پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی، سال سوم، شماره ٤، بهار ١٣٩٤
صص. ١٤١-١٢٤

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای)

عقیل مددی *– دانشیار ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی
عطا غفاری گیلانده – استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی
الناز پیروزی – کارشناس ارشد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ١٣٩٣/٠٦/١٢ تأیید نهایی: ١٣٩٣/١٢/١٥

چکیده

زمین‌لغزش‌ها ازجمله مخاطرات طبیعی هستند که همه‌ساله موجب خسارات جانی و مالی زیاد، به‌ویژه در نواحی کوهستانی می‌شوند. 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 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 حوضه‌ی آق لاقان چای ازلحاظ خطر زمین‌لغزش می‌باشد. در این مطالعه ابتدا با بررسی‌های میدانی و مطالعه منابع، ده عامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، فاصله از مناطق مسکونی، بارش، کاربری اراضی و خاک، به عنوان عوامل مؤثر برای ایجاد لغزش در منطقه شناسایی شدند. سپس لایه‌های اطلاعاتی در سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه گردید. تحلیل و مدل سازی نهایی، در محیط ادریسی، با استفاده از روش ویکور به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. درنهایت، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغرش، در پنج رده با خطر بسیار کم تا خطر بسیار زیاد طبقه‌بندی گردید. طبق نتایج به‌دست‌آمده، ٨ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر و ٢٧ درصد نیز در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین، طبقات با خطر متوسط، کم‌خطر و بسیار کم‌خطر به ترتیب، ٣١، ٢٥ و ٩ درصد مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. به طور عمده مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در قسمت کوهستانی شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی، در سازندهایی با زیربنای سنگ سخت به همراه مواد رسوبی و سست سطحی، شیب‌های ٣٥-٢٠ درصد و مقدار بارش بالا (٥٥٠-٣٥٠ میلی‌متر) قرار دارند. به‌طورکلی نتایج مطالعه نشان می‌دهد که حوضه آق لاقان چای دارای توان بسیار بالا ازلحاظ رخداد حرکات لغزشی می‌باشد. لذا انجام اقدامات حفاظتی، آبخیزداری و مدیریتی در حوضه مطالعاتی ضروری به نظر می‌رسد.

واژگان کلیدی: آق لاقان چای، پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، مدل ویکور.

---

* نویسنده مسئول: ٠٩١٤٣٥٣٣٠٢٦ E-mail: aghil48madadi@yahoo.com

مقدمه

هر رویداد ژئومورفولوژیک که اثر نامطلوب اجتماعی، اقتصادی بر سیستم زندگی انسان برجای می‌گذارد را می‌توان یک خطر ژئومورفیک نامید (آلنستارا[1]،۲۰۰۲:۱۱۹). ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مؤثری دارد و زمانی که فعالیت‌های انسانی را تحت تأثیر قرار دهد، می‌تواند به پدیده‌ای خطرناک تبدیل شود (عبادی نژاد و همکاران،۱۳۸۶:۳۹). زمین‌لغزش، عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی درامتداد دامنه‌ها (محمودی،۱۳۸۷:۳۸). به‌طورکلی می‌توان گفت برای رخ دادن زمین‌لغزه سه شرط لازم است: اول این‌که شیب باید به‌اندازه کافی تند باشد تا توده خاک بتواند، بلغزد. دوم این‌که در عمق خاک یک‌لایه‌ی غیرقابل نفوذ یا بانفوذپذیری کم وجود داشته باشد. سوم این‌که در لایه سطحی خاک، آب به‌اندازه کافی وجود داشته باشد (رفاهی،۱۳۸۵:۱۲۶). از میان انواع حرکات دامنه‌ای زمین‌لغزش‌ها، با توجه به تکرار وقوع این پدیده و خسارات زیان‌بار آن از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. به‌عنوان‌مثال؛ بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۲۵۹۰ زمین‌لغزه 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 مترمکعب شده است (میر صانعی و کاردان،۱۳۷۸:۷۰). همچنین، بر اساس برآوردهای اولیه، سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق زمین‌لغزش‌ها بر کشور وارد می‌شود (احمدی و طالبی،۱۳۸۰:۳۲۴). اما، نکته‌ای که بایستی بدان توجه کرد این است که زمین‌لغزش‌ها ازجمله بلایایی هستند که می‌توان آن‌ها را پیش‌بینی نمود و از خسارات و آسیب‌های جانی و مالی ناشی از آن جلوگیری کرد. برای این منظور روش‌های متعددی وجود دارد که پهنه‌بندی از مهم‌ترین آن‌هاست. پهنه‌بندی عبارت از تقسیم‌بندی سطح زمین به مناطق مجزا و رتبه‌بندی کردن این مناطق، بر اساس درجه واقعی یا پتانسیل خطر ناشی از بروز زمین‌لغزش‌ها یا دیگر حرکات توده‌ای روی شیب‌ها است (شریعت جعفری،۱۳۷۵:۱۴۸). نقشه‌های پهنه‌بندی می‌تواند برنامه‌ریزان و تصمیم‌گیرندگان را در عرصه‌های مختلفی چون مدیریت و حفاظت خاک و منابع طبیعی، برنامه‌ریزی‌های عمرانی و توریستی، مکان‌یابی اراضی مناسب برای توسعه شهر و روستا، برنامه‌ریزی‌های زیست‌محیطی، تعیین مسیر راه‌ها و خطوط انتقال نیرو و انرژی یاری نماید (کرم،۱۳۸۳:۱۳۳).

حوضه آبخیز آق لاقان چای که در دامنه‌ی جنوب شرقی رشته‌کوه سبلان قرارگرفته است، به لحاظ وضعیت خاص منطقه، مانند توپوگرافی (کوهستانی و مرتفع بودن حوضه)، شیب زیاد، وجود مواد سطحی سست و نا مقاوم بر روی سازندهای مقاوم، شرایط اقلیمی و حاکمیت سیستم پریگلاسیر از پتانسیل بالایی برای وقوع حرکات دامنه‌ای برخوردار می‌باشد. ازآن‌جهت که وقوع حرکات دامنه‌ای و به‌ویژه لغزش‌ها، منجر به آسیب‌ها و خسارات متعدد، ازجمله تخریب راه-های ارتباطی، پر شدن مخزن سد یامچی واقع در پایین‌دست حوضه و هدر رفتن منابع باارزش خاک در حوضه آق لاقان چای می‌گردد، پهنه‌بندی سطح حوضه ازلحاظ حساسیت به وقوع زمین‌لغزش ضروری می‌باشد. در هر مطالعه یک سری از اهداف در نظر گرفته می‌شود و مطالعات در راستای دستیابی به این اهداف جهت می‌گیرند. اهداف این تحقیق عبارت‌اند از: شناخت عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در حوضه مطالعاتی، پهنه‌بندی سطح حوضه ازلحاظ حساسیت به وقوع زمین‌لغزش، شناسایی مناطق با خطر زیاد و ارائه راه‌کارهای مناسب جهت کنترل و کاهش اثرات ناشی از حرکات لغزشی.

مطالعات ارزنده‌ای، به‌ویژه در سال‌های اخیر با روش‌های مختلفی، به‌منظور مطالعه زمین‌لغزش‌ها در نواحی مختلف ایران و جهان، صورت گرفته است. برای مثال در ایران، بهنیافر و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از مدل AHP و منطق فازی در

