

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد

رامین حاتمی‌فرد: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران *

سیدحجت موسوی: دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

مسعود علیمرادی: کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۸۹/۱۱/۲۶ پذیرش: ۱۳۹۰/۸/۲۲، صص ۶۰-۴۳

چکیده

در سال‌های اخیر با افزایش خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش، بشر در صدد کاهش زیان‌های آن برآمده است. از آنجا که پیش‌بینی زمان دقیق وقوع زمین‌لغزش از توان علمی انسان خارج است، بنابراین، با شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش و رتبه‌بندی آنها می‌توان تا حدودی از خطرات ناشی از رخداد این پدیده جلوگیری نمود. هدف از این پژوهش شناسایی عوامل موثر در زمین‌لغزش و پهنه‌بندی شهرستان خرم‌آباد به لحاظ وقوع این رخداد، با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS است. در این راستا، ابتدا با توجه به موقعیت زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته، مطالعات تطبیقی و نتایج سایر محققان، ۵ معیار، ۱۳ زیرمعیار و ۷۷ کلاس برای این مهم شناسایی شد. سپس با استفاده از مدل AHP عوامل مربوطه ارزیابی و تعیین وزن گردید. در پایان لایه‌های رستری عوامل در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه و تلفیق گردید. نهایتاً مدل و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه تهیه و ارائه گردید. برای تأیید نتایج، مدل ارائه شده با رخدادهای مشاهده شده مورد ارزیابی مقایسه‌ای قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که در بین عوامل موثر، زیرمعیارهای فاصله از جاده، فاصله از آبراهه و تراکم آبراهه به ترتیب با اوزان ۰/۲۰۴۳، ۰/۱۷۱۷ و ۰/۱۵۴۵ به عنوان مهمترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی شناسایی شده‌اند. براساس مدل ارائه شده، حدود ۲۵/۵۱ درصد (۱۶۰۳/۸ کیلومترمربع) از مساحت شهرستان خرم‌آباد دارای خطر وقوع بسیار زیاد (۶/۱۷ درصد) و خطر وقوع زیاد (۱۹/۳۴ درصد) است. نتایج حاصل از ارزیابی دقت و صحت مدل تهیه شده، روند صعودی شاخص زمین‌لغزش از پهنه خطر خیلی کم به سمت پهنه خیلی زیاد را نشان داده و نشان دهنده دقت لازم مدل مزبور است.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، خرم‌آباد، مدل AHP، تکنیک GIS.

۱- مقدمه

پرخسارت‌ترین آنها است که همگام با دستکاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲: ۱۱۵)، به گونه‌ای که از آن به عنوان یکی از فرایندهای ژئومرفیک عمده در چشم‌انداز مناطق کوهستانی یاد

آهنگ روبه‌رشد توسعه و عمران شهری و روستایی موجب بروز برخی ناهنجاری‌های طبیعی در وضعیت ساکنین کره زمین شده است. حرکات دامنه‌ای و به طور اخص زمین‌لغزش‌ها در زمره

لغزشی به وسعت ۱۴۰۰ کیلومتر مربع معادل ۴/۸ درصد مساحت استان، موید این ادعا است (مقتدر و همکاران، ۱۳۸۹: ۲). از آنجایی که پیش‌بینی دقیق زمان وقوع زمین‌لغزش مشکل است از این رو شناسایی مناطق حساس به این پدیده و پهنه‌بندی آنها بر اساس پتانسیل وقوع، دارای اهمیت است (مصفايي و همکاران، ۱۳۸۸: ۴۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل و یا بالقوه خطر از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند (رامشت، ۱۳۷۵: ۴۵). تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی زمین لغزش به طراحان و مهندسان برای انتخاب مکان مناسب اجرای طرح‌های توسعه کمک بزرگی نموده و نتایج اینگونه مطالعات می‌تواند به عنوان اطلاعات پایه‌ای جهت کمک به مدیریت و برنامه‌ریزی محیطی مورد استفاده قرار گیرد (پرادهان^۲، ۲۰۱۱: ۷۷). در نهایت با شناسایی مکان‌هایی با پتانسیل بالای لغزش و دوری جستن از آنها می‌توان از خطرات احتمالی جلوگیری نمود.

پژوهش حاضر با هدف شناسایی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی شهرستان خرم‌آباد به لحاظ رخداد این پدیده، با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS صورت گرفته است. بنابراین، انتخاب معیارها و استانداردها، تهیه لایه‌های رقومی عوامل، تعیین وزن نسبی و نهایی، هم‌پوشانی لایه‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی از محورهای اصلی این پژوهش بوده تا مناطق حساسی که بیشترین احتمال خطر وقوع زمین‌لغزش در آنها وجود دارد، تعیین گردد.

می‌شود (هاتانجی و موریواکی^۱، ۲۰۰۹: ۴۴۷). نحوه حرکات توده‌ای مواد در دامنه‌ها به سه طبقه لغزشی، جریان‌ی و خزشی تقسیم می‌شود. در لغزش کامل (ویژه) سرعت حرکت مواد در همه نقاط از بالا تا پایین یکسان و از نوع انتقالی است. در جریان کامل (خالص) سرعت حرکت مواد در بخش بالایی توده جریان‌ی بیشتر از بخش زیرین و از نوع انتقالی است، ولی در خزش (جابجایی) حرکت به صورت قائم است (مقیمي و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۴). وقوع پدیده زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و کشور ایران در شرایط مساعد اتفاق می‌افتد، موجب تخریب پوشش گیاهی، باغات، اراضی زراعی و حتی تلفات انسانی می‌گردد (قبر زاده و بهنیافر، ۱۳۸۸: ۱۰۴). یکی از اثرات غیرقابل انکار این پدیده، تشدید فرسایش خاک و انتقال رسوبات به پشت سدها و یا بندهای پایین دست حوضه‌های آبخیز است (علی محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۰). بر اساس برآوردهای انجام شده، سالانه حدود ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق زمین‌لغزش بر کشور وارد می‌شود. همچنین خسارات ناشی از ۲۵۴۸ مورد زمین‌لغزش، بالغ بر ۱۰۷ کشته و ۳۸۶ میلیارد ریال است (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۷). از جمله خسارات انسانی این پدیده در ایران می‌توان به مدفون شدن روستای آبیکار چهارمحال و بختیاری در بهار سال ۱۹۹۷ در زیر حجم عظیمی از خاک و سنگ نام برد (علی محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۱). در این میان استان لرستان یکی از مستعدترین استان‌های کشور از حیث پدیده زمین لغزش به شمار می‌رود. وقوع حدود ۲۷۴ پهنه

۲- پیشینه تحقیق

از اوایل دهه ۱۹۷۰، بسیاری از دانشمندان با بکارگیری روش‌های مختلفی از جمله سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و روش‌های وزنی نسبت به ارزیابی خطرات زمین‌لغزش و تهیه نقشه توزیع فضایی این پدیده اقدام نموده‌اند (نفس لیوگلو و همکاران^۱، ۲۰۰۸: ۴۰۳)، به طوری که: اونق (۲۰۰۴: ۱) با استفاده از مدل AHP به ارزیابی انطباق پایگاه داده‌های زمین‌لغزش در استرالیا برای مدیریت خطر وقوع آن پرداخته و بیان می‌دارد که در هر دو مدل، طبقات انطباقی پایگاه داده‌ها از II تا IV فقط با اختلاف طبقاتی یک مرتب می‌شود. یوشیماتسو و ابه^۲ (۲۰۰۶: ۱۴۹) از طریق مدل AHP به پهنه‌بندی و ارزیابی خطر وقوع زمین‌لغزش در ژاپن پرداخته و نهایتاً روشی برای پیش‌بینی مناطقی که متاثر از رخداد خطر زمین‌لغزش هستند ارائه نموده است. یالسین^۳ (۲۰۰۸: ۲)، در پهنه‌بندی و تهیه نقشه مناطق مستعد زمین‌لغزش در منطقه آردسن ترکیه به این نتیجه رسید که پهنه‌بندی با مدل AHP بیشترین تطابق را با واقعیت‌های موجود دارد. وحیدنیا و همکاران (۲۰۰۹: ۱۷۶)، با استفاده از GIS، AHP، WOE (شاخص وزنی)، ANN (شبکه عصبی مصنوعی) و GLR (رگرسیون خطی تعمیمی) به بررسی ۱۵۱ مورد زمین‌لغزش در استان مازندران پرداخته و بیان داشتند که دقت تخمینی از ۸۰ تا ۸۸ درصد در نوسان بوده و استفاده از WOE در دسته‌بندی نقشه‌های رده‌بندی و ANN برای وزن‌دهی عوامل موثر حداکثر دقت را

دارند. فیض‌نیا و همکاران (۱۳۸۳: ۳)، در بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوضه آبخیز شیرین‌رود سد تجن با به کارگیری GIS و AHP به این نتیجه رسیدند که دو عامل جهت شیب و فاصله از شبکه هیدروگرافی دارای تاثیر کمتری در وقوع زمین‌لغزش است. شادفر و همکاران (۱۳۸۶: ۱۱۹) با در نظر گرفتن عواملی همچون، شیب، جهت دامنه، طبقات ارتفاعی، گسل، شبکه آبراهه، راه‌های ارتباطی و سنگ‌شناسی، حوضه آبخیز چالکروود تنکابن را با استفاده از روش AHP از نظر خطر وقوع زمین‌لغزش پهنه‌بندی نموده و بیان داشتند که این روش به دلیل دخالت دادن تعداد زیادی از عوامل در مقایسه با سایر روش‌های پهنه‌بندی نتیجه بهتری را ارائه می‌دهد. جوکار سرهنگی و همکاران (۱۳۸۶: ۸۰) در مطالعه خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه صفارود با استفاده از GIS و AHP نتیجه گرفتند که ۳۱ درصد از سطح حوضه مورد مطالعه دارای خطر بسیار زیاد و زیاد است. علیجانی و همکاران (۱۳۸۶: ۱۱۶) با لحاظ نمودن عوامل بارندگی، درجه حرارت، ماندگاری برف، لیتولوژی، فاصله از گسل، شیب و تراکم زهکشی به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS و مدل AHP اقدام نموده و بیان داشتند که حدود ۲۲ درصد منطقه مطالعاتی با خطر زیاد و بسیار زیاد زمین‌لغزش روبرو است. عظیم‌پور و همکاران (۱۳۸۸: ۷۲) در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای در حوضه آبریز اهرچای با استفاده از AHP نتیجه‌گیری نمودند که عوامل زمین‌شناسی بیشترین وزن (نقش) و عوامل انسانی کمترین وزن را در وقوع پدیده زمین‌لغزش دارند.

1- Nefeslioglu et al.

2- Yoshimatsu and Abe

3- Yalcin

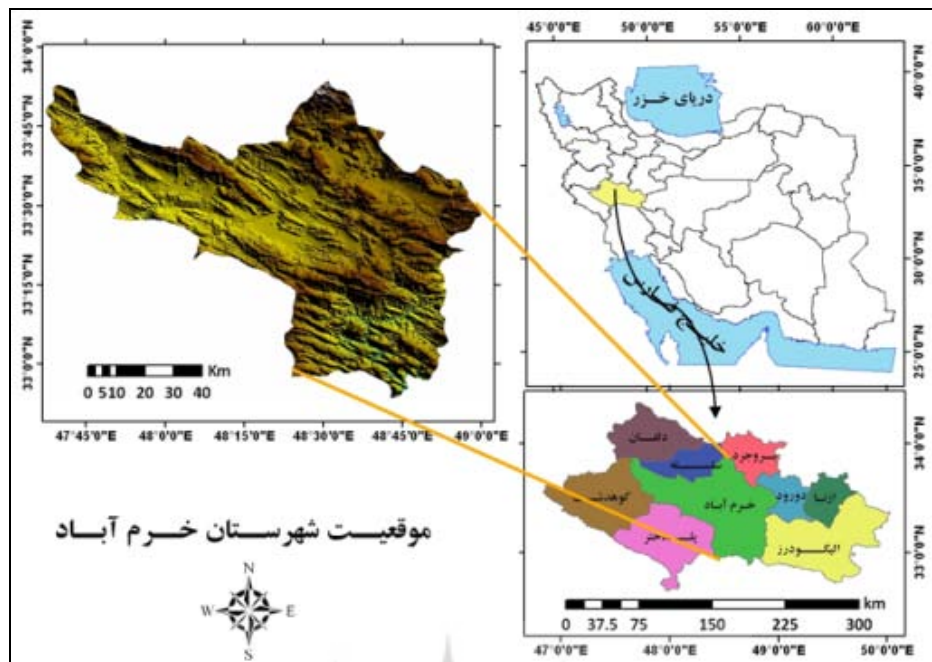
۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- محدوده مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در این پژوهش شهرستان خرم‌آباد، مرکز استان لرستان است که در موقعیت جغرافیایی 32° و $45'$ تا 34° عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). مرکز این شهرستان در ارتفاع ۱۱۷۰ متری قرار گرفته و با مساحت ۶۲۸۵ کیلومتر مربع دارای ۵۲۲ هزار نفر جمعیت است.

شهرستان خرم‌آباد در واقع بخشی از رشته کوه‌های زاگرس چین‌خورده است که اشکال ساختاری آن به شکل تاقدیس و ناودیس‌هایی با صفحات محوری شمال غربی- جنوب شرقی و تا اندازه‌ای مارپیچ مانند می‌باشند. این اشکال به ترتیب بلندی‌ها و فرونشست‌هایی را ایجاد کرده که با رسوبات جوان و سنگ‌های فرسایشی ارتفاعات انباشته شده‌اند. ناحیه مورد مطالعه با داشتن کوه‌های پیوسته و ممتد (مخمل کوه و سفیدکوه)، یکی از بهترین نمونه توده

کوهستانی چین‌خورده و یکپارچه را تشکیل می‌دهد که نواحی پست آنرا دشت‌های آبرفتی بین‌کوهی اشغال کرده است. تاقدیس‌های خرم‌آباد و اطراف آن معمولاً هسته‌ای از سنگ آهک سازند سروک و ایلام را دارند که در دو طرف یال تاقدیس به سازندهای جوانتر مانند گورپی، امیران، تله زنگ، کشکان، آسماری، گچساران، و بختیاری می‌رسد. سیمای کنونی این منطقه نیز حاصل رویداد پایانی کوهزایی آلپی در زمان پلیوسن است. شیب لایه‌ها در هسته تاقدیس بسیار کم و گاهی نزدیک به افقی است، ولی با دور شدن از محور شیب لایه‌ها زیاد می‌شود به گونه‌ای که گاهی لایه‌ها شیب تند دارند و حتی در پهلوی جنوب غربی سفید کوه افزایش شیب به حد برگشتگی رسیده است. از مهمترین واحدهای ژئومورفیک این منطقه می‌توان به واحدهای کوهستان، تپه ماهور و دشت اشاره نمود که به شکل متناوبی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

۲-۳- روش کار

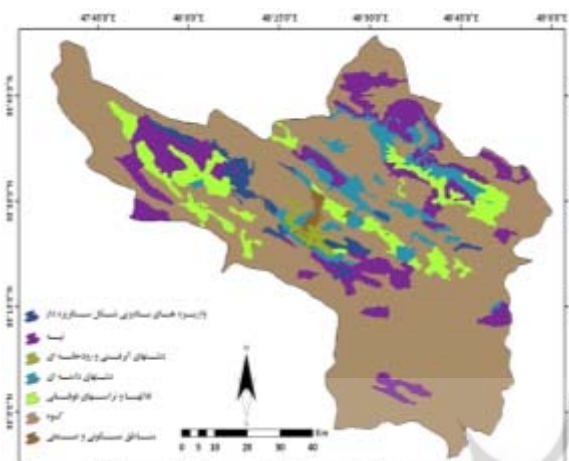
منطقه تهیه گردید. لایه‌های فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از گسل و فاصله از مناطق سکونت از طریق رقوم نمودن لایه آبراه‌های اصلی و فرعی و راه‌های ارتباطی (با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰)، رقوم نمودن گسل‌های اصلی و فرعی (با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰) و رقوم کردن لایه سکونتگاهی شهری و روستایی تهیه شد. لایه‌های سنگ‌شناسی، کاربری ارضی و واحدهای ارضی به ترتیب از طریق رقوم نمودن جنس مواد در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، نقشه کاربری ارضی و نقشه واحدهای ارضی تهیه گردید. لایه‌های دما و بارش از طریق رابطه دما- ارتفاع و بارش- ارتفاع و میان‌یابی به روش کریجینگ (به دلیل زمین‌آمار بودن و استفاده از مدل‌های آماری خودهمبستگی) صورت گرفت (شکل ۲). نهایتاً با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به تجزیه و تحلیل کمی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها،

