوب برف‌ها در خاک‌ها نفوذ کرده و در مناطق با شیب مناسب لایه‌های فوقانی به سمت پایین دامنه‌ها می‌لغزند.

از آن جهت که اراضی پرخطر که توسط مدل معرفی شده‌اند (زیر حوضه نیر و ایرنجی)، در مناطق مسکونی و در فاصله نزدیک از روستاها و شهرها قرار دارند، این امر توجه به خطر زمین لغزش و خسارت‌های جانی و مالی ناشی از این خطر را پیش از پیش یادآوری می‌کند. لذا بایستی اقدامات حفاظتی و مدیریتی در حوضه، به منظور حفاظت از محیط‌زیست و جلوگیری از هدررفت منابع طبیعی، کاهش خسارات و آسیب‌های این پدیده مخرب و در نهایت در راستای رسیدن به توسعه پایدار صورت گیرد. همچنین نباید تخریب و کارهای غیراصولی از قبیل تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی و کاهش کمی و کیفی پوشش گیاهی در اثر چرای بی‌رویه دام‌ها، بهره‌برداری غیر اصولی از مراتع، کشت دیم در اراضی شیب‌دار (از جمله کشت غلات به‌صورت دیم در اراضی شیب‌دار و حتی بر روی واریزه‌ها)، عبور دادن آبراهه از روی دامنه جهت آبیاری اراضی و باغات کشاورزی، عدم رعایت تناوب زراعی و احداث غیراصولی جاده انجام گیرد.

همان‌گونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های مطالعه‌ی زمین لغزش‌ها به‌نوبه خود دارای مزایا و معایبی می‌باشند. این امر که یک روش در یک منطقه تا چه حد از کارایی برخوردار است به شرایط بسیاری از جمله، اقلیم و توپوگرافی و دیگر عوامل بستگی دارد. با توجه به خروجی حاصل از مدل و مقایسه‌ی آن با شرایط اقلیمی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه می‌توان، نتیجه گرفت که استفاده از روش الکتر به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای برخوردار است و نتایج حاصل از این تحقیق، با نتایج مطالعاتی که Madadi et al (2015), Piroozi et al (2013), Piroozi et al (2012) با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای انجام داده‌اند، همخوانی بسیاری دارد.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

References

- Abedini, M, Fathi, M. H., (2014), Zoning of landslide risk sensitivity in Khalkhal-Chai watershed using multi-criterion models, ***Quantitative Geomorphology Researches***, 4: 85-71. [In Persian].
- Afrouz, B., (2011), "Presenting a good model in leveling the performance of urban management in bounding for entrepreneurship development (urban case study of Ardabil)", MSc Thesis, Department of geography and urban and rural programming, Mohaghegh Ardebil University, Ardebil. [In Persian].
- Anada, J., Herath, G., (2008), "Multi-attribute preference modelling and regional land-use planning", ***Ecological economics***, 65: 325-335.
- Arab Ameri, A., Rezaei, Kh., Sherani, K., (2018), "Landslide hazard assessment and zoning using reliability model, level density and hierarchical analysis (Case study: Vanak Basin, Isfahan Province)", ***Geographical Space***, 62: 93-116. [In Persian].
- Asghari, Sh., Ghanavati, E., Shadfar, S., (2018), "Spatial analysis of indicators effecting landslides on sedimentary load in Ilam dam basin", ***Geographical Space***, 63: 299-318. [In Persian].
- Ashuri, H., (2011), "Investigating and analyzing the suitability and attractiveness of Amol industrial towns in industrial sites", MSc Thesis, Department of geography and urban and rural planning, University of Mohaghegh Ardebil, Ardebil. [In Persian].
- Ataei, M., (2008), "Choosing the right place to build alumina-cement factory by electro method", ***International Journal of Engineering***, 9 (19): 63-55. [In Persian].
- Bell, R., Glade, T., (2004), "Quantitative risk analysis for landslides, Examples from Bildudalur, NW- Iceland", ***Natural Hazards and Earth System Sciences***, 4: 117-131.
- Chingkhei, R. K., Shiroyleima, A., Robert Singh, L., Kumar, A., (2013), "Landslide hazard zonation in NH-1A in Kashmir Himalaya, India", ***International Journal of Geosciences***, 4: 1501-1508.
- Darvishzadeh, A. S., (1991), "***Iranian geology***", Student Publishing: Tehran. [In Persian].
- Eftekharnezhad, C., (1975), "Separation of different parts of Iran in terms of construction status in relation to sedimentary areas", ***Journal of the Oil Association***, 82: 19-28. [In Persian].
- Hodai, A., (2002), "Domain instability and domain risk event sensing", ***Scientific Conference of Rescue and Rescue Management Research***, Institute of Higher Scientific and Applied Crescent of Iran: Tehran, pp 461-453. [In Persian].
- Karimi Cangchini, A, Onagh, M, Saddin, A., (2011), "Comparison of efficiency of 4 quantitative and qualitative models in landslide hazard zonation in Chehel-Chay watershed in Golestan, province", ***Water and soil conservation research*** 19 (1): 183-196. [In Persian].
- Koraki Nejad, M., (2005), "Landslide hazard zonation", ***Geological Journal***, 10 (3): 30-24. [In Persian].
- Kouli, M., Loupasakis, C., Soupios, P., Vallianatos, F., (2010), "Landslide hazard zonation in high risk areas of Rethymno Prefecture, Crete Island, Greece", ***Nat Hazards***, 52: 599-621.
- Madadi, A., Ghaffari, A., Piruzi, E., (2015), "Assessment and classification of sliding risk using the Vikor model (case study: Aqlaqan Chai Watershed)", ***Quantitative Geomorphology Researches***, 4: 141-124. [In Persian].
- Mahmoudi, F. A., (2008), "***Dynamic geomorphology***", Payame Noor Publishing: Tehran. [In Persian].

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025

- Mirfakhredini, H., (2010), "Identification and prioritization of effective factors on improving quality of health care services using multi-attribute decision making (MADM), Case Study: Yazd Health Centers", ***Health Management Magazine***, Tehran, 43:73-94. [In Persian].
- Mirsanei, R., Rahmatullah, K., (2008), "An analytical attitude to the land landing features of the country", ***Proceedings of the First Conference on Geology of Environmental Engineering of Iran***, 29 september, Tarbiat Moalem University of Tehran. [In Persian].
- Momeni, M., (2008), "***New issues in operations research***", Tehran University Press. [In Persian].
- Nabavi, M. H., (1976), "***Introduction to geology of Iran***", Tehran, Publications of Geological Survey of Iran: Tehran. [In Persian].
- Piroozi, E., Madadi, A., Ghafari Gilandeh, A., (2012), Investigating the factors affecting landslide and providing conservation strategies for achieving sustainable development in the Aghlaghan Chay Watershed, ***The First National Conference on Achieving Sustainable Development in Agricultural***, Natural Resources and Environment, 20 february, Tehran, pp 1-8. [In Persian].
- Piroozi, A., Madadi, A., Ghafari Gilandeh, A., (2013), "Landslide zonation using a linear gravity composition method for environmental protection (Case study: Ahlaghan Chay watershed)", ***Seventh National Conference on Global Environment Day***, 1 may, Tehran, 1-11. [In Persian].
- Roozbehani, H., Ildemi, A., Dashti, M., (2010), "Investigating the factors of mass movement with the INRF model (Case Study; Kalan Malayer Dam basin)", Conference on the Application of Natural Geography in Environmental Planning, 4 april, Islamic Azad University, Khorramabad. [In Persian].
- Roy, B., (1990), "The outranking approach and the foundations of ELECTRE methods", In: Bana, C., Costa, A., (eds). Reading in multiple criteria decision aid, Springer-Verlag: Beling, pp 155-166.
- Roy, B., (1991), "The outranking approach and the foundation of ELECTRE Methods", ***Theory and Decision***, 31 (1): 49-73.
- Saif, A. S., Rahedan Monfared, M., (2015), "Study of landslide potential using multi-criteria decision making models (AHP and Topsis) in Chaharmahal Bakhtiari province", ***Geography and Environmental Planning***, 26 (2): 48-31. [In Persian].
- Sakar, S., Kanugo, D., Mehrotar, P., (1995), "Landslide zoning: A case study in Garhwal Himalaya, India", ***Mountain research and development***, 15 (4): 301-309.
- Salman Mahini, A., Riazi, B., Naimi, B., babaii, S., Javadi Larijani, A., (2008), "Evaluation of natural ecotourism capacity of Behshahr city based on multi-criteria evaluation method using Geographic Information System", ***Environmental Sciences and Technology***, 11 (1): 189-178. [In Persian].
- Sefidgari, R., Gayumiyan, C., Feyznaya, S., (2005), "Estimation of landslide hazard zonation methods at scale 1: 50000, Case study of Watershed Damavand watershed", ***Third National Conference on Soil and Water Conservation***, 6 august, Tehran: pp 580-574. [In Persian].
- Shadfar, S., Yamani, M., Namaki, M., (2005), "Landslide hazard zonation using information value models and surface density in Chalkarood area", ***Water and Watershed Journal***, 3 (1): 62-62. [In Persian].
- Sobhani, B., (1997), "Analysis of the Abhlaghan Chai watershed capacity using remote sensing and geographic information systems", Master Thesis, Faculty Literature of Humanities ,Tarbiat Modares University. [In Persian].

- Tille, M., Dumont, A. G., (2003), "Methods of multicriteria descision analysis within the road projects like an element of the sustainability", 3 rd Swiss Transport Research Conference, March 19-21, Monte Verita, Ascona, Switzerland.
- Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglo, AA., Yomraliglu, T., (2011), "A GIS- based comparative study of feguency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics metids for land slide susceptibility mapping in Trabzon, NE Turkey", ***Geomorphology***, 85: 274-287.

Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir at 14:30 IRST on Friday November 28th 2025