مجله انجمن زمین شناسی مهندسی ایران
بهار و تابستان ۱۳۹۲، جلد ششم، شماره ۱ و۲، صفحه ۱ تا ۱۲

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کشوری)

سلمان سوری[1*]، غلامرضا لشکری پور[2]، محمد غفوری[2]، طاهر فرهادی نژاد[3]

دریافت مقاله: ۹۰/۱۲/۰۳ پذیرش مقاله: ۹۲/۰۵/۰۷

چکیده

شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش در یک حوضه و پهنه‌بندی خطر آن یکی از ابزارهای اساسی جهت مدیریت و اجتناب از خطر می‌باشد. حوضه آبریز کشوری با مساحت ۳٤٥ کیلومترمربع در۲۰ کیلومتری جنوب شرق خرم‌آباد جزء زاگرس چین‌خورده است و با توجه به نوع سازندهای زمین‌شناسی، وضعیت توپوگرافی، لرزه‌خیزی و اقلیم، از پتانسیل لغزشی بالایی برخوردار می‌باشد. به منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در این حوضه ابتدا لغزش‌های حوضه شناسایی و ثبت گردیدند. با قطع نقشه‌های عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل و آبراهه به ناپایداری شیب‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برآورد گردید. بر اساس نتایج پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با روش تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب ۵/۹، ۳۸/۲، ۳۸/۱، ۱۵/۷۹ و ۲/۰۱ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها: *زمین‌لغزش، پهنه‌بندی، حوضه کشوری، تحلیل سلسله مراتبی*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، soorisalman@yahoo.com
۲. استاد، زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. دانشجوی دکتری، زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران
* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم طبیعی که از دیرباز با آن مواجه بوده‌ایم ناپایداری‌های دامنه‌ای است. استفاده بیش از حد از منابع‌طبیعی باعث تشدید این پدیده شده است. بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای به کمک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و از سوی دیگر برای شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو، انرژی و ... حایز اهمیت بوده و در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد.