ابتدا به کمک تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث و نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ محدوده مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفت و تعیین حدود گردید. سپس با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، اقلیمی، عوامل انسانی و زیست‌محیطی منطقه و استفاده از مطالعات تطبیقی، ۵ معیار، ۱۳ زیرمعیار و ۷۷ کلاس جهت تدوین هدف طراحی گردید. تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پهنه‌بندی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 9.3 به صورت موارد زیر انجام گرفت: نخست مدل ارتفاع رقوم منطقه از مدل ارتفاع رقوم ایران جدا و بر اساس شکست‌های طبیعی^۱ که در ارتفاعات منطقه وجود دارد، به ۵ کلاس ارتفاعی طبقه‌بندی گردید. لایه‌های شیب و جهت شیب از روی مدل ارتفاعی رقوم

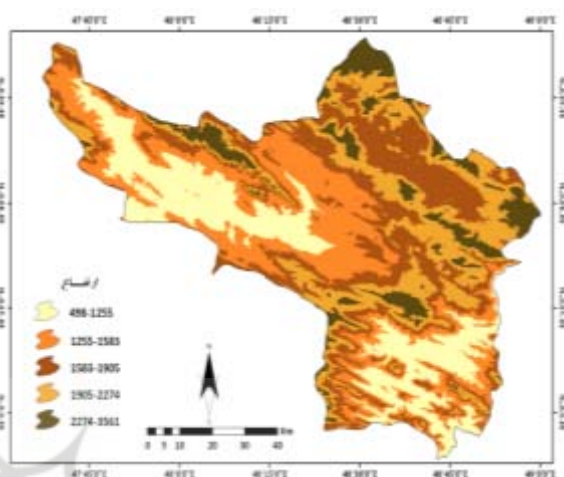
1- Natural break

مورد ارزیابی مقایسه‌ای قرار گرفت و مقادیر شاخص زمین‌لغزش و دقت مدل محاسبه گردید. لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد به صورت شکل (۲) است.

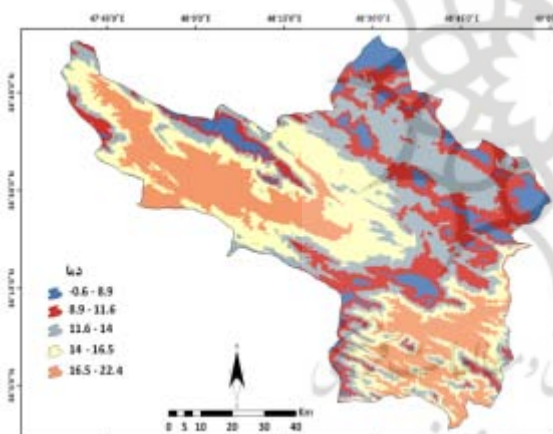
تلفیق لایه‌ها در نرم افزار Arc GIS، نسبت به ارائه مدل و پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی به لحاظ وقوع رخداد زمین‌لغزش مبادرت گردید. در پایان جهت تأیید نتایج نهایی، مدل و نقشه پهنه‌بندی با موارد مشاهده شده



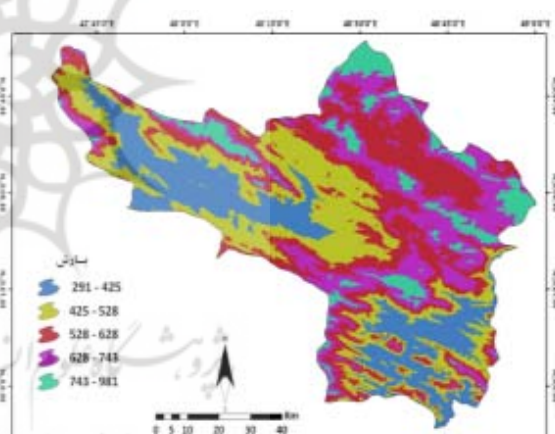
ب: واحدهای ارضی



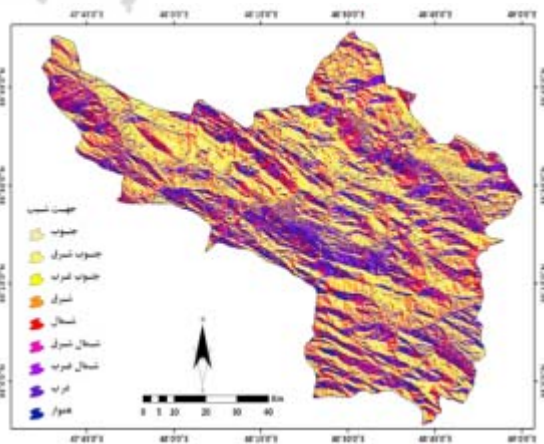
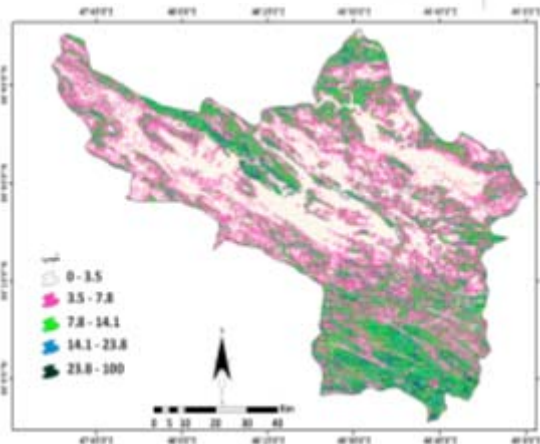
الف: طبقات ارتفاعی



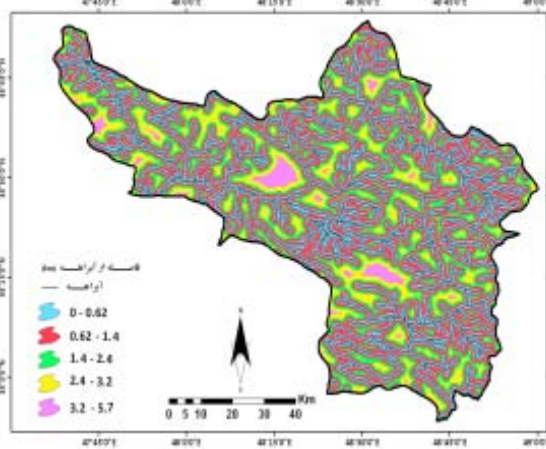
ت: هم‌بارش



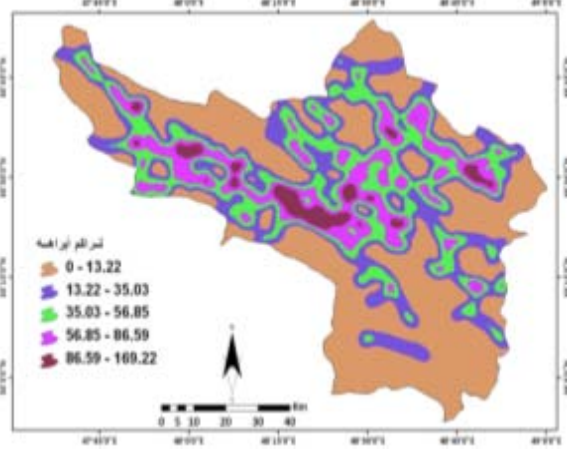
پ: هم‌دما



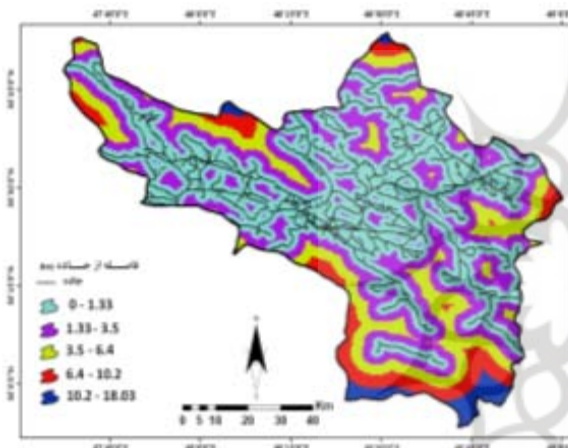
د: جهت شیب



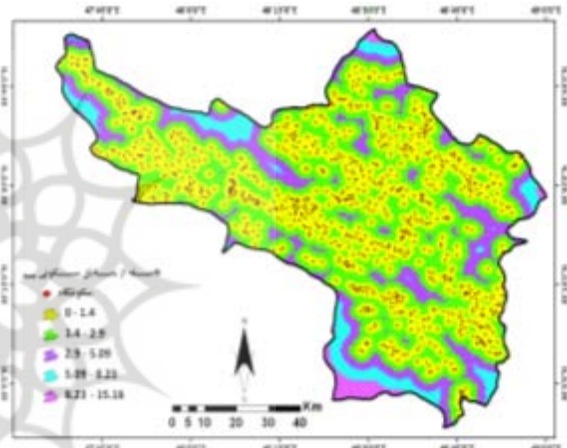
ج: شیب



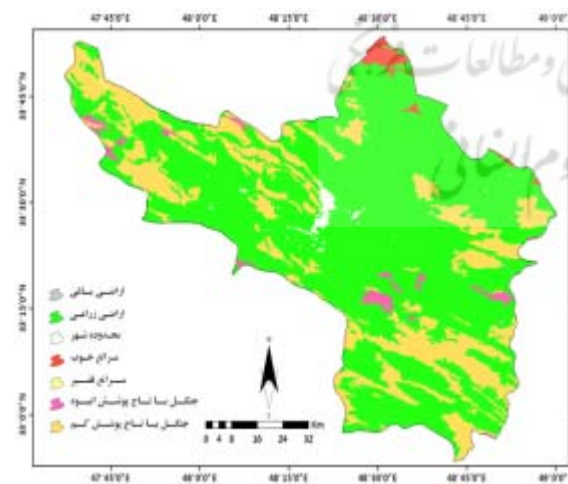
ش: تراکم آبراهه



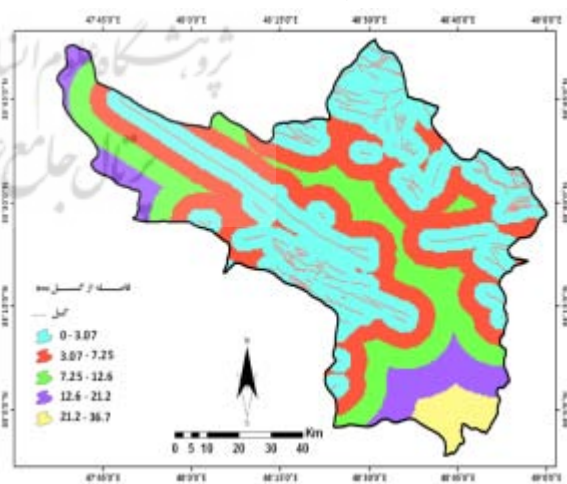
س: فاصله از آبراهه



ن: فاصله از سکونتگاه



م: فاصله از جاده



و: کاربری اراضی

ه: فاصله از گسل



ی: لایه سنگ‌شناسی

شکل ۲- لایه‌های اطلاعاتی عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد

مسائل پیچیده، می‌توان آنها را به شکلی ساده که با طبیعت و ذهن انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل نمود (کیمرن^۲ و همکاران، ۲۰۰۷: ۳۶۳). ساختار سلسله مراتب یک نمایش گرافیکی از مساله پیچیده است که در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها قرار دارند (شکل ۳). به طور کلی، ساختار سلسله‌مراتبی می‌تواند به صورت یکی از موارد زیر طرح شود (بون^۳، ۱۹۹۰، ۱۳۳؛ دایر و فورمن^۴، ۱۹۹۱):

ساختار ۱: هدف، معیار، زیرمعیار، گزینه.

ساختار ۲: هدف، معیار، عامل، زیرعامل، گزینه.

در این پژوهش جهت تدوین ساختار سلسله مراتبی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان خرم‌آباد از ساختار نخست بهره گرفته شده و شامل سطوح زیر است (شکل ۳).

۴- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی یکی از کارآمدترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که اولین بار توسط توماس ال ساعتی^۱ در سال ۱۹۸۰ ارائه گردید. این روش بر اساس مقایسه‌های زوجی عوامل بنا نهاده شده و امکان بررسی سناریوهای مختلف را به تصمیم‌گیران می‌دهد. این تکنیک یکی از جامع‌ترین الگوریتم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسائل پیچیده طبیعی به صورت سلسله مراتبی را فراهم نموده و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسأله را دارد (ساعتی، ۱۹۸۶: ۸۴۱).

۴-۱- تدوین ساختار سلسله مراتبی به منظور

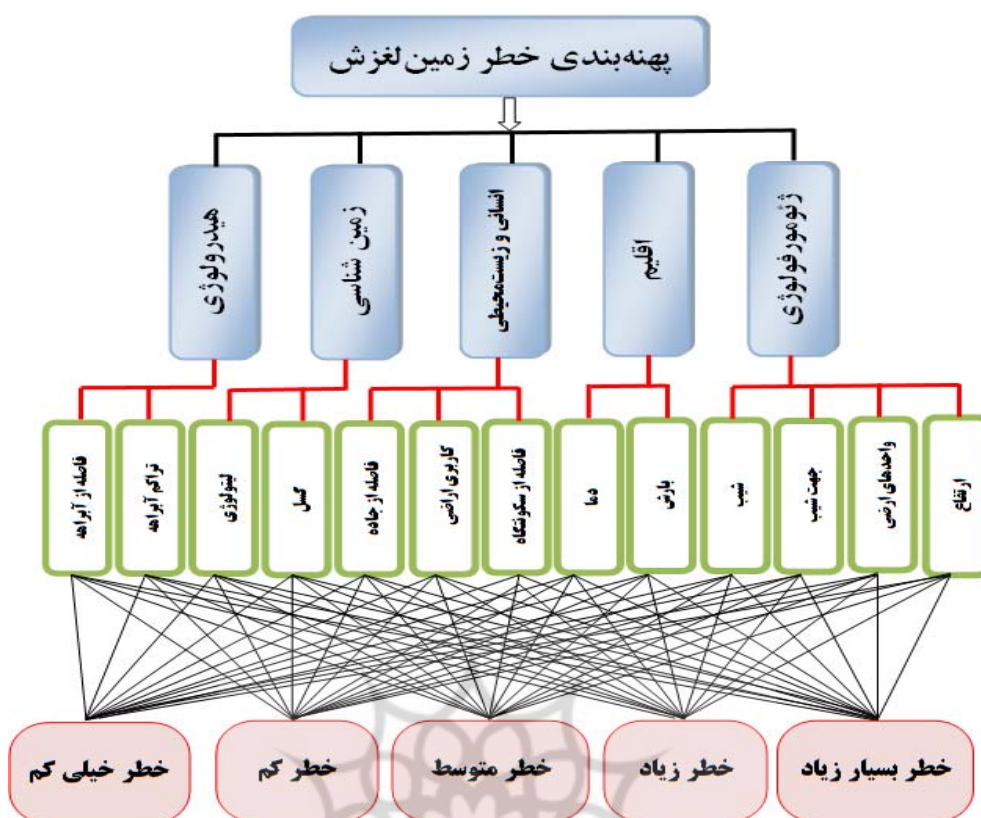
پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

اولین مرحله در فرایند تحلیل سلسله مراتبی

تدوین ساختار است. در این قسمت با تجزیه و تحلیل

2 - Cimren
3 - Bowen
4 - Dyer & Forman

1 - Saaty, T. I.



شکل ۳- ساختار سلسله مراتبی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در شهرستان خرم‌آباد

۴-۲- محاسبه وزن نسبی عوامل موثر در پهنه‌بندی

خطر زمین‌لغزش

در فرایند تحلیل سلسله مراتبی عوامل به صورت زوجی با یکدیگر مقایسه شده و بیشترین وزن به لایه-ای تعلق می‌گیرد که حداکثر تأثیر را در تعیین هدف دارد. به عبارت دیگر معیار وزندهی به واحدهای اطلاعاتی نیز براساس بیشترین نقشی است که عوامل در داخل لایه ایفاء می‌کنند (لوپز و زینک^۱، ۱۹۹۱: ۲۰۲). در وزندهی معیارها از قضاوت‌های شفاهی که به صورت مقایسه‌ای بین فاکتورها صورت می‌گیرد، استفاده می‌شود. این قضاوتها توسط ساعتی (۱۹۸۰) به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل شده که در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی عوامل (قدسی پور، ۱۳۸۸: ۱۴)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)	
۹	Extremely preferred	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب
۷	strongly preferred Very	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	Strongly preferred	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	Moderately preferred	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب
۱	Equally preferred	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸،۶،۴،۲	ترجیحات بین فواصل قوی	

ماتریس نرمالیزه به ازای گزینه i ام و شاخص Z ام، و W_i : وزن گزینه i ام است.

پس از تشخیص عوامل موثر در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی، وزن‌دهی به فاکتورها برای اولویت‌بندی عوامل نسبت به یکدیگر با در نظر گرفتن رخداد زمین لغزش منطقه صورت گرفت و ماتریس-های مقایسه زوجی بر اساس ویژگی‌های منطقه و مطالعات تطبیقی برای عوامل و زیرعوامل‌ها شکل گرفت. پس از تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی، با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی، وزن نسبی پارامترها محاسبه شد. نتایج حاصل از وزن‌دهی، ماتریس‌های مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی به صورت جداول (۲) تا (۶) است.

پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی معیارها می-

توان وزن نسبی (W_i) آنها را محاسبه نمود. برای انجام آن، ابتدا باید مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی با هم جمع شده و مقدار هر عنصر به جمع ستونی خودش تقسیم گردد تا ماتریس مقایسه زوجی نرمالیزه شود (رابطه ۱). سپس میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس نرمالیزه محاسبه که در نتیجه آن بردار وزن پارامترها ایجاد می‌شود (رابطه ۲).

$$\text{رابطه (۱): } r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}$$

$$\text{رابطه (۲): } W_i = \frac{\sum_{i=1}^n r_{ij}}{n}$$

در این روابط m : تعداد ستون، n : تعداد سطر، a_{ij} : درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی و r_{ij} : درایه‌های

جدول ۲- ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها

معیارها	هیدرولوژی	زمین شناسی	انسانی و زیستی	اقلیمی	ژئومورفولوژی	بردار وزن
هیدرولوژی	۱	۳	۵	۷	۹	۰/۵۰۲۸
زمین شناسی	۰/۳۳۳	۱	۳	۵	۷	۰/۲۶۰۲
انسانی و زیست محیطی	۰/۲	۰/۳۳۳	۱	۳	۵	۰/۱۳۴۴
اقلیمی	۰/۱۴۲۹	۰/۲	۰/۳۳۳	۱	۳	۰/۰۶۷۸
ژئومورفولوژی	۰/۱۱۱۱	۰/۱۴۲۹	۰/۲	۰/۳۳۳	۱	۰/۰۳۴۸
جمع	۱/۷۸۷۳	۴/۶۷۶۲	۹/۵۳۳۳	۱۶/۳۳۳	۲۵	۱

جدول ۳- ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن زیرمعیارها

بردار وزن	۰/۳۰۴۳	۰/۱۷۱۷	۰/۱۵۴۵	۰/۱۰۷۳	۰/۰۸۰۲	۰/۰۷۰۸	۰/۰۵۵۲	۰/۰۴۶۳	۰/۰۳۲۰	۰/۰۲۰۰	۰/۰۱۱۶	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۱۶	۱
دما	۹	۹	۹	۹	۷	۹	۹	۹	۷	۹	۹	۹	۷	۳	۷۵
ارتفاع	۹	۹	۹	۷	۸	۷	۷	۷	۶	۷	۷	۶	۵	۱	۸۳۳/۱۷
جهت شیب	۷	۷	۷	۸	۶	۸	۸	۸	۵	۷	۷	۷	۶	۱	۶۲۳/۱۸
واحدهای ارضی	۸	۸	۷	۸	۶	۸	۸	۵	۱	۷	۷	۷	۶	۱	۸۱۶۳/۱۶
شیب	۷	۷	۸	۶	۵	۵	۵	۳	۷/۰	۱۱/۰	۱۱/۰	۱۱/۰	۱۱/۰	۱	۱۵۴۵/۶۳
بارش	۸	۷	۶	۵	۵	۴	۳	۱	۷/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۱	۱۶۶۷/۲۱
فاصله از سکونتگاه	۶	۶	۵	۵	۳	۳	۱	۳	۶۲۳/۱۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۱	۲۵۰۰/۲۱
کاربری ارضی	۶	۵	۵	۳	۳	۱	۳	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۱	۷۱۸۱/۵۱
لینئوژنی	۵	۴	۴	۳	۱	۳	۳	۷۱۱/۱۰	۷۱۱/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۱	۵۳۷۵/۲۱
فاصله از گسل	۳	۳	۴	۱	۳	۲/۰	۲/۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۶۲۳/۱۰	۱	۷۷۸۷/۱۱
تراکم آبراهه	۲	۲	۱	۲/۰	۵/۰	۲/۰	۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۱	۸۱۷۸/۶
فاصله از آبراهه	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۵	۲/۰	۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۵۲/۰	۱	۵۸۰۷/۵
فاصله از چاه	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳۳	۰/۲	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۰/۱۶۶۷	۱	۱۶۳۸/۸
بج															

زیرمعیارهای موثر در رخداد زمین‌لغزش منطقه مطالعاتی شناخته شده‌اند.

وزن نسبی زیرمعیارها (جدول ۳) نشان می‌دهد که عوامل فاصله از آبراهه و دما به ترتیب با اوزان ۰/۲۰۴۳ و ۰/۰۰۸۹ موثرترین و کم‌تاثیرترین

جدول ۴- داده‌های طبقات زیرمعیارها و وزن آنها

زیرمعیار طبقه	فاصله از سکونتگاه (Km)	فاصله از جاده (Km)	فاصله از آبراهها (Km)	تراکم آبراه در (Km ²)	فاصله از غسل (Km)	طبقات ارتفاعی (M)	شیب (%)	بارش (میلیمتر)	دما (سانتیگراد)	بردار وزن
۱	۰-۱/۴	۰-۱/۳	۰-۰/۶۲	۱۶۹/۲-۸۶/۶	۰-۳/۰۷	۲۲۷۴-۳۵۶۱	۲۳/۸-۱۰۰	۷۴۳-۹۸۱	-۰/۶-۸/۹	۰/۵۰۲۸
۲	۱/۴-۲/۹	۱/۳-۳/۵	۰/۶۲-۱/۴	۸۶/۶-۵۶/۸	۳/۰۷-۷/۲۵	۱۹۰۵-۲۲۷۴	۱۴/۱-۲۳/۸	۶۲۸-۷۴۳	۸/۹-۱۱/۶	۰/۲۶۰۲
۳	۲/۹-۵/۰۹	۳/۵-۶/۴	۱/۴-۲/۴	۵۶/۸-۳۵	۷/۲۵-۱۲/۶	۱۵۸۳-۱۹۰۵	۷/۸-۱۴/۱	۵۲۸-۶۲۸	۱۱/۶-۱۴	۰/۱۳۴۴
۴	۵/۰۹-۸/۲	۶/۴-۱۰/۲	۲/۴-۳/۲	۳۵-۱۳/۲	۱۲/۶-۲۱/۲	۱۲۵۵-۱۵۸۳	۳/۵-۷/۸	۴۲۵-۵۲۸	۱۴-۱۶/۵	۰/۰۶۷۸
۵	۸/۲-۱۵/۱۶	۱۰/۲-۱۸	۳/۲-۵/۷	۱۳/۲-۰	۲۱/۲-۳۶/۷	۴۹۸-۱۲۵۵	۰-۳/۵	۲۹۱-۴۲۵	۱۶/۵-۲۲/۴	۰/۰۳۴۸

جدول ۵- داده‌های طبقات سنگ‌شناسی و وزن آنها

جهت شیب	هموار	شمال	شرق	شمال شرق	جنوب غرب	جنوب	غرب	جنوب شرق	شمال غرب
جنس مواد	رسوبات آبرفتی	گدازه‌های آندزیتی	سازند آغاچاری	سازند امیران	سازند سورگاه-ایلام	سازند کشکان	سازند بختیاری	آهک توده ای	سازند گوری
بردار وزن	۰/۰۱۸۹	۰/۰۲۵۹	۰/۰۳۷	۰/۰۵۳۳	۰/۰۷۶۴	۰/۱۰۸۹	۰/۱۵۴۳	۰/۲۱۸۲	۰/۳۰۷

جدول ۶- داده‌های طبقات کاربری اراضی و واحدهای ارضی و وزن آنها

کاربری اراضی	مراعت فقیر	جنگل تنک	مراعت خوب	جنگل انبوه	ارضی باغی	محدوده مسکونی	ارضی زراعی
واحدهای ارضی	مناطق مسکونی و صنعتی	تپه	واریزه‌های بادبزی	فلات‌ها و دشت‌های فوقانی	دشت آبرفتی و رودخانه‌ای	دشت‌های دامنه‌ای	کوه
بردار وزن	۰/۰۳۱۸	۰/۲۳۷۵	۰/۰۴۶۲	۰/۱۵۹	۰/۰۶۹۶	۰/۱۰۵۶	۰/۳۵۰۴

۳-۴- تعیین اولویت و ارجحیت‌ها

در این مرحله، از تلفیق ضرایب مزبور امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین می‌شود. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به تشکیل بردار اولویت با در نظر گرفتن تمام قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتب می‌شود، استفاده می‌گردد (مورنو-جیمینز^۱ و همکاران، ۲۰۰۵: ۸۹؛ برتولینی و براگلیا^۲، ۲۰۰۶: ۸۹) (رابطه ۳).

$$\text{رابطه (۳): } V_H = \sum_{k=1}^n W_k (g_{ij})$$

در این رابطه V_H : امتیاز نهایی گزینه W_k : وزن هر معیار و g_{ij} : وزن گزینه‌ها در ارتباط با معیارها است. وزن نهایی پهنه‌های مواجهه با خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی از مجموع حاصلضرب لایه معیارها در وزنشان و همچنین وزن لایه معیارها از مجموع حاصلضرب لایه زیرمعیارها در وزنشان بدست می‌آید. نتایج حاصل از محاسبه وزن نهایی پهنه‌های خطر به صورت روابط (۴) تا (۹) است.

$$\text{رابطه (۴): } Hy = (0/1717 \text{ St}) + (0/1545 \text{ Std})$$

$$\text{رابطه (۵): } Gl = (0/0802 \text{ Li}) + (0/1076 \text{ Fa})$$

$$\text{رابطه (۶): } Ma = (0/0582 \text{ Ha}) + (0/2043 \text{ Wa})$$

$$\text{رابطه (۷): } Cl = (0/0089 \text{ T}) + (0/0446 \text{ P})$$

1 - Moreno - Jimenez

2 - Bertolini & Braglia

۴-۴- محاسبه نرخ ناسازگاری

برای محاسبه نرخ ناسازگاری، ابتدا باید ماتریس مقایسه زوجی (A) در بردار وزن (W) ضرب گردد تا تخمین مناسبی از $\lambda_{\max} W$ بدست آید، به عبارتی $A \times W = \lambda_{\max} W$ باشد. با تقسیم مقدار $\lambda_{\max} W$ بر W مربوطه، مقدار λ_{\max} محاسبه می‌شود. سپس مقدار شاخص ناسازگاری از طریق رابطه (۱۰) و نرخ ناسازگاری نیز با استفاده از رابطه (۱۱) محاسبه می‌گردد که در آن مقدار I.I.R نیز از جدول (۷) استخراج می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸۸: ۷۲).

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

جدول ۷- مقادیر I.I.R ماتریس‌های تصادفی (قدسی‌پور، ۱۳۸۸: ۷۳)

n	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد در پژوهش حاضر را تأیید می‌کند.

رابطه (۸): $(0/0407 \text{ Lau}) + (0/0272 \text{ As}) + \text{El}$

$$\text{GML} = (0/0114 \text{ SI}) + (0/02 \text{ Cl}) + (0/0678 \text{ CI}) + (0/0348 \text{ GML}) + (0/5028 \text{ Hy}) + (0/2602 \text{ Gl}) + (0/1344 \text{ Ma})$$

رابطه (۹): $(0/0678 \text{ Cl}) + (0/0348 \text{ GML}) + (0/5028 \text{ Hy}) + (0/2602 \text{ Gl}) + (0/1344 \text{ Ma})$

LHZ
در این روابط Hy: عامل هیدرولوژی؛ Gl: عامل زمین‌شناسی؛ Ma: عامل انسانی؛ Cl: عامل اقلیمی؛ GML: عامل ژئومورفولوژی؛ St: فاصله از آبراهه؛ Std: تراکم آبراهه؛ Fa: فاصله از گسل؛ Li: سنگ‌شناسی؛ Wa: فاصله از راههای ارتباطی؛ Ha: فاصله از سکونتگاه؛ La: کاربری اراضی؛ T: هم‌دما؛ P: هم‌بارش؛ SI: شیب؛ As: جهت شیب؛ Lau: واحدهای ارضی؛ El: طبقات ارتفاعی؛ LHZ: لایه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی است.

اگر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (دی و رامچاران، ۲۰۰۰: ۱۳۸۴). به طور کلی نرخ ناسازگاری معیاری است جهت تشخیص معنی‌داری ماتریس‌های مقایسه زوجی و مقدار آن باید کمتر از ۰/۱ باشد. برای همین منظور نرخ ناسازگاری برای ماتریس‌های عوامل موثر با استفاده از روش تقریبی میانگین‌گیری حسابی محاسبه گردید که به صورت جدول (۸) است. نتایج جدول مزبور سازگاری ماتریس‌های عوامل موثر در پهنه‌بندی

¹ - Dey and Ramcharan

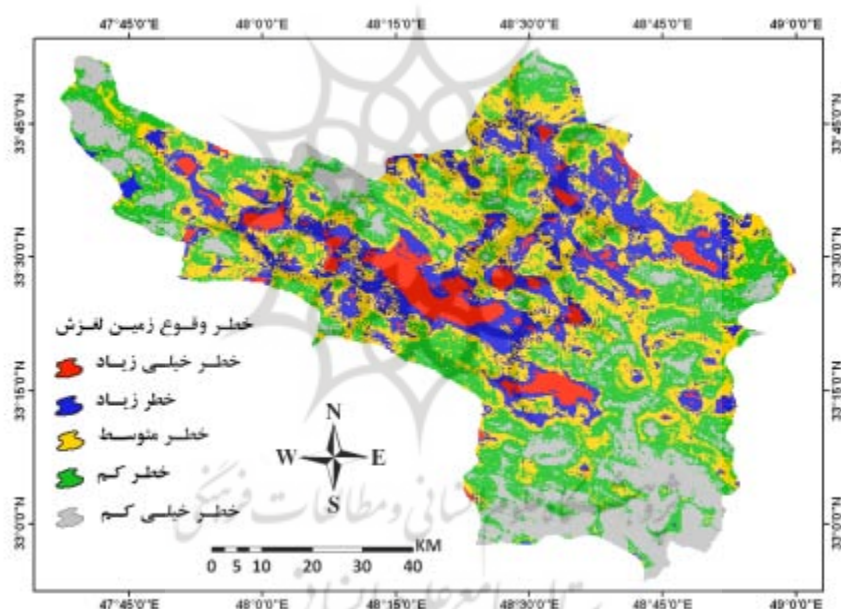
جدول ۸- نرخ ناسازگاری ماتریس‌های عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش خرم‌آباد

ماتریس	معیار	زیر معیار	فاصله از سکونتگاه	طبقات ارتفاعی	فاصله از جاده	فاصله از گسل	تراکم آب‌وهمه	فاصله از آب‌وهمه	بارش	کلا	شیب	جهت شیب	جنس مواد	کابری از صی	واحد از صی
نرخ ناسازگاری	۰/۰۰۲	۶۶/۰۰	۳۳/۰۰	۳۰۰/۰۰	۳۱/۰۰	۱۰۰/۰۰	۳۰/۰۰	۵۰/۰۰	۲۰/۰۰	۴۰/۰۰	۸۰/۰۰	۱۱/۰۰	۳۱/۰۰	۳۰/۰۰	۳۰/۰۰

۵- نتایج

پس از تأیید معنی‌داری ماتریس‌های عوامل موثر در رخداد زمین‌لغزش خرم‌آباد، وزن نهایی معیارها جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی منطقه به لایه‌های متناظر اعمال گردید. جهت اعمال صحیح اوزان بدست آمده

در محیط Arc GIS از روش Raster Calculator و جهت ارائه مدل نهایی از روش Weighted Sum به دلیل دقت بیشتر بهره گرفته شده است. نتیجه حاصله به صورت شکل (۴) بوده که نقشه پهنه‌بندی خطر رخداد زمین‌لغزش شهرستان خرم‌آباد را نشان می‌دهد.



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان خرم‌آباد

برای بررسی میزان دقت و صحت مدل پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش منطقه از شاخص زمین‌لغزش^۱ استفاده شد. ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی بر اساس نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌های مشاهده شده (شکل ۵) صورت می‌گیرد. برای این منظور نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه با نقشه پهنه‌بندی ارائه

شده تلاقی داده شد و با استفاده از روش ارزیابی شاخص زمین‌لغزش، دقت و صحت مدل به شرح زیر محاسبه گردید.

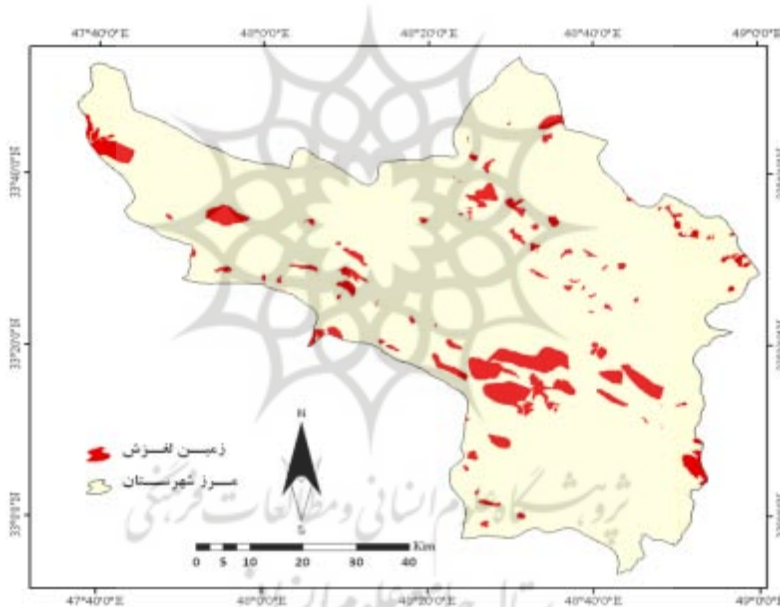
1 - Landslide Index

نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه‌بندی خطر با نقشه پراکنش و محاسبه شاخص زمین‌لغزش برای مدل ارائه شده به صورت جدول (۹) است. مقادیر شاخص مزبور حاکی از وجود روند صعودی از پهنه خطر خیلی کم به سمت پهنه خیلی زیاد است. اگر روند شاخص زمین‌لغزش نزولی و نامنظم باشد، و یا به عبارتی، درصد این شاخص در پهنه‌های خطر پایین بیشتر از پهنه‌های خطر بالا باشد، مدل تهیه شده از دقت کافی برخوردار نخواهد بود. بنابراین روند صعودی شاخص زمین‌لغزش مدل تهیه شده در این پژوهش دقت لازم مدل مزبور را تأیید می‌کند.

شاخص زمین‌لغزش عبارت است از: درصد نسبت سطح لغزش‌یافته در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع لغزش به سطح کل پهنه‌ها. رابطه (۱۲) نشان دهنده نحوه محاسبه شاخص زمین‌لغزش است (ون وستن و همکاران، ۱۹۹۷: ۴۰۴).

$$LI = \frac{Si/Ai}{\sum_{i=1}^n (Si/Ai)} \times 100 \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در این رابطه Li : شاخص خطر رخداد زمین‌لغزش در هر پهنه به درصد؛ Si : مساحت سطح لغزش‌یافته در هر پهنه؛ Ai : مساحت هر پهنه و n : تعداد پهنه‌ها است.



شکل ۵- نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های مشاهده شده در شهرستان خرم‌آباد

جدول ۹- نتایج حاصل از تلاقی نقشه پهنه‌بندی خطر با نقشه پراکنش زمین‌لغزش

شاخص زمین‌لغزش (%)	درصد سطح لغزشی	سطح لغزش یافته (km ²)	مساحت به درصد	مساحت (km ²)	گستره لغزشی
۱۲/۱۳۶	۱۰/۴۱۶۶	۴۹۴۱۰/۴۴	۱۶/۸	۱۰۵۸/۰۱	خطر خیلی کم
۱۸/۴۶۷	۲۷/۲۷۱۸	۴۹۰۰۹۴/۱۱۶	۲۸/۸	۱۸۰۸/۷	خطر کم
۲۱/۶۸۶	۳۳/۴۲۹	۷۸۹۸۰۳/۱۴۲	۲۸/۹	۱۸۱۵/۲۴	خطر متوسط
۲۲/۳۹۲	۲۱/۰۱۲۹	۷۵۵۴۰۱/۸۹	۱۹/۳۴	۱۲۱۵/۹	خطر زیاد
۲۵/۳۲۸	۷/۸۶۹۴	۶۱۴۰۵/۳۳	۶/۱۷	۳۸۷/۹	خطر خیلی زیاد
۱۰۰	۱۰۰	۱۴۳۴۴۹/۴۲۷	۱۰۰	۶۲۸۵/۷	جمع

گزینه را که در این پژوهش پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است، انتخاب نمایند.

منطقه مطالعاتی براساس عامل موثر بر رخداد زمین‌لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی پهنه‌بندی شد و نهایتاً وقوع پهنه‌های زمین‌لغزشی از ریسک بسیار زیاد تا خیلی کم شناسایی گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد که پهنه‌های خطر بسیار زیاد و زیاد در اکثر موارد با نواحی حساس سکونت‌انطباق دارند. این نشان دهنده وجود عوامل اولیه‌ی موثری نظیر مکانگزینی نامناسب مراکز سکونتگاهی و راه‌های ارتباطی و تغییر کاربری اراضی توسط انسان در سطح شهرستان خرم‌آباد است. بنابراین هرگونه عملیات تخریب و کار غیرمهندسی در منطقه می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیر جانی و مالی را به همراه داشته باشد.

در بین عوامل موثر، زیرمعیارهای فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، تراکم آبراهه و فاصله از گسل به ترتیب با اوزان ۰/۲۰۴۳، ۰/۱۷۱۷، ۰/۱۵۴۵ و ۰/۱۰۷۶ به عنوان مهمترین عوامل در ایجاد زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی شناسایی شده‌اند. نقش دیگر عوامل به نسبت تاثیرشان در زمین‌لغزش کاهش یافته و وزنشان به شرح جدول (۳) می‌باشد. براساس مدل و نقشه نهایی پهنه‌بندی، در مجموع ۲۵/۵۱ درصد (۱۶۰۳/۸ کیلومتر مربع) از مساحت شهرستان خرم‌آباد دارای خطر وقوع بسیار زیاد (۶/۱۷) درصد معادل ۳۸۷/۹ کیلومتر مربع) و خطر وقوع زیاد (۱۹/۳۴) درصد معادل ۱۲۱۵/۹ کیلومتر مربع) می‌باشند. این وسعت بسیار زیاد اهمیت وقوع زمین‌لغزش در آینده را در منطقه نشان داده و پیگیری مسائل مدیریتی آن را دو چندان می‌کند.

نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌لغزش برای مدل تهیه شده، روند صعودی این شاخص از پهنه خیلی کم به سمت پهنه خطر خیلی زیاد را نشان داده و نشان دهنده دقت لازم مدل مزبور است.

نتایج جدول (۹) نشان می‌دهد که پهنه خطر خیلی کم با اینکه ۱۶/۸ درصد از مساحت کل منطقه را به خود اختصاص داده، اما ۱۰/۴ درصد سطح لغزش‌های منطقه را شامل می‌شود. از طرفی پهنه خطر خیلی زیاد با دارا بودن ۶/۱۷ درصد از مساحت کل منطقه، ۷/۹ درصد سطح لغزشی منطقه را در بر گرفته است. سایر نتایج به دست آمده از مقایسه مدل ارائه شده خطر زمین‌لغزش منطقه با رخدادهای مشاهده شده به صورت جدول (۹) است.

۶- بحث و نتیجه‌گیری

وقوع پدیده زمین‌لغزش در مناطق مستعد یکی از معضلات عمده‌ای است که شهرستان خرم‌آباد در اکثر مواقع با آن روبرو است. بنابراین ایجاد یک استراتژی منطقه‌ای برای حفاظت از منابع انسانی و طبیعی و کاهش خسارات ناشی از وقوع آن جهت نیل به اهداف توسعه پایدار بسیار مهم و ضروری بوده و ارائه یک مدل مناسب و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت محیط منطقه مطالعاتی کمک شایانی به مراکز ذی‌صلاح نماید. تکنیک GIS، به علت توانایی آن در مدیریت حجم زیادی از اطلاعات فضایی، ابزاری نیرومند برای این نوع مطالعات اولیه به شمار می‌رود. علاوه بر این، مدل AHP توسط برنامه‌ریزان برای حل معضلات پیچیده‌ای که در امر مدیریت با آن روبرو هستند، به کار گرفته می‌شود. بنابراین تلفیق تکنیک GIS و مدل AHP می‌تواند به عنوان روشی قدرتمند جهت ارائه مدل پیش‌بینی و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه تلفیق تکنیک GIS و مدل AHP برای برنامه‌ریزان این امکان را فراهم می‌آورد که با استفاده از توابع تجزیه و تحلیل معیارها و رتبه‌بندی آلترناتیوها، مناسبترین

منابع

- احمدی، حسن، اسمعیلی، اباذر، فیض‌نیا، سادات و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۲)، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با استفاده از دو روش رگرسیون چند متغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) (مطالعه موردی: حوضه آبخیز گرمی چای)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، ش ۴، صص ۳۲۳-۳۳۶.
- امامی، سید نعیم و جعفر غیومیان، (۱۳۸۲)، پژوهشی بر ساز و کار زمین‌لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای (مطالعه موردی: لغزش افسرآباد استان چهارمحال و بختیاری)، مجموعه مقالات سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه بوعلی سینا همدان، صص ۱۱۳-۱۲۶.
- جوکار سرهنگی، عیسی؛ امیر احمدی، ابوالقاسم و حسین سلملیان، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه صفارود با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۹، صص ۷۹-۹۳.
- رامش‌ت، محمد حسین، (۱۳۷۵)، کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی ملی، منطقه‌ای، اقتصادی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه اصفهان.
- شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ قدوسی، جمال و جعفر غیومیان، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چالکروود تنکابن)، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، ش ۷۵، صص ۱۱۷-۱۲۶.
- عظیم پور، علیرضا؛ صدوقی، حسن؛ دلال اوغلی، علی و محمد رضا ثروتی، (۱۳۸۸)، ارزیابی نتایج مدل AHP در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه (مطالعه موردی: حوضه آبریز اهرچای) مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۶، صص ۷۱-۷۸.
- علی‌جانی، بهلول؛ قهرودی، منیژه و ابوالقاسم امیراحمدی، (۱۳۸۶)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ش ۸۴، صص ۱۱۶-۱۳۱.
- علی محمدی، صفیه؛ پاشایی اول، عباس؛ شتابی جویباری، شعبان و لطفاله پارسایی، (۱۳۸۸)، ارزیابی کارایی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز سید کلاته رامیان، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش اول، صص ۵۹-۷۸.
- فیض‌نیا، سادات؛ کلارستاقی، عطاله؛ احمدی، حسن و مهرداد صفایی، (۱۳۸۳)، بررسی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شیرین‌رود سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، ش ۱، صص ۳-۲۲.
- قدوسی پور، سید حسن، (۱۳۸۸)، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، تهران.
- قنبرزاده، هادی و ابوالفضل بهنیافر، (۱۳۸۸)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در ارتفاعات حوضه آبریز کال شور (شهرستان نیشابور)، مجله علمی پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، ش ۲۸، صص ۱۰۳-۱۲۳.
- مصفايي، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور و محسن شریعت جعفری، (۱۳۸۸)، مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود)، مجله

- of future landslides. *Journal of Geomorphology*, No, 103, Pp. 447-454.
- Lopez H.J., & Zink J.A., (1991), GIS-assisted modelling of soil-induced mass movement hazards: a case study of the upper Coello river basin, Tolima, Colombia. *ITC Journal*: 4, Pp. 202-220.
- Moreno-Jiminez, J.M., Joven, J.A., Pirla, A.R., & Lanuza, A.T., (2005), A spreadsheet module for consistent consensus building in AHP decision making, *Journal of Group Decision and Negotiation*, vol. 14, Pp. 89-108.
- Nefeslioglu, H.A., Duman, T.Y., Durmaz, S., (2008). Landslide susceptibility mapping for a part of tectonic Kelkit Valley (Eastern Black Sea region of Turkey). *Journal of Geomorphology*, 94 (3-4), Pp. 401-418.
- Ownegh, M., (2004), Assessing the Application of Australian Landslide databases for hazard management, 13th International Soil Conservation Organization Conference - Brisbane, July.
- Pradhan, B., (2011). An Assessment of the Use of an Advanced Neural Network Model with Five Different Training Strategies for the Preparation of Landslide Susceptibility Maps. *Journal of Data Science*, No. 9, Pp. 65-81.
- Saaty, T.L., (1986), Axiomatic foundation of analytical hierarchy process, *Journal of Management science*, Vol. 31, No. 7, Pp. 841-855.
- Vahidnia, M. H., Alesheikh, A. A., Alimohammadi, A., & Hosseinali, F., (2009). Landslide Hazard Zonation Using Quantitative Methods in GIS. *International Journal of Civil Engineering*, Vol. 7, No. 3, Pp. 176-189.
- Van Westen, C.J., Rengers, N., Terline, M.T.J., and Soeters, R. (1997) Predication of the Occurrence of slope Instability Phenomena through GIS-Based Zonation. *Journal of Geologisches Rundschau*, No. 86, Pp. 404-414.
- Yalcin, A., (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy Process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations. *Journal of Catena*, No: 72; Pp. 1 - 12.
- Yoshimatsu, H., Abe, S., (2006). A review of landslide hazards in Japan and assessment of their Susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method. *Journal of Landslides*, No. 3, Pp. 149-158.
- پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، ش ۴، صص ۴۳-۶۱.
- مقتدر، عطیه؛ بحرودی، عباس؛ شریفی، محمدعلی و محمدرضا مهدویفر، (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استان لرستان با استفاده از منطق فازی، چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست‌وهشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه، ۲۵ الی ۲۷ شهریورماه.
- مقیم، ابراهیم؛ علوی‌پناه، سید کاظم و تیمور جعفری، (۱۳۸۷)، ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)، موسسه جغرافیایی دانشگاه تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۵۳-۷۵.
- Bertolini, M., Braglia, M., & Carmignani, G., (2006), Application of the AHP methodology in making a proposal for a public work contract, *International Journal of Project Management*: 24, Pp. 422-430.
- Bowen, W.M., (1990), Subjective judgments and data environment analysis in site selection, *Computer, Environment and Urban Systems*, Vol. 14, Pp.133-144.
- Cimren, E., Catay, B., Budak, E., (2007), Development of a machine tool selection system using AHP, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 35, Pp. 363-376
- Dyer, R.F., & Forman, E.H., (1991), An analytical approach to marketing decisions, Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, USA.
- Dey, P.K., & Ramcharan, E.K., (2000), Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados, *Journal of Environmental Management*: 88, Pp. 1384-1395.
- Esmali, A., & Ahmadi, H., (2003). Using GIS & RS in Mass Movements Hazard Zonation -A Case Study in Germichay Watershed, Ardebil, Iran., *Map India Conference Disaster Management.*, Pp :1-5
- Hattanji, T., & Moriwaki, H., (2009), Morphometric analysis of relic landslides using detailed landslide distribution maps: Implications for forecasting travel distance