[1] - Alcantara

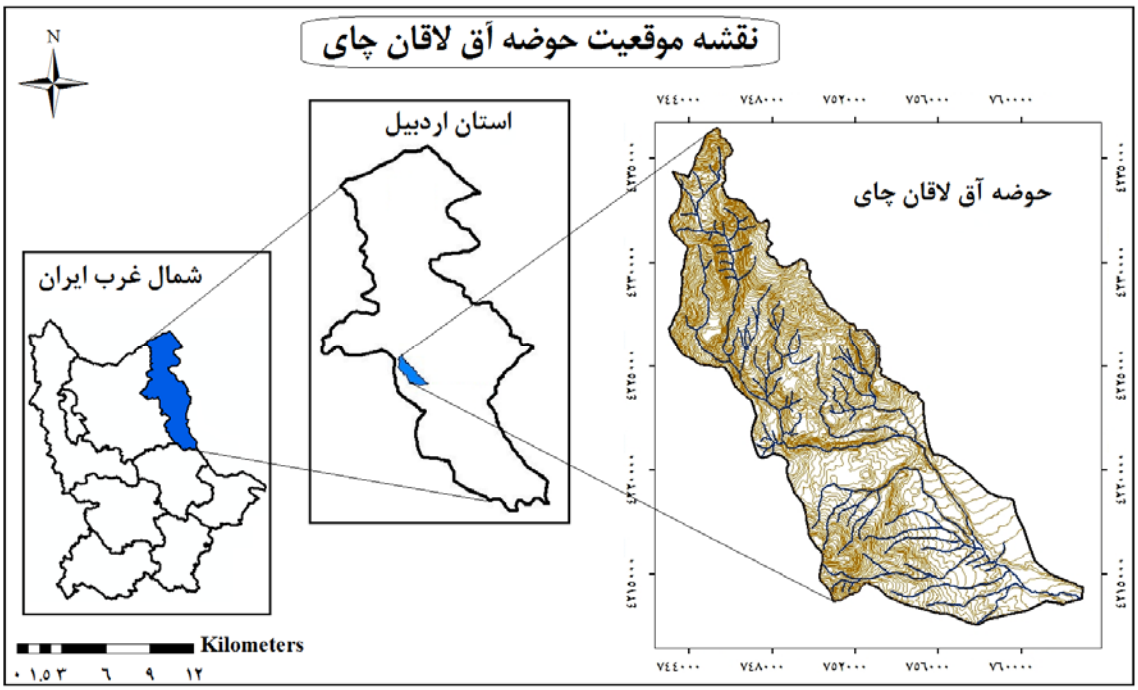
حوضه آبریز فریزی در دامنه‌ی کوه‌های بینالود به پهنه‌بندی زمین‌لغزش پرداختند، طبق این مطالعه ۶۸ درصد از حوضه در معرض خطر بحرانی و متوسط زمین‌لغزش قرارگرفته است. فرداد و همکاران (۱۳۸۹) از روش منطق فازی و شبکه عصبی و GIS در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه مال خلیفه در استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند، نتایج مطالعه حاکی از این امر بود که درروش منطق فازی با دخالت نظر کارشناسی خبره و انتخاب بهینه عملگر فازی AND، جوابی بهینه و منطبق بر محیط طبیعی در سطح حوضه مطالعاتی ارائه می‌گردد. کریمی سنگ چینی و همکاران (۱۳۹۰) در حوضه چهل چای استان گلستان، از روش‌های WLC، AHP و رگرسیون لجستیک و روش آماری چند متغیره، به‌منظور پهنه‌بندی ریسک‌پذیری زمین‌لغزش استفاده کرده‌اند، نتایج نشان داد که مدل ترکیب خطی وزنی بعد از روش آماری از مطلوبیت بالایی برخوردار می‌باشد. بیدار (۱۳۹۱)، در مطالعه‌ای با به‌کارگیری روش AHP در مسیر ارتباطی مشکین‌شهر- موئیل، پهنه‌بندی زمین‌لغزش را انجام داده است. بر اساس نتایج این مطالعه، مناطق با خطر بسیار زیاد و زیاد در اطراف جاده، در امتداد رودخانه و در محدوده‌ی کوهستانی قرار دارند. پیروزی و همکاران (۱۳۹۱)، با استفاده از مدل هم‌پوشانی وزنی، پهنه‌بندی زمین‌لغزش را در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای انجام دادند. طبق نتایج به‌دست‌آمده دو عامل شیب کاربری اراضی به ترتیب مهم‌ترین عامل در وقوع زمین‌لغزش منطقه موردمطالعه می‌باشند و نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیشتر وسعت منطقه پرخطر در کلاس شیب ۲۰-۳۵ قرارگرفته است و شیب ۵-۲۰ در درجه دوم اهمیت قرار دارد. پیروزی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را در حوضه‌ی آبخیز آق لاقان چای با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل چند معیاری، انجام دادند. با توجه به نتایج مطالعه، طبقه با خطر زیاد و بسیار زیاد به ترتیب ۳۶ و۸ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می‌شوند. همچنین طبق نتایج حاصل از این مطالعه، مناطق بسیار پرخطر، ازلحاظ لیتولوژی دارای سازندهای سست و نا مقاوم آبرفتی کواترنر می‌باشند و اغلب کاربری‌های نواحی پرخطر زراعی، مسکونی و مرتع می‌باشد. عابدینی و فتحی (۱۳۹۳)، 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 حدود۴۶/۳۰ در زمره مناطق با لرزه‌خیزی زیاد در مناطق شرق و شمال شرق حوضه واقع‌شده‌اند. همچنین در خارج از ایران، لی[1] (۲۰۰۷)، در کره؛ از روش فازی و تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش استفاده کرد و درنهایت مناسب بودن روش فازی جهت مطالعه زمین‌لغزش‌ها نسبت به سایر روش‌ها مورد تأیید قرار گرفت. کولی و همکاران[2] (۲۰۱۰) 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 زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. یالکین و همکاران[3] (۲۰۱۱) 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 به ترتیب بیشترین نقش را در وقوع لغزش منطقه داشته‌اند. چاینگ‌هی و همکاران[4] (۲۰۱۳)، 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 زمین‌لغزش را انجام داده‌اند. درنتیجه، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شش کلاس شدید، بسیار بالا، بالا، متوسط، کم و بسیار کم به دست آمد و نتایج مطالعه نشان داد که استفاده از روش AHP در منطقه موردمطالعه از دقت نسبی خوبی برخوردار است. با توجه به پیشینه تحقیق، از آن نظر که الگوهای تصمیم‌گیری چند معیاره ازجمله الگو-های تصمیم‌گیری است که در دو دهه اخیر از استقبال بالایی برخوردار بوده است، در این بررسی نیز درنهایت از مدل

[1] - lee
[2] - Kouli et al
[3] - Yalcin et al
[4] - Chingkhei et al

ویکور که بر اساس رویکرد برنامه‌ریزی مطلوب و بهینه‌سازی چندمعیاره پایه‌ریزی گردیده است، به‌عنوان قاعده تصمیم-گیری چند معیاری جهت پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای استفاده شد.

معرفی حوضه موردمطالعه

حوضه آبخیز آق لاقان چای با وسعت ۱۶۶ کیلومترمربع در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و۱۴ دقیقه عرض شمالی و۴۷ درجه و۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه طول شرقی قرارگرفته است و از زیر حوضه‌های بالیخلوچای اردبیل محسوب می‌شود. این حوضه در شمال غرب ایران و در دامنه جنوب شرقی کوه سبلان واقع‌شده است (شکل ۱). حوضه موردمطالعه 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 سایین هم‌جوار می‌باشد. حداکثر ارتفاع حوضه ۴۳۸۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۱۶۲۰ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب متوسط حوضه نیز ۳۸ درصد است. با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، اقلیم منطقه نیمه‌خشک سرد می‌باشد. ازنظر زمین ساختی منطقه موردمطالعه در زون زمین ساختی البرز غربی–آذربایجان قرار دارد (بر اساس تقسیم‌بندی نبوی (۱۳۵۵)، افتخارنژاد (۱۳۵۹) و درویش‌زاده (۱۳۷۰)).



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

روش تحقیق

در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوضه موردمطالعه (شامل: شیب، جهت شیب، لیتولوژی، کاربری اراضی، خاک، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه، فاصله از مناطق مسکونی و فاصله از گسل)، با بررسی‌ها و پیمایش‌های میدانی و با توجه به شرایط طبیعی و انسان 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 رقومی‌سازی از روی نقشه توپوگرافی شهرستان نیر بامقیاس ۱:۵۰۰۰۰ به دست آمد. لایه‌های طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب با استفاده از خطوط منحنی میزان در محیط Arc map تهیه گردید. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها) و گسل با رقومی‌سازی از روی نقشه زمین‌شناسی مشکین‌شهر 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 تهیه‌کرده‌اند، استفاده کردیم (سبحانی،۱۳۷۶:۱۱۳). نقشه بارش منطقه موردمطالعه را با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی در داخل حوضه و هم‌چنین ایستگاه‌های مجاور (جدول ۱)، و با به دست آوردن معادله گرادیان بارش حوضه (P= 0.228 H-86.64) و نیز استفاده از مدل رقومی ارتفاعی به دست آوردیم. سپس تمامی لایه‌ها به محیط ادریسی وارد شد و با استفاده از مدل ویکور[1] مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. درنهایت، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه‌ی آق لاقان چای تهیه گردید.

جدول(۱): مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع از سطح دریا به متر	عرض شمالی	طول شرقی
اردبیل	باران‌سنجی	۱۳۶۵	۳۸ درجه و ۱۳ دقیقه	۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه
نیر		۱۶۲۳	۳۸ درجه و ۲ دقیقه	۴۸ درجه و ۱ دقیقه
لای		۲۰۳۸	۳۸ درجه و ۶ دقیقه	۴۸ درجه و ۵۴ دقیقه
سرعین		۱۶۹۲	۳۸ درجه و ۹ دقیقه	۴۸ درجه و ۴ دقیقه
اردبیل	سینوپتیک	۱۳۲۵	۳۸ درجه و ۱۳ دقیقه	۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه

منبع: سازمان هواشناسی و آب منطقه‌ای اردبیل

مدل Vikor، مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است. تأکید این روش بر رتبه‌بندی و انتخاب از مجموعه‌ای از گزینه و تعیین راه‌حل توافقی برای مسأله با معیارهای متضاد می‌باشد (چن و وانگ[2]،۲۰۰۹:۲۲۴). در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسأله در زمان شروع و طراحی آن نیست، این روش می‌تواند به‌عنوان ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود (عطائی،۱۳۸۹:۸۷). بنابراین، این روش روی دسته-بندی و انتخاب از یک مجموعه گزینه تمرکز داشته و جواب‌های سازشی را برای یک مسأله با معیارهای متضاد تعیین می‌کند. اگر در یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل الگوریتم پیاده‌سازی فازی ویکور دارای گام‌های زیر است (آپرویچ و تزنگ[3]،۲۰۰۶:۲).

مرحله اول: تشکیل ماتریس تصمیم با توجه به تعداد معیارها، تعداد گزینه‌ها و ارزیابی همه گزینه‌ها برای معیاهای مختلف ماتریس تصمیم، به‌صورت (رابطه۱) است. این ماتریس بر اساس n آلترناتیو و m شاخص است، که در آن x_{ij} عملکرد گزینه i (i:1,2,…,m) در رابطه با معیار j (j:1,2,…,n) می‌باشد.

$$Xij = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{22} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

مرحله دوم: بی‌مقیاس کردن یا استانداردسازی ماتریس تصمیم می‌باشد. در این مرحله سعی می‌شود، معیارها با ابعاد مختلف به معیارهایی بی بعد تبدیل شوند. به‌عبارت‌دیگر، در فرایند ارزیابی ممکن است معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی موردسنجش قرار گیرند (مانند درصد در اندازه‌گیری شیب و متر در اندازه‌گیری فاصله از گسل)، نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آن‌ها به انجام رسانید. حال اگر بخواهیم سرجمع امتیازی را که یک پیکسل، به لحاظ معیارهایی چون شیب و فاصله از گسل کسب کرده است، محاسبه کنیم این کار بدون استانداردسازی توأم باارزش-

---

[1] -Vlsekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (واژه صربستانی)

[2] - Chen and Wang

[3] - Opricovic and Tzeng

گذاری میسر نخواهد بود. در این تحقیق از روش فازی جهت استانداردسازی استفاده‌شده است. مجموعه‌های فازی به آن دسته از مجموعه‌ها یا طبقاتی از صورت‌وضعیت‌های یک پدیده یا موضوع هستند که دارای محدوده‌های تعریف‌شده دقیقی نیستند (مالچفسکی[1]، ۱۳۸۵: ۲۳۳). برای استانداردسازی فازی نقشه‌های معیار از نرم‌افزار ادریسی و از توابع و قالب‌های عضویت افزایشی به‌صورت یکنواخت، کاهشی به‌صورت یکنواخت و سایمتریک استفاده‌شده است. در مجموعه-های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار ۲۵۵ به حداکثر عضویت و کم‌ترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (سویی[2]،۱۹۹۹:۱۰۳)

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیار است. در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود. به‌عبارت‌دیگر در این مرحله وزن‌ها (wj) اختصاص‌یافته به هر صفت را تعیین می‌کنیم؛ مجموع وزن‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که $0 \leq w_j \leq 1$ و $\sum_j w_j = 1$ به دست آید.

رابطه (۲)

به‌منظور وزن‌دهی معیارها، روش‌های متعددی؛ همچون Linmap, CRITIC, AHP, ANP و بردار ویژه، آنتروپی شانون وجود دارد. در این پژوهش جهت وزن‌دهی عوامل از روش CRITIC استفاده‌شده است. در این روش داده‌ها بر اساس میزان تداخل و تضاد موجود بین عوامل یا معیارها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌گیرند. درروش CRITIC برای هر معیار ارزیابی دامنه‌ای از تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده در میان پیکسل‌ها (گزینه) وجود دارد که در قالب یک تابع عضویت بیان می‌شوند. هرکدام از بردارهای تشکیل‌شده برای معیارهای مورداستفاده، دارای پارامترهای آماری ازجمله انحراف معیار هستند. این پارامترها نمایانگر درجه تباین در مقادیر معیار مربوطه می‌باشد. پس از محاسبه انحراف معیار عوامل و معیارهای موردبررسی، ماتریس متقارنی به ابعاد m×m ایجاد می‌گردد که شامل ضرایب همبستگی بین بردارهای تشکیل‌شده می‌باشد. با تعیین پارامترهای فوق، تضاد موجود بین معیار j با معیارهای دیگر از روی (رابطه۳) محاسبه می‌شود:

رابطه (۳)

رابطه(۳) که در آن Cjk معرف مجموع تضاد معیار j با معیارهای k است که از k=1 شروع‌شده و تا k=m ادامه دارد و rjk، همبستگی بین دو معیار k و j را نشان می‌دهد. میزان اطلاعات عامل j را با استفاده از رابطه (۴) می‌توان محاسبه نمود.

رابطه (۴)

رابطه (۴) که در آن Cj، معرف میزان اطلاعات معیار j و انحراف معیار در مقادیر مربوط به عامل یا معیار j را نشان می‌دهد. با توجه به روابط فوق، معیارهایی که دارای Cj بیشتری باشند وزن زیادی به خود اختصاص خواهند داد. وزن هر عاملی مانند j از رابطه (۵) تعیین می‌گردد.

$$Wj = \frac{cj}{\sum_{k=1}^{m} c_k}$$

رابطه (۵)

[1] - Malchefeski
[2] - Sui

رابطه (۵) که در آن Wj معرف وزن معیار j ، و Ck معرف میزان اطلاعات مجموع معیارهای k است که از k=1 شروع‌شده و تا k=m ادامه دارد.

مرحله چهارم: تعیین بهترین و بدترین مقدار، از میان مقادیر موجود برای هر معیار می‌باشد. بهترین مقدار (f_j^*) و بدترین مقدار(f_j^-) برای معیارها به ترتیب از روابط (۶ و ۷) محاسبه می‌شوند. در این مطالعه بهترین مقدار برای معیارها با توجه به نقشه استانداردشده فازی ۲۵۵ و بدترین مقدار صفر در نظر گرفته شد.

رابطه (۶)

رابطه (۷) $$fj^- = {}^{min}_{i}\, f_{ij}$$

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسف (R) می‌باشد. در این مرحله مقدار S با توجه به رابطه (۸) و R با توجه به رابطه (۹) محاسبه می‌شوند:

رابطه (۸)

رابطه (۹) $$R_i = Max\left\{wi\,\frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-}\right\}$$

که wj مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشه معیار می‌باشد. در مطالعه حاضر با توجه به قابلیت‌های نرم‌افزار ادریسی و با استفاده از وزن هر معیار که با روش کرتیک به‌دست‌آمده بود و بهترین و بدترین مقدار هر معیار و نیز لایه‌ی اطلاعاتی هر عامل مرحله پنجم، با جانمایی در رابطه‌های فوق‌الذکر انجام گرفت.

مرحله ششم: محاسبه شاخص VIKOR (مقدارQ)می‌باشد. مقدارQ با توجه به رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود:

رابطه (۱۰)

در فرمول فوق $S^- = MinS_i$ ،$S^* = MaxS_i$ ، $R^- = MinR_i$ ، $R^* = MaxR_i$می‌باشد.

در این روابط:$\frac{S^*-S^-}{S_i-S^-}$ = بیان‌کننده نرخ فاصله از حل ایدئال می‌باشد.

$\frac{R^*-R^-}{R_i-R^-}$با توجه به میزان توافق گروه v بیان‌کننده نرخ فاصله از حد ضد ایدئال و پارامتر تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. در صورت توافق بالا، مقدار آن بیش از ۰/۵، در صورت توافق با اکثریت آرا مقدار آن مساوی۰/۵ و در صورت توافق پائین، مقدار آن کمتر از ۰/۵ خواهد بود. مقدارQ تابعی از S_i و R_i می‌باشد. در این مطالعه این مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شد

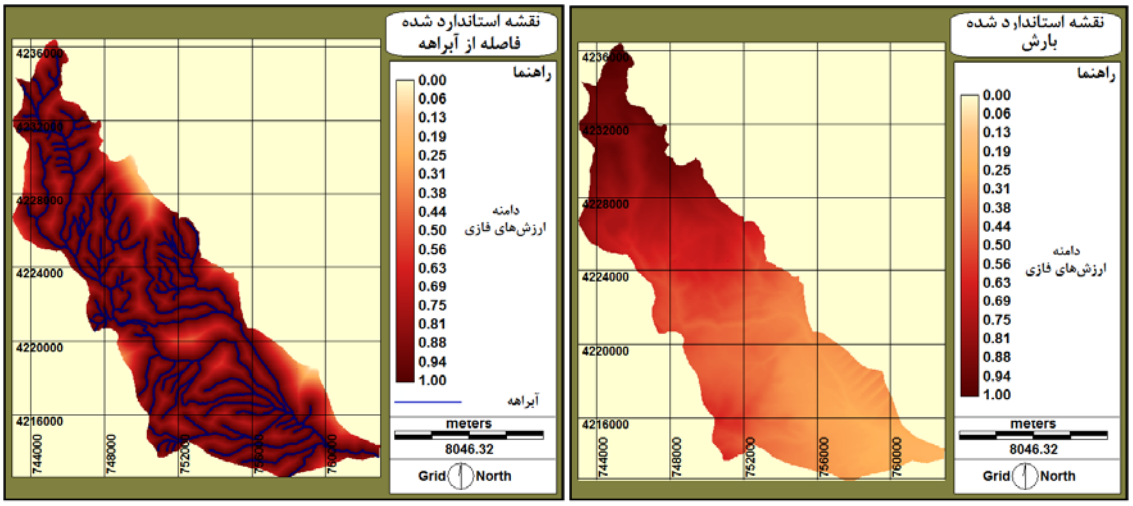
مرحله هفتم: مرتب کردن گزینه‌ها بر اساس مقادیر R، S و Q است. در این مرحله با توجه به مقادیر R، S و Q گزینه-ها در سه گروه از کوچک‌تر به بزرگ‌تر مرتب می‌شوند و درنهایت گزینه‌ای به‌عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شود که در هر سه گروه به‌عنوان گزینه برتر شناخته شود (عطائی،۱۳۸۹:۹۱-۹۰).

- بحث و یافته‌ها

- بارش: در میان عوامل هیدرو اقلیم، بارش از اهمیت فراوانی برخوردار است. 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

حرکات توده‌ای عمل می‌نماید (کورکی‌نژاد،۲۸:۱۳۸۴). در استانداردسازی عامل بارش، جهت پهنه‌بندی لغزش با توجه به نقش بارش به‌ویژه بارش‌های بهاری در افزایش تنش برشی و شکل‌گیری لغزش در حوضه آق لاقان چای، مناطق با بارش زیاد که عمدتاً در نواحی کوهستانی و مرتفع حوضه گسترده شده‌اند، ارزش فازی زیاد دریافت نمودند و مناطق با بارش کم (در واحد دشت و کم ارتفاع حوضه) به تبع، دامنه‌ی ارزشی کم دریافت کردند(شکل ۲).

– فاصله از شبکه آبراهه: آب‌هایی که بر سطح دامنه (رواناب‌ها) و آب‌هایی که در بین مواد نفوذ می‌کنند از عوامل تحریک‌کننده مواد دامنه‌ای هستند. هرجایی که شیب دامنه‌ها افزایش زیادی داشته باشد و جنس سازندها نیز مناسب باشد، آبراهه‌ها با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه مواد دامنه‌ای در ایجاد انواع حرکات توده‌ای، مخصوصاً لغزش نقش بسیار مهمی ایفا می‌کنند. در حوضه‌ی 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 نا مقاوم و فرسایش‌پذیری رسوبات آذرآواری را دچار آب بردگی کرده و با زیرشویی دامنه‌ها و نفوذ دادن آب به خاک و سنگ موجب تشدید لغزش می‌گردد. در نقشه‌ی استانداردشده‌ی فاصله از آبراهه حوضه مطالعاتی (شکل ۳)، نواحی مستعد جهت ایجاد زمین‌لغزش، که منطبق بر فواصل نزدیک به شبکه آبراهه حوضه موردمطالعه می‌باشند، با دامنه ارزشی بالا (ارزش ۱) نمایش داده‌شده‌اند و برعکس.

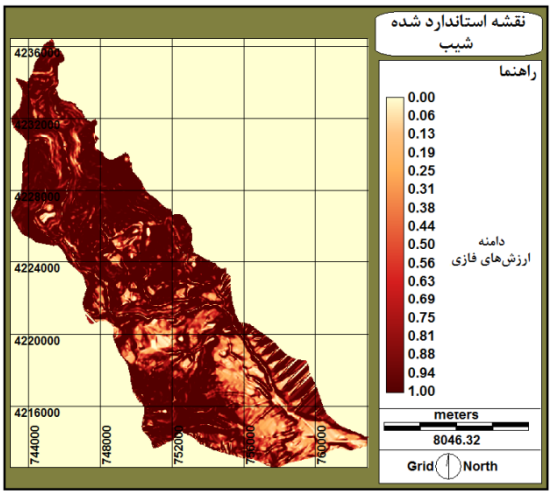


شکل۲: نقشه استانداردشده‌ی بارش شکل۳: نقشه استانداردشده‌ی فاصله از آبراهه

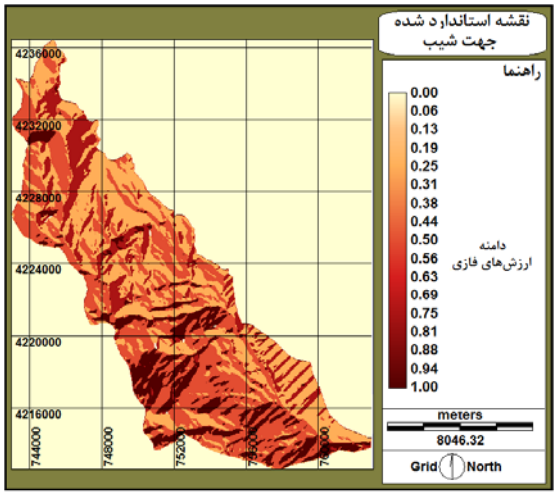
– شیب: وجود شیب در دامنه‌ها به‌عنوان اساس حرکات توده‌ای مطرح می‌باشد. وجود این عامل به‌صورت بحرانی، نقش تأثیرگذار عوامل دیگر، در حرکات توده‌ای را تشدید می‌نماید. در حوضه موردمطالعه، میزان شیب در قسمت کم ارتفاع و دشت، بین ۱۵–۰ درصد، در نواحی کوهستانی و دامنه‌های مشرف بر درّه‌ها بین ۶۰–۴۵ درصد و در برخی نقاط کوهستانی حتی میزان شیب بالای ۶۰ درصد نیز می‌باشد. با توجه به مقدار شیب موجود در منطقه، ارزش‌گذاری بر مبنای درجه عضویت فازی در حدفاصل بین ۱–۰ طیف‌بندی شده‌اند (شکل ۴). هرچه قدر به عدد ۱ نزدیک می‌شویم درجه تناسب بر پایه عمل شیب ،جهت وقوع لغزش افزایش می‌یابد (شیب‌های ۳۰–۱۵). در مقابل، هر چه شیب از مقدار بحرانی، کم و یا زیاد می‌شود، دامنه‌ی ارزش هم کاسته می‌شود.

– جهت شیب: جهت شیب نقش غیرقابل‌انکاری را در میزان و نوع هوازدگی سنگ‌ها، جذب و دریافت انرژی خورشیدی، تراکم پوشش گیاهی و میزان رطوبت ایفا می‌کند. این عامل به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای مدنظر قرارگرفته می‌شود. به‌منظور پهنه‌بندی لغزش، در سطح حوضه آق لاقان چای به ترتیب دامنه‌های شمالی، غربی و شمال غربی به دلیل دریافت بارش زیاد، ماندگاری طولانی‌مدت برف و داشتن رطوبت بیشتر،ارزش بالا دریافت کردند

(پیروزی،۱۳۹۱:۳). دامنه‌های جنوبی، شرقی، جنوب شرقی کم‌ترین ارزش را به خود اختصاص دادند و دامنه‌های جنوب غربی، شمال شرقی و هموار نیز به ترتیب ارزش‌های در حد وسط میان دو ارزش بالا و پایین دریافت کردند (شکل ۵).



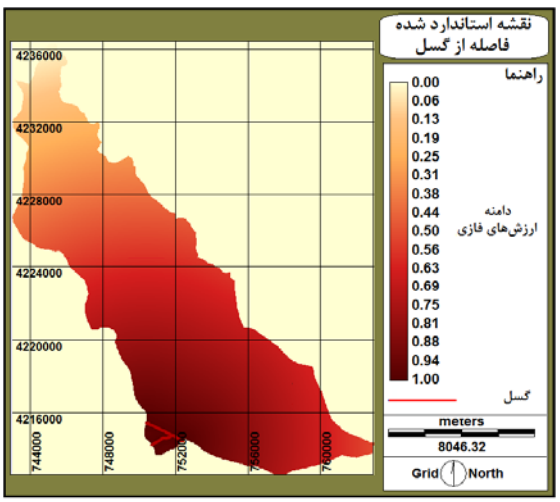
شکل۴: نقشه استانداردشده‌ی شیب



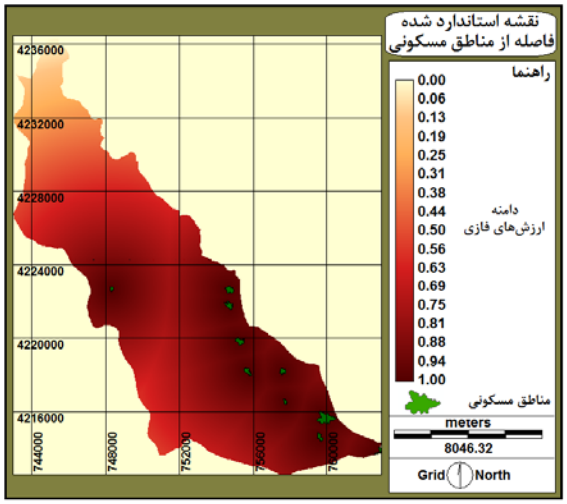
شکل۵: نقشه استانداردشده‌ی جهت شیب

– فاصله از گسل: وجود گسل به‌عنوان عامل ثانویه و متغیر مستقل، در ایجاد حرکات توده‌ای بسیار قابل‌توجه است. با توجه به اینکه 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 درنتیجه نفوذ آب به داخل زمین موجب کاهش مقاومت برشی دامنه می‌گردد (روزبهانی و همکاران،۱۳۸۹:۵). پراکنش تعداد گسل‌ها در سطح حوضه آق لاقان چای کم می‌باشد و گسل‌های موجود در حوضه که به‌صورت گسل‌های فرعی می‌باشند، در قسمت کوهستانی واقع در جنوب غربی حوضه (قصر داغی) قرار دارند. از آن نظر که میان فاصله از گسل و تأثیر آن در وقوع زمین‌لغزش، رابطه معکوس وجود دارد، لذا با افزایش فاصله از گسل دامنه ارزشی اختصاص داده‌شده به این معیار کاهش داده شد و برعکس با نزدیک شدن به گسل دامنه ارزشی فازی به‌تدریج افزایش داده شد (شکل ۶).

– فاصله از مناطق مسکونی: اصولاً در مناطق سکونتگاهی اهالی با تغییر درشیب به‌منظور ساخت خانه‌ها، جاده‌های بین سکونتگاهی و تغییر کاربری اراضی به شکل‌گیری حرکات دامنه‌ای به‌ویژه از نوع لغزش کمک می‌کنند. در حوضه آبخیز آق لاقان چای، با توجه به مطالعات میدانی می‌توان گفت، بهره‌برداری غیراصولی از مراتع، تخریب پوشش گیاهی در اثر تبدیل اراضی مرتعی به زراعی، کشت دیم در اراضی شیب‌دار (ازجمله کشت غلات به‌صورت دیم در اراضی شیب‌دار و حتی بر روی واریزه‌ها)، چرای بی‌رویه و بیش از ظرفیت دام‌ها، عبور دادن آبراهه از روی دامنه جهت آبیاری اراضی و باغات کشاورزی ازجمله‌ی مهم‌ترین نقش فعالیت‌های انسانی در اراضی اطراف مناطق شهری و روستایی در حوضه آق لاقان چای است که منجر به ایجاد و تشدید حرکات لغزشی می‌شود. لذا، با در نظر گرفتن این امر که فواصل نزدیک به آبادی بیشتر مستعد لغزش هستند، ارزش‌گذاری و استانداردسازی مقادیر فاصله از روستاها در فاصله بین ۱–۰ (شکل۷) به‌دست‌آمده است.



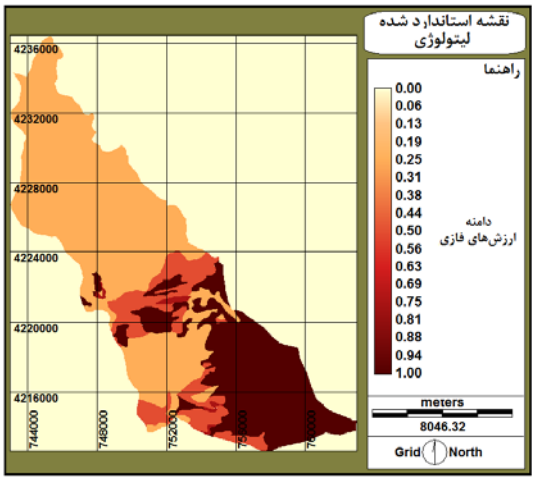
شکل۶: نقشه استانداردشده‌ی فاصله از گسل



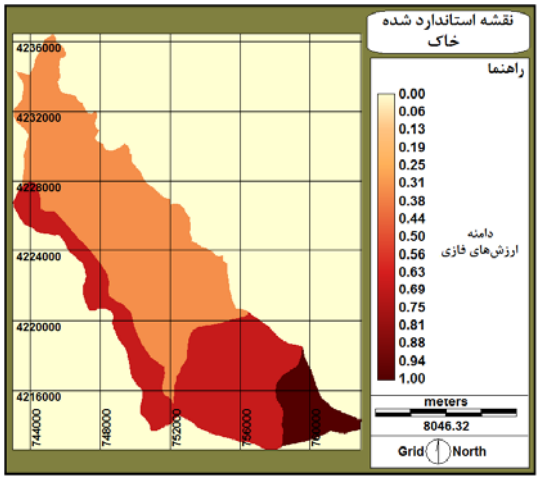
شکل۷: نقشه استانداردشده‌ی فاصله از مناطق مسکونی

– 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 (سبحانی،۱۳۷۶:۱۱۳). به‌منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش در سطح حوضه آق لاقان چای، خاک‌های ریزدانه (شامل: لیتوسول در واحد دشت منطقه) که از درصد زیادی رس، مارن و سیلت تشکیل‌شده‌اند و از عمق زیادی نیز برخوردارند و به‌محض وجود سایر شرایط مانند شیب زیاد و افزایش رطوبت خاک در اثر بارش‌های فصلی یا ذوب برف‌ها، با به هم خوردن حالت کلوئیدی و چسبندگی خاک از توده اصلی جداشده و به سمت پایین دامنه‌ها حرکت می‌کنند، ارزش بالای فازی دریافت نمودند و سپس با توجه به مقدار مواد ریزدانه و عمق خاک و میزان نفوذپذیری خاک‌های لیتوسول – کالوویال و کالویال به ترتیب به بیشترین ارزش را گرفتند و براوون – کالوویال، با توجه به مقدار کم درصد مواد ریزدانه کمترین مقدار ارزشی را دریافت کردند (شکل ۸).

– لیتولوژی: بررسی نوع لیتولوژی هر منطقه به‌عنوان بستر تشکیل حرکات دامنه‌ای، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در ارتفاعات پایین و در نواحی واقع در واحد دشت حوضه موردمطالعه، چون سنگ‌ها توسط مواد آبرفتی و دیگر سازندهای سطحی که عموماً مستعد جهت ایجاد لغزش‌اند، پوشیده شده است. لذا این مناطق، ارزشی بالا را به خود اختصاص داده‌اند. ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر که از سنگ‌هایی با میزان مقاومت زیاد، پوشیده شده‌اند، ارزش پایین دریافت نمودند (شکل ۹).



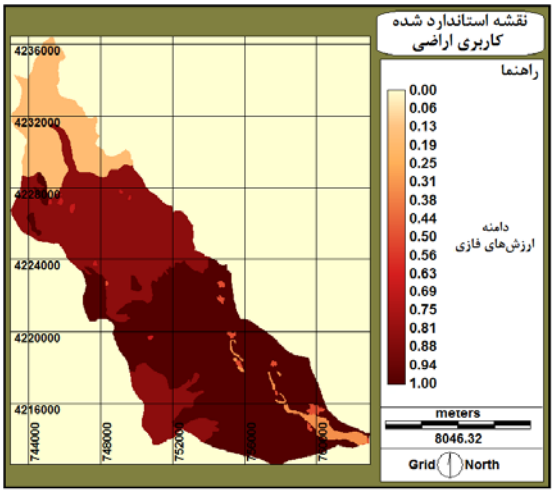
شکل۸: نقشه استانداردشده‌ی خاک



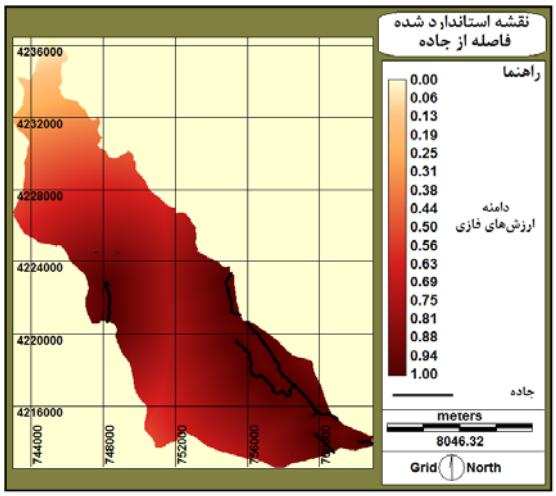
شکل۹: نقشه استانداردشده‌ی لیتولوژی

– کاربری اراضی: منظور از کاربری نوع و نحوه‌ی استفاده از زمین در حال حاضر است. به‌طور مسلم نوع کاربری اراضی، همیشه نقش تعیین‌کننده‌ای 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 ۷۹۴۹/۹۷ هکتار)، مرتع (به مساحت۶۰۱۰/۳۰ هکتار)، بوته‌زار (به مساحت ۴۲/۵۳ هکتار)، مسکونی (به مساحت ۱۰۳/۷۳ هکتار)، باغ (به مساحت ۲۷۹/۳۴ هکتار) و رخنمون‌های سنگی (به مساحت ۲۲۹۰/۲۸ هکتار) تقسیم می‌گردد. به ترتیب کاربری‌های زراعی، مرتع، بوته‌زار، مسکونی، باغ و رخنمون سنگی دامنه‌ی ارزشی بالا تا کم را دریافت کردند یعنی 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 بیشترین ارزش را در پهنه‌بندی زمین‌لغزش، دریافت کردند (شکل ۱۰) و کاربری رخنمون سنگی با توجه به نبود خاک عمیق در منطقه کمترین ارزش را گرفتند.

– فاصله از جاده:. در حالت کلی بررسی عامل فاصله از جاده، به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه و تغییر درشیب دامنه‌ها در مطالعه‌ی وقوع حرکات دامنه‌ای نقش بسیار مهمی دارد. در حوضه‌ی آق لاقان چای، احداث راه‌ها، به‌ویژه راه-های عشایری و بین روستایی (در اطراف روستای لای و صندوقلو)، یکی از مهم‌ترین عواملی است که منجر به ایجاد زمین‌لغزش می‌گردد. به‌طورکلی، چون اغلب فعالیت‌های جاده‌سازی در سطح حوضه غیراصولی و بدون توجه به اصول مهندسی می‌باشد، احداث راه‌های از یک‌سو به دلیل ایجاد ترانشه و تغییر وزن ناشی از خاک‌برداری و خاک‌ریزی، زیربری دامنه و از بین بردن تکیه‌گاه دامنه‌ها منجر به ایجاد زمین‌لغزش می‌شود. از سوی دیگر احداث جاده با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب باعث می‌شود، در هنگام بارش بهاری و ذوب برف، زمینه جهت شکل‌گیری زمین‌لغزش فراهم گردد. در نقشه‌ی استانداردشده معیار فاصله از جاده (شکل۱۱)، فواصل نزدیک به جاده ارزشی بالا (ارزش ۱) دریافت نمودند و به تبع بافاصله گرفتن از این عامل دامنه ارزشی اختصاص داده‌شده به سمت صفر میل می‌نماید.



شکل۱۰: نقشه استانداردشده‌ی کاربری اراضی



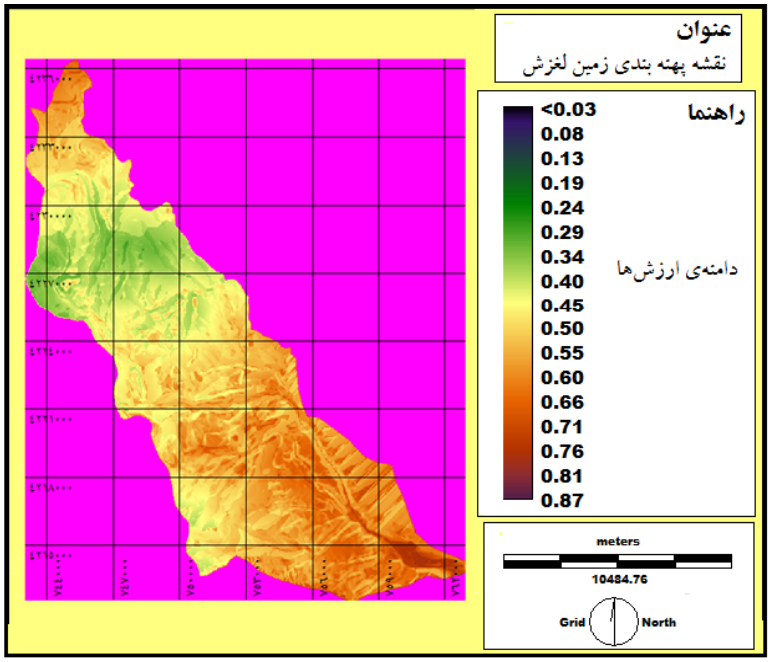
شکل۱۱: نقشه استانداردشده‌ی فاصله از جاده

با توجه به عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی، وزن نهایی حاصل از وزن‌دهی CRITIC (جدول ۲)، و انجام مراحل مدل ویکور، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای (شکل۱۲) به دست آمد. دامنه‌ی ارزشی حاصل از مدل در پهنه‌بندی زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی بین ۰/۰۳ و ۰/۸۷ می‌باشد که دارای ماهیت فازی می-باشند و هرچه مقدار ارزش یک پیکسل به سمت عدد ۰/۰۳ نزدیک باشد، بیانگر میزان خطر زیاد جهت شکل‌گیری زمین‌لغزش می‌باشد و هرچه میزان مقدار ارزش دریافت پیکسلی به سمت ۰/۸۷ میل نماید گویای پتانسیل کم‌تر آن پیکسل جهت ایجاد زمین‌لغزش است. در ادامه با توجه به دامنه‌ی مقادیر حاصل از مدل در پهنه‌بندی زمین‌لغزش، نقشه خطر زمین‌لغزش را در محیط ادریسی و با استفاده از دستور Reclass، در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم‌خطر

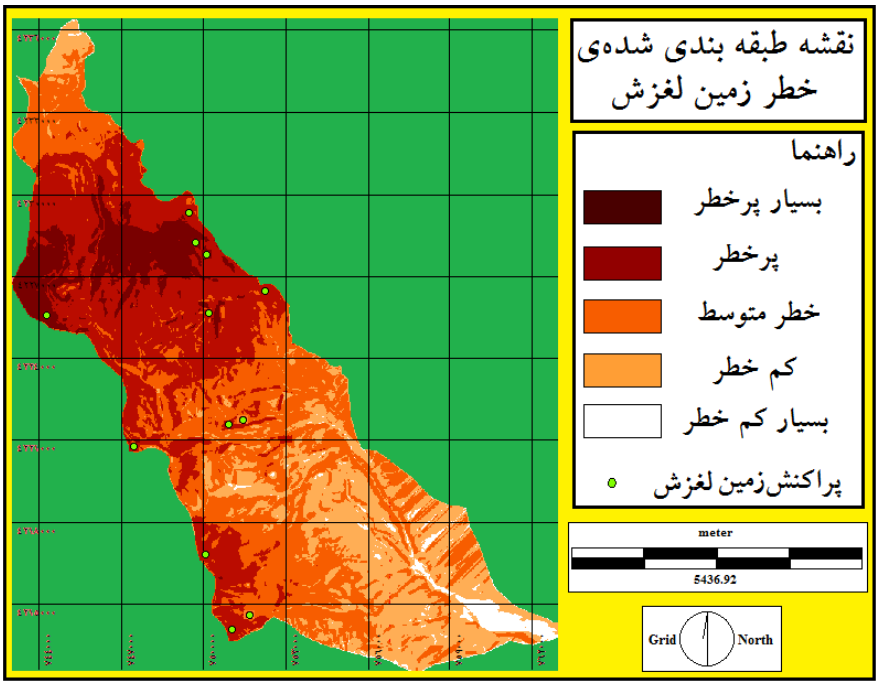
طبقه‌بندی کردیم. شکل (۱۳) نمایشگر نقشه حاصل از طبقه‌بندی مجدد نقشه خطر زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی می‌باشد. در جدول (۳) نیز دامنه ارزشی، مساحت و تعداد پیکسل‌های هر یک از طبقات خطر آورده شده است.

جدول (۲): مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

معیار	شیب	جهت شیب	لیتولوژی	کاربری	خاک	فاصله گسل	فاصله جاده	فاصله آبراهه	فاصله مسکونی	بارش
مجموع تضاد	۱۰/۱۵	۸/۵۵	۷/۷۰	۶/۷۸	۷/۶۰	۶/۶۵	۶/۵۹	۸/۹۴	۶/۵۸	۱۳/۵۰
انحراف معیار	۷۵/۲۳	۶۵/۳۹	۸۴/۴۲	۷۲/۷۸	۵۳/۷۸	۵۶/۵۱	۵۳/۹۳	۳۷/۲۹	۵۳/۵۸	۵۵/۵۰
میزان اطلاعات	۷۶۴/۲	۵۵۹/۴	۵۶۰/۸	۴۹۳/۹	۴۰۹/۳	۳۷۶	۳۵۵/۹	۳۳۳/۴	۳۵۲/۸	۷۴۹/۳
وزن نهایی	۰/۱۵۴	۰/۱۱۰	۰/۱۲۹	۰/۰۹۷	۰/۰۸۲	۰/۰۷۴	۰/۰۷۰	۰/۰۶۷	۰/۰۶۹	۰/۱۴۸



شکل (۱۲): نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور



شکل (۱۳): نقشه طبقه‌بندی‌شده‌ی خطر زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای

جدول (۳): اطلاعات طبقات خطر زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای

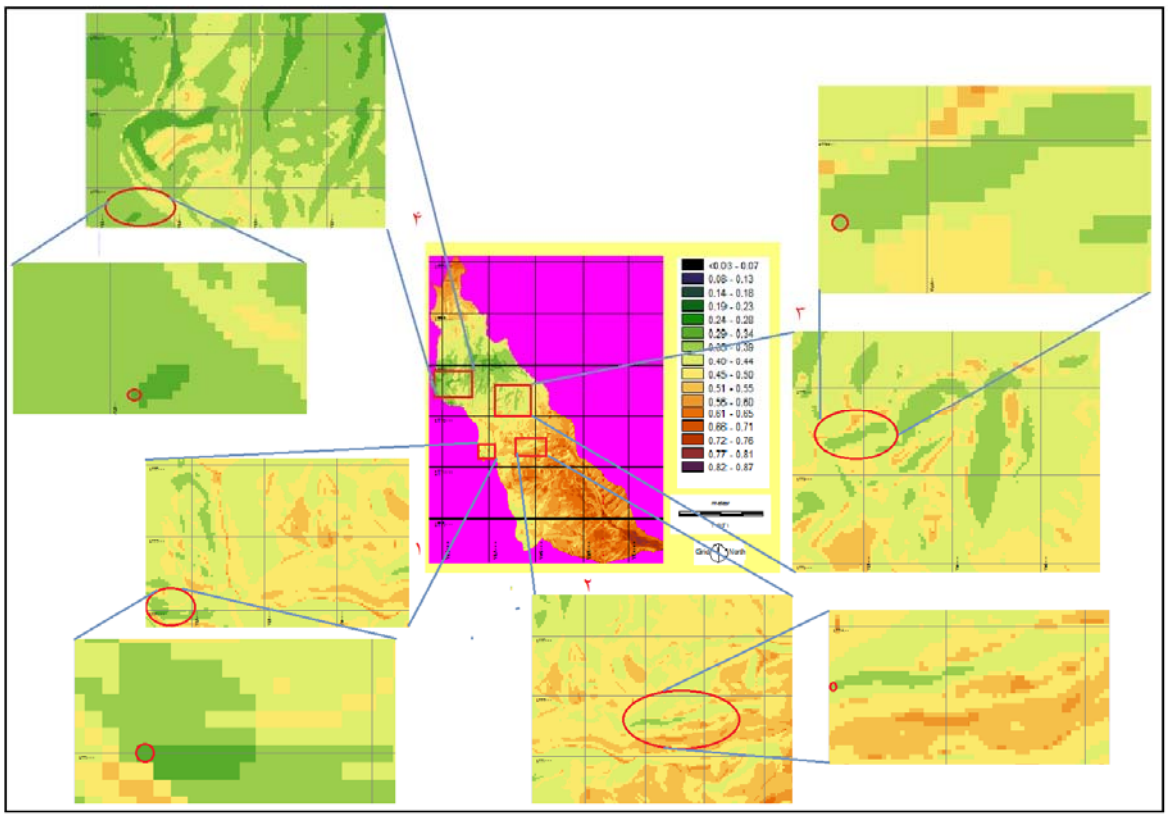
طبقه خطر	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم‌خطر	بسیار کم‌خطر
دامنه‌ی ارزشی	<۰/۰۳–۰/۱۹	۰/۲۰–۰/۳۵	۰/۳۶–۰/۵۲	۰/۵۳–۰/۶۹	۰/۷۰–۰/۸۷
تعداد پیکسل‌ها	۱۱۰۴۲	۴۵۳۶۹	۵۶۷۷۶	۴۵۳۳۴	۱۷۰۵۴
مساحت به هکتار	۱۴۰۲/۰۷	۴۴۹۰	۵۱۰۲/۵۵	۴۰۷۴/۲۴	۱۵۲۹/۹۹

با بررسی هر یک از طبقه‌های خطر زمین‌لغزش حوضه مطالعاتی و مقایسه آن‌ها با پراکنش لغزش‌ها و همچنین هر یک از نقشه‌های معیار، به این نتیجه رسیدیم که مناطقی که در طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند، به ترتیب با مساحت ۱۴۰۲/۰۷ و ۴۴۹۰ هکتار، مناطقی‌اند که به‌طور عمده دارای زیربنای سنگ سخت، به همراه وجود مواد رسوبی سست سطحی می‌باشند. در حوضه آق لاقان چای 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. مناطق بسیار پرخطر و پرخطر اغلب دارای کاربری اراضی زراعی، مرتع و مسکونی می‌باشد. این مناطق درشیب‌های ۳۵–۲۰ درصد قرارگرفته‌اند که این محدوده از شیب جهت وقوع لغزش مناسب می‌باشد و عمدتاً درشیب‌های بالا و کم‌تر از این مقدار در منطقه، امکان شکل‌گیری حرکات لغزشی کم می‌باشد. هم‌چنین این مناطق در دامنه‌های شمالی و غربی که از رطوبت بیشتری و تابش انرژی خورشیدی کم‌تری برخوردارند، واقع‌شده‌اند. ازنظر بارندگی این مناطق از مقدار بارش بالا (۶۰۰–۳۵۰ میلی‌متر) برخوردارند.

مناطق با خطر متوسط، با مساحت معادل ۵۱۰۲/۵۵ هکتار، درشیب‌های ۴۵– ۳۵ یا ۲۰–۱۰ درصد، بارش کمتر از ۳۵۰ میلی‌متر، کاربری مسکونی و باغ، لیتولوژی مقاوم به همراه پوشش خاک سطحی ضعیف می‌باشد. البته در مناطقی هم که پوشش خاک زیاد است، به‌طور عمده شیب و مقدار بارش کم می‌باشد. لذا احتمال حرکات لغزشی در این مناطق کم‌تر می‌باشد، این مناطق خطر همچنین در فواصل نسبی دور از گسل، جاده، آبراهه و آبادی قراردادند. همچنین، با توجه به

نقشه خروجی حاصل از مدل Vikor، مناطق بسیار کم‌خطر به مساحت ۱۵۲۹/۹۹ هکتار و طبقه کم‌خطر با مساحت ۴۹۷۴/۲۴ هکتار، عمدتاً درشیب‌های کمتر از ۱۰ درصد و یا بالاتر از ۴۵ درصد، مقدار بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر، با زمین‌های دارای سنگ‌های آتش‌فشانی و مقاوم به همراه پوشش خاک ضعیف و به‌طور عمده به‌صورت اراضی سنگلاخی قرار دارد. همچنین نوع کاربری این اراضی به‌صورت رخنمون‌های سنگی، بوته‌زار و باغ می‌باشد. مناطق با خطر بسیار کم و کم در فواصل دورتری از آبراهه، آبادی، گسل و جاده قرار دارند.

جهت مستندسازی بیشتر اعتبار نقشه‌های پهنه‌بندی پتانسیل لغزش با استفاده از روش ویکور در این قسمت سعی گردیده است، بعد از انتخاب تصادفی تعدادی از پیکسل‌های معرفی‌شده به‌عنوان نقاط پرخطر شکل (۱۴)، به بررسی مورد به مورد ویژگی‌های این پیکسل‌ها به لحاظ معیارهای تعیین‌شده پرداخته شود. به‌طورقطع انطباق این نمرات استانداردشده باارزش‌های واقعی ثبت‌شده از معیارها که با توجه به نقشه‌های رقومی به‌دست‌آمده است، به درک ملموس‌تر نتیجه حاصل از به‌کارگیری تابع عضویت در مجموعه‌های فازی و به‌کارگیری مدل ویکور کمک قابل‌توجهی می‌کند. با توجه به جدول مربوط به بررسی پیکسل‌های پرخطر (جدول ۴)، نمونه اول با مجموع امتیاز ۸/۸۱ در ۸ معیار، از میان ۱۰ معیار مطرح در پهنه‌بندی لغزش، ارزش فازی بالای۰/۷۰ را دریافت کرده است. نمونه دوم با مجموع امتیاز ۸/۷۴ در ۹ معیار، ارزش فازی بالای۰/۷۰ را دریافت کرده است. نمونه‌ی سوم در ۶ معیار ارزش بالای ۰/۷۰ را دریافت کرده و مجموع امتیاز آن ۷/۷۵ است. نمونه چهارم نیز با جمع امتیاز ۷/۸۶، در ۷ معیار، حائز نمره بیش از ۰/۷۰ شده است. البته باید توجه داشت هر ۴ نمونه به‌غیراز معیارهایی که در آن‌ها ارزش بالای ۰/۷۰ دریافت نموده‌اند، در بقیه معیارها نیز نمره قابل قبولی را به لحاظ درجه عضویت در تابع فازی کسب کرده‌اند.



شکل ۱۴: نقشه پیکسل‌های نمونه‌ی موردبررسی پرخطر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

جدول (۴): ارزش‌های عادی و فازی نمونه‌های موردبررسی از پیکسل‌های پرخطر در پهنه‌بندی زمین‌لغزش

معیار	پیکسل نمونه ۱		پیکسل نمونه ۲		پیکسل نمونه ۳		پیکسل نمونه ۴	
	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی	ارزش عادی	ارزش فازی
شیب	۳۵ درصد	۱	۱۵	۱	۲۵	۱	۳۲	۱
جهت شیب	شمال	۱	شمال	۱	شمال	۱	شمال	۱
لیتولوژی	نا مقاوم	۱	نا مقاوم	۱	مقاوم	۰/۳۹	مقاوم	۰/۳۹
کاربری	زراعی	۱	زراعی	۱	مرتع	۰/۸۳	زراعی	۱
خاک	لیتوسول	۰/۶۶	لیتوسول	۰/۶۶	لیتوسول	۰/۶۶	لیتوسول	۰/۶۶
فاصله از آبراهه	۵۹/۹۸ متر	۱	۱۴۹/۹۱	۰/۹۸	۱۲۹/۸۱	۱	۱۹۱/۹۳	۱
فاصله از مناطق مسکونی	۱۴۷۳/۷۳ متر	۰/۹۴	۲۶۵۴/۱۸	۰/۸۲	۲۵۳۰/۹۵	۰/۸۵	۴۷۰۶/۰۵	۰/۷۰
فاصله از جاده	۷۶۸/۰۹ متر	۰/۹۵	۲۰۶۹/۳۵	۰/۸۵	۲۴۵۱/۸۴	۰/۸۲	۴۵۰۸/۶۴	۰/۷۱
فاصله از گسل	۶۱۹۷۰/۰۶ متر	۰/۷۱	۶۰۰۸/۰۴	۰/۷۲	۹۶۶۳/۳۸	۰/۵۵	۱۱۶۸۶/۴۱	۰/۵۲
بارش	۴۵۹ میلی‌متر	۰/۵۵	۵۵۲	۰/۷۱	۵۳۴	۰/۶۵	۵۷۰	۰/۸۸

درنهایت می‌توان گفت بر اساس روش ویکور، بهترین گزینه، گزینه‌ای است که به‌طور همزمان، نزدیک‌ترین واحد به نقطه‌ی ایده‌آل و دورترین واحد از نقطه متصف به شرایط نامطلوب باشد. از امتیازهای مهم این روش آن است که به‌طور همزمان می‌توان از شاخص‌ها و معیارهای عینی و ذهنی استفاده کرد. بااین‌حال لازم است در این مدل هنگام محاسبات ریاضی، تمامی مقادیر نسبت داده‌شده به معیارها از نوع کمّی باشند و در صورت کیفی بودن نسبت داده‌شده به معیارها، می‌باید آن‌ها را به مقادیر کمّی تبدیل کرد. یکی از برجسته‌ترین ویژگی‌های روش‌های مبتنی بر فاصله از نقطه‌ی ایده‌آل در این است که به‌تناسب گستردگی معیارهای در نظر گرفته‌شده، رتبه‌بندی و اطلاعات قابل‌توجهی را در مورد فاصله نسبی هر گزینه نسبت به نقطه‌ی ایده‌آل در اختیار کاربر قرار می‌دهد. بنابراین معضل منتج از پیش‌فرض استقلال گزینه-ها که در روش‌هایی چون AHP وجود دارد، مرتفع می‌شود. زیرا هر گزینه (پیکسل) در کلیت خود و در ماحصل ارزهای منبعث از مجموعه صفات، یک صورت‌وضعیت کسب می‌کند که با صورت‌وضعیت ایده‌آل مقایسه می‌شود. مثال ملموس‌تر این قضیه را می‌توان در رابطه باشخصیت یک فرد مطرح کرد که می‌تواند با یک شخصیت ایده‌آل مقایسه شود. در این شرایط با ماحصل مجموعه‌ای از صفات مختلف که در قالب یک شخصیت عینیت یافته روبرو هستیم و شخصیت به‌صورت یک کل باشخصیت ایده‌آل به‌منزله‌ی یک کل مقایسه می‌شود. بنابراین وابستگی متقابل پیچیده در بین صفات معضلی ایجاد نمی‌کند. از سوی دیگر، استفاده از روش CRITIC، در وزن‌دهی معیارها در تحقیق حاضر می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر می‌باشد که به هنگام مقایسه زوجی در چهارچوب روش AHP و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات عینیت می‌یابد. زیرا در این روش وجود همبستگی بالای یک معیار با معیارهای دیگر، می‌تواند در کاهش وزن آن معیار اثرگذار باشد.

نتیجه‌گیری

ویژگی‌های اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی، توپوگرافی، خاک و هیدرولوژی حوضه آق لاقان چای زمینه‌ی مناسبی را جهت پیدایش پدیده‌های ژئومورفولوژی و به‌ویژه زمین‌لغزش‌ها فراهم کرده است. در این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از مدل Vikor، یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره صورت

گرفت. با توجه نقشه نهایی پتانسیل وقوع لغزش رده‌های بسیار پرخطر و پرخطر به ترتیب ۸ و ۲۷ درصد از کل مساحت حوضه را شامل می‌شوند و به‌طور عمده این مناطق در واحد کوهستانی واقع در قسمت شمال و جنوب غربی حوضه مطالعاتی قرار دارند. مناطق بسیار کم‌خطر و کم‌خطر عمدتاً در مناطق کم شیب واحد دشت و یا در مناطق با شیب بسیار بالا، با دیواره‌های عمودی و پرتگاهی به همراه سازندهای مقاوم آتشفشانی و فاقد پوشش سطحی خاک قرار دارند.

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، شیب سبب افزایش نیروی ثقل، انرژی جنبشی و قدرت فرسایندگی می‌شود. لذا افزایش مقدار شیب، وضعیت تعادل مواد سازنده‌ی دامنه را بر هم می‌زند و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی و گسیختگی مواد در دامنه می‌شود. اکثر پیکسل‌های پرخطر، در حوضه آبریز آق لاقان چای، درشیب‌های ۳۵-۲۰ درصد قرار دارد. در این مقدار شیب، 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. درشیب‌های بالاتر از ۳۵ به دلیل حالت پرتگاهی و دیواره مانند دامنه‌ها و درشیب‌های پایین‌تر از ۲۰ به دلیل شیب ملایم وکم، به‌طور عمده امکان وقوع حرکات لغزشی در سطح حوضه مطالعاتی بسیار کم است. 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 بدین گونه می‌باشد که بانفوذ آب در داخل دامنه‌ها، فشار آب منفذی خاک و تنش‌های برشی افزایش می‌یابد و با بروز این حالت در زمان کوتاه، پایداری واحدهای مستعد کاهش‌یافته و موجب گسیختگی می‌گردد. ازلحاظ معیار لیتولوژی، در حوضه‌ی آق لاقان چای واحدهای مختلف سنگ‌شناسی به‌صورت آتش‌فشانی و رسوبی گسترده شده است. ازجمله 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 حاصل‌شده‌اند 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 زمین‌لغزش در حوضه موردمطالعه دارد. در ارتفاعاتی از حوضه موردمطالعه که سنگ‌های سخت زیرین توسط مواد آبرفتی و دیگر سازندهای سطحی (عموماً ریزدانه و مستعد برای زمین‌لغزش) پوشیده شده‌اند، پتانسیل ایجاد لغزش‌ها زیاد است.

نتایج حاصل از این مطالعه همچنین حاکی از توان بالای حوضه ازلحاظ رخداد حرکات لغزشی می‌باشد، لذا اراضی بسیار پرخطر و پرخطر اراضی هستند که باید اقدامات حفاظتی و آبخیزداری در آن انجام 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، کشت دیم در اراضی شیب‌دار، عدم رعایت تناوب زراعی و احداث غیراصولی جاده انجام گیرد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد، سازمان‌ها و ارگان‌های زیربط ازجمله اداره‌ی کل منابع طبیعی، اداره‌ی راه و ترابری، بنیاد مسکن انقلاب اسلامی، سازمان جهاد کشاورزی و سازمان آب منطقه‌ای و... در طراحی پروژه‌ها، مدیریت‌های محیطی، اجرای برنامه‌ها، طرح‌های عمرانی و هرگونه ساخت‌وسازها و فعالیت‌های زیربنایی در حوضه‌ی آق لاقان چای، به‌منظور انتخاب استراتژی صحیح و مناسب و دوری از مناطق خطرناک، نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش منطقه را نیز مدنظر قرار دهند.

همان‌گونه که می‌دانیم، هر یک از روش‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها 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 ازجمله اقلیم و توپوگرافی و دیگر عوامل بستگی دارد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از مطالعه، بررسی موردی پیکسل‌های اولویت‌دار معرفی‌شده در خروجی حاصل از مدل و مقایسه‌ی آن با نقشه پراکنش حاصل از پیمایش‌های میدانی و همچنین شرایط اقلیمی،

توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و انسانی حاکم بر منطقه می‌توان، نتیجه گرفت که استفاده از مجموعه‌های فازی و روش ویکور به‌عنوان یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، از دقت نسبی بالایی جهت مطالعه‌ی زمین‌لغزش حوضه آق لاقان چای برخوردار است.

منابع

- احمدی، حسن و علی طالبی، ۱۳۸۰، بررسی عوامل مؤثر در ایجاد حرکات توده‌ای (منطقه اردل استان چهارمحال بختیاری)، مجله‌ی منابع طبیعی ایران، جلد ۴، شماره۴، صص ۳۲۹-۳۲۳.
- افتخارنژاد، جمشید، ۱۳۵۹، تفکیک بخش‌های مختلف ایران ازنظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره۸۲، صص ۲۸-۱۹.
- بهنیافر، ابوالفضل. منصوری دانشور، محمدرضا.کهربائیان ،پروین، ۱۳۸۹، کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه بندی خطرات زمین‌لغزش حوضه آبریز فریزی، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره۹، صص ۸۹-۱۰۰.
- بیدار، زینب، ۱۳۹۱، ارزیابی و پهنه‌بندی حرکات دامنه‌ای در مسیر ارتباطی مشکین‌شهر- موئیل با استفاده از AHP، استاد راهنما: فریبا اسفندیاری، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده‌ی علوم انسانی،۱۳۶ صفحه.
- پیروزی، الناز. مددی، عقیل. غفاری گیلانده، عطا، ۱۳۹۱، بررسی عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و ارائه راهکارهای حفاظتی در راستای دستیابی به توسعه پایدار در حوضه آبخیز آق لاقان چای، اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخش‌های کشاورزی، منابع طبیعی و محیطزیست، تهران، صص ۸-۱.
- پیروزی، الناز. مددی، عقیل. غفاری گیلانده، عطا، ۱۳۹۲، پهنه‌بندی زمین‌لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزنی در راستای حفاظت از محیطزیست (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای)، هفتمین کنفرانس ملی روز جهانی محیطزیست، تهران، صص ۱۱-۱.
- درویش‌زاده، علی، ۱۳۷۰، زمین‌شناسی ایران، نشر دانش‌آموز (وابسته به انتشارات امیرکبیر)، ۹۰۱ صفحه.
- رفاهی، حسینقلی، ۱۳۸۵، فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۲۶ صفحه.
- روزبهانی، حبیبه. ایلدرمی، علیرضا. دشتی، مریم، ۱۳۸۹، بررسی عوامل وقوع حرکات توده‌ای با مدل $INRF$ (مطالعه‌ی موردی؛ حوضه سد کلان ملایر)، همایش کاربرد جغرافیای طبیعی در برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه آزاد اسلامی خرم‌آباد.
- سبحانی، بهروز، ۱۳۷۶، تجزیه‌وتحلیل قابلیت رسوب‌دهی حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، استاد راهنما: منوچهر فرجزاده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سنجش‌ازدور، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۱۰ صفحه.
- شریعت جعفری، محسن، ۱۳۷۵، زمین‌لغزش و مبانی و اصول پایدار شیب‌های طبیعی، انتشارات سازه ، ۲۱۸ صفحه.
- عابدینی، موسی و محمدحسین فتحی، ۱۳۹۳، پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه‌ی آبخیز خلخال چای با استفاده از مدل‌های چند معیاره، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم،شماره ۴، صص ۷۱-۸۵.

- عبادی نژاد، علی. یمانی، مجتبی. مقصودی، مهران. شادفر، صمد، ۱۳۸۶، ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش حوضه آبخیز شیرود، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال اول، شماره دو، صص۴۴ -۳۹.
- عطایی، محمد، ۱۳۸۹، تصمیم‌گیری چند معیاره، چاپ اول، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۳۴۸ صفحه.
- فرداد، مهدی. آل شیخ، علی‌اصغر. وفایی نژاد، علیرضا، ۱۳۸۹، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش‌های منطق فازی و شبکه عصبی در *GIS* (مطالعه موردی منطقه مال خلیفه)، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش زمین‌شناسی ایران.
- کرم، عبدالمیر، ۱۳۸۳، کاربرد مدل ترکیب خطی وزنی در پهنه‌بندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی :منطقه سرخون چهارمحال بختیاری)، مجله جغرافیا و توسعه، صص ۱۴۶-۱۳۱.
- کریمی سنگ‌چینی، ابراهیم. اونق، مجید. سعدالدین، امیر، ۱۳۹۰، مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه کیفی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چهل چای استان گلستان، پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک، جلد نوزدهم،شماره اول، صص ۱۸۳-۱۹۶.
- کورکی نژاد، مسعود، ۱۳۸۴، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله زمین‌شناسی، دوره دهم، شماره سه، صص ۳۰-۲۴.
- مالچفسکی، یاچک، ۱۳۸۵، ترجمه‌ی: پرهیزگار، اکبر. غفاری، عطا . سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری، چاپ اول، انتشارات سمت، ۵۹۷ صفحه.
- محمودی، فرج‌الله،۱۳۸۷، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات پیام نور، ۲۸۳ صفحه.
- میرصانعی، رضا. رحمت الله، کاردان، ۱۳۸۷، نگرش تحلیلی بر ویژگی‌های زمین‌لغزش کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی محیط‌زیست ایران، دانشگاه تربیت‌معلم تهران.
- نبوی، محمدحسن، ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ صفحه.
- *Alcantara, I., 2002, Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disaster in Developing Countries, Geomorphology, 47:107-124.*
- *Chen, L.Y., Wang, T.C., 2009, optimizing partners'choice in IS/IT outsourcing projects: The strategicdecisiono ffuzzy VIKOR, International Journal of .Production Economics, Volume 120, Issue 1.*
- *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,Vol.4, pp 1501-1508.*
- *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.*
- *Lee, S., 2007, application and veification of fuzzy algebriaic operators to land slide suseplibility mapping, Environmental Geology, 50:847-855.*
- *Opricovic, S., Tzeng, G., 2006, Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research. , European Journal of Operational Research, pp 514-529.*
- *Sui, D.Z., 1999, A Fuzzy GIS Modeling Approach for Urban land Evaluation". Computer, Environment, and Urban systems. Vol 16, pp.101-123.*
- *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. Geomorfology, Vol 85. PP 274-287.*