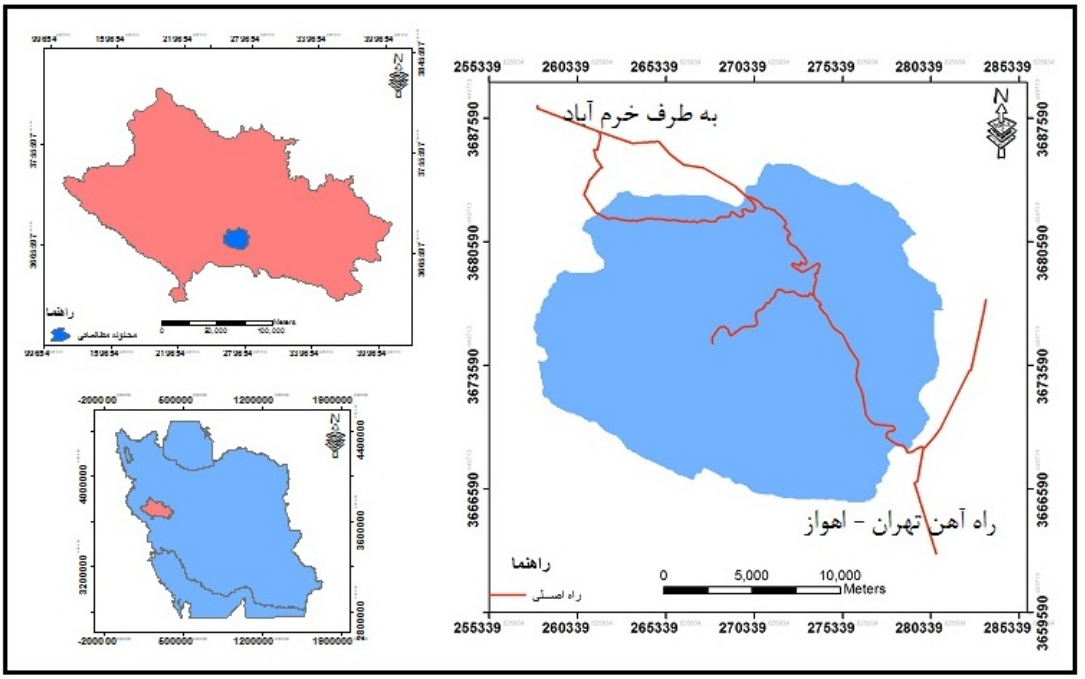
استراتژی مطالعه زمین‌لغزش شامل شناخت فرآیند، تحلیل خطر و پیش‌بینی لغزش با هدف کاهش خسارات ناشی از آن است (Lan et al., 2004). برای پهنه‌بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ها و وقوع زمین‌لغزش‌ها ده‌ها مدل عددی با عوامل، وزن، نرخ، منطق محاسباتی و مقیاس متفاوت ابداع و در شرایط متنوع براساس شواهد زمینی واسنجی اصلاح شده است (Ownegh, 2002). در سال‌های اخیر روش‌های متعددی برای بررسی خطر ناپایداری دامنه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است که از جمله آنها می‌توان به روش‌های آماری، رگرسیون تحلیلی دو متغیره، چند متغیره و لجیستیک، منطق فازی، آنالیز شبکه مصنوعی اشاره کرد. با توجه به اینکه استفاده از مدل‌های مبتنی بر نظر کارشناسی مورد توجه پژوهشگران قرار داشته (محمدی و همکاران، ۱۳۸۸)، در این تحقیق به منظور اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و همچنین پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری به عنوان یکی از واحدهای هیدرولوژیکی سد دز از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسئله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسئله دارا می‌باشد. این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبه را تسهیل می‌نماید، همچنین مقدار سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره است (Saaty 1977; به نقل از احمدی و همکاران ۱۳۸٤). در سال‌های اخیر این روش کاربرد زیادی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش داشته که در این زمینه می‌توان به مطالعات زمانی (۱۳۹۰)، امیر احمدی و همکاران (۱۳۸۹)، بهنیافر و همکاران (۱۳۸۹)، محمدی و همکاران (۱۳۸۸)، رنجبر و همکاران (۱۳۸۸)، Mohammady و همکاران (۲۰۱۰)، Gharahi و همکاران (۲۰۱۱)، Pourghasemi و همکاران (۲۰۱۲) در ایران و به مطالعات Komac (۲۰۰٦)، Yalcin (۲۰۰۸)، Ercanoglu و همکاران (۲۰۰۸)، Yalcin و همکاران (۲۰۱۱) و Mezughi و همکاران (۲۰۱۲) در سایر نقاط جهان اشاره کرد.

هدف از انجام این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری می‌باشد، منابعی که بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از: نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه طرح، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد، نقشه کاربری اراضی ۱:۵۰۰۰۰خرم‌آباد، داده‌های ماهواره‌ای TM، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ منطقه طرح، آمار بارندگی حوضه مورد مطالعه، بدین منظور از آمار پنج ایستگاه کمندان، دره تخت، دورود، خرم‌آباد، پلدختر که میانگینی از دیدبانی‌های ٢٤ ساله (۲۰۰٦-۱۹۸۳) در این ایستگاه‌ها می‌باشد استفاده شده است.

۲. ویژگی‌های حوضه

استان لرستان به دلیل خصوصیات متنوع زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، تکتونیک، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی، از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است. قرار گرفتن بر روی کمربند زلزله خیز آلپ - هیمالیا، عبور گسل بزرگ زاگرس، تناوب لایه‌های سخت آهکی و لایه‌های سست مارنی شیلی در یال تاقدیس‌های بزرگ در سرتاسر این استان شرایط

ناپایداری بخش‌های بزرگی از دامنه‌های طبیعی را ایجاد کرده است. حوضه آبریز کشوری با مساحت ۳٤٥ کیلومترمربع در ۲۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهر خرم‌آباد در استان لرستان قرار دارد (شکل ۱). این حوضه یکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز رودخانه دز می‌باشد. خروجی این حوضه در ایستگاه راه‌آهن – کشور به رودخانه سزار می‌پیوندد. محدوده حوضه کشوری از شمال به کوه سفید و کوکلا، از شمال شرق به کوه تاف، از شرق و جنوب‌شرق به رودخانه دز و کوه چلن از جنوب به کوه سرور و از غرب به کوه هشتاد پهلو محدود می‌گردد. بلندترین نقطه ارتفاعی آن ۲۸۰۰ متر و پست‌ترین نقطه ۸۰۰ متر از سطح آزاد دریا قرار دارد. از دیدگاه زمین‌ساختی گسترهٔ مورد بررسی در پهنه زاگرس چین‌خورده قرار گرفته که از طرف شمال به زون زاگرس مرتفع و از طرف جنوب به دشت خوزستان محدود می‌گردد.

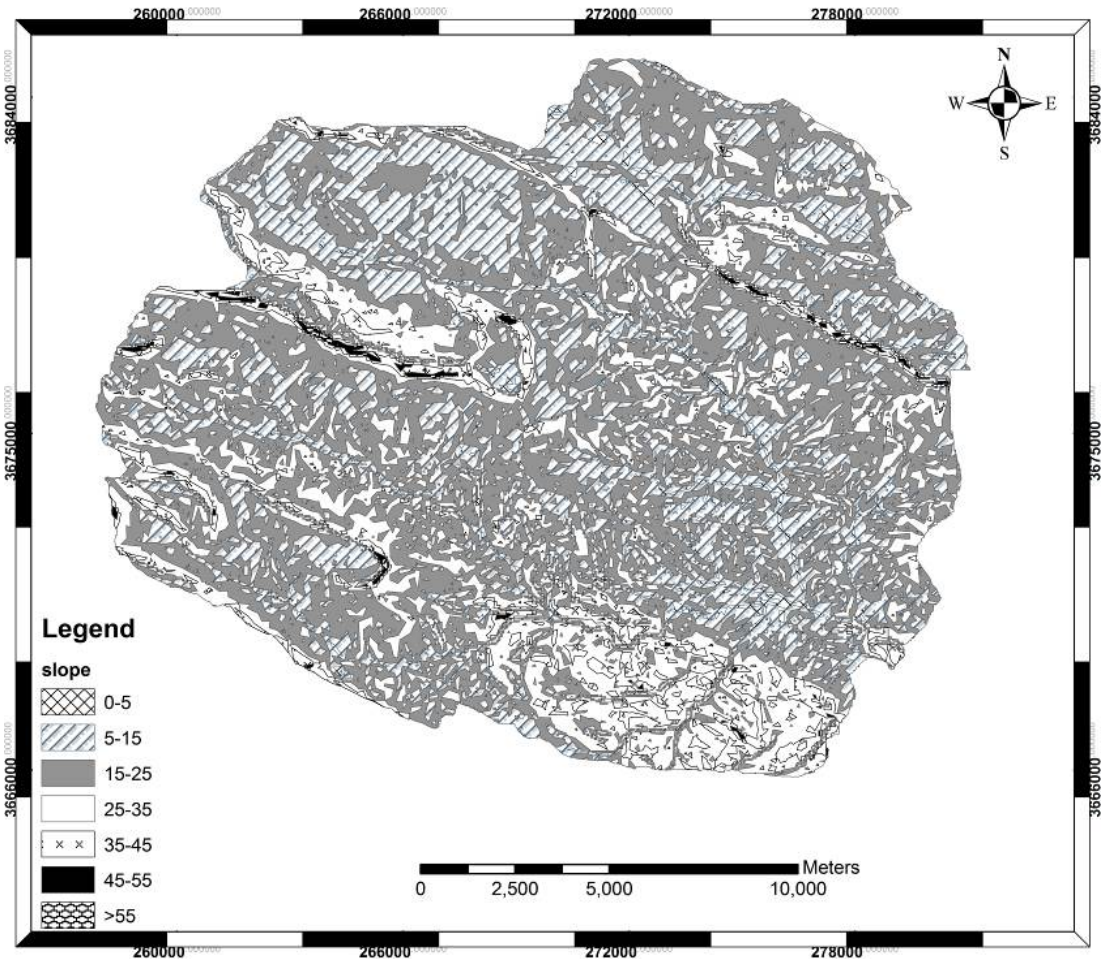


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه کشوری

۳. بررسی عوامل مؤثر بر زمین لغزش‌های حوضه کشوری

اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش‌های اتفاق افتاده می‌باشد. بدین منظور با استفاده از عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه، لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مستعد و مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شدند و از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در عکس‌های هوایی ۱:۵۰۰۰۰ قابل تشخیص نیستند لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت و در کل ۲۹۵ پیکسل لغزشی با ابعاد ۸۷×۸۷ متر در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد (شکل ٦). در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش علاوه بر تهیه نقشه پراکنش لغزش‌های حوضه ۸ عامل مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل لایه‌های رستری شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، بارش، گسل و آبراهه می‌باشد.

۱– میزان شیب دامنه: به منظور تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی که از خطوط تراز نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ خرم‌آباد در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید، استفاده شده است. نقشه شیب برای منطقه مورد مطالعه مطابق شکل۲ در ۷ کلاس ۵–۰، ۱۵–۵، ۲۵–۱۵، ۳۵–۲۵، ٤٥–۳۵، ۵۵–٤٥ و بیشتر از ۵۵ درجه تهیه گردید.



شکل ۲. نقشه شیب حوضه کشوری

۲- زمین‌شناسی منطقه: طبق بررسی‌های انجام گرفته حوضه کشوری از لیتولوژی متنوعی برخوردار بوده و این عامل تأثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد. نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ خرم‌آباد، عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ منطقه و کارهای صحرایی تهیه شده است. واحدهای چینه‌شناسی سنگی حوضه کشوری به ترتیب از قدیمی‌ترین واحد تا جوان‌ترین آن از نظر لیتولوژی و چینه‌شناسی شامل آهک بنگستان (Bg)، سازند گورپی (Gu)، سازند امیران (Am)، سازند آهکی تله‌زنگ (Tz)، سازند کشگان (Kn)، سازند آسماری (As)، سازند گچساران (Gs)، کنگلومرای بختیاری (Bk) و رسوبات آبرفتی عهد حاضر (Qt) می‌باشد (شکل ۳).

۳- جهت شیب: به منظور ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخداده نقشه جهت شیب به ۹ کلاس شمال (0^o-$22/5^o$ و $337/5^o$-360^o)، شمال‌شرقی ($22/5^o$-$67/5^o$)، شرق ($67/5^o$-$112/5^o$)، جنوب‌شرقی ($112/5^o$-$157/5^o$)، جنوب ($157/5^o$-$202/5^o$)، جنوب‌غربی ($202/5^o$-$247/5^o$)، غرب ($247/5^o$-$292/5^o$) و شمال‌غربی ($292/5^o$-$337/5^o$) طبقه‌بندی گردید.

٤- کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM و تفسیر شاخص NDVI استخراج شده و با عملیات میدانی تکمیل شده است (شکل٤). نقشه کاربری اراضی حوضه، واحدهای اراضی جنگلی (Forst)، اراضی تخریبی زراعی (DL)، اراضی مرتعی (Rengland)، اراضی زراعی آبی (DE)، اراضی دیم (DF) و اراضی صخره‌ای (Rock) را در بر می‌گیرد.

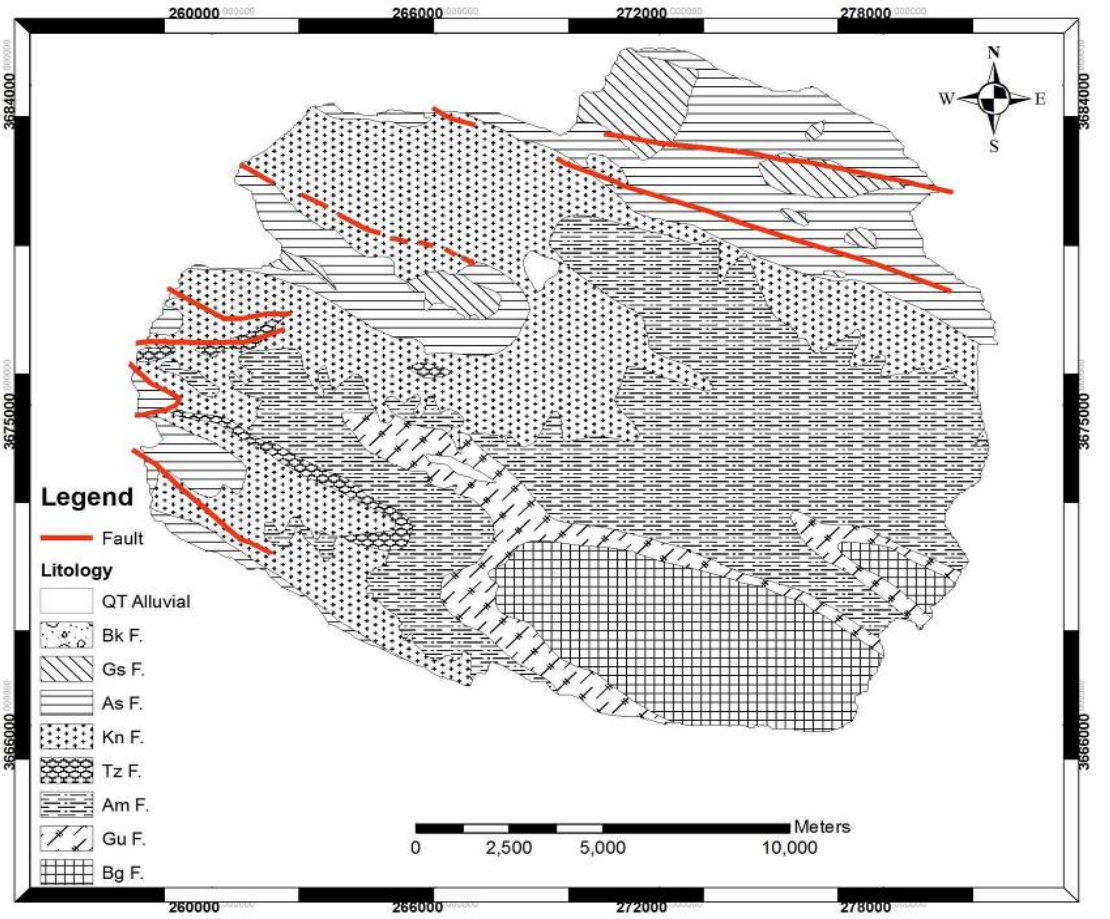
۵- طبقات ارتفاعی: ارتفاع نیز به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش معرفی شده است زیرا در کنترل درجه و نوع فرسایش نقش بسزایی دارد (Ayalew et al., 2005). نقشه طبقات ارتفاعی از طبقه‌بندی نقشه DEM منطقه تهیه شده است. به منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین‌لغزش‌های رخداده در منطقه و با توجه به هیستوگرام فراوانی تجمعی، نقشه طبقات ارتفاعی در۵ کلاس۱۲۰۰-۸۰۰، ۱۶۰۰-۱۲۰۰، ۲۰۰۰-۱۶۰۰، ۲۴۰۰-۲۰۰۰ وبیشتر از۲۴۰۰ متر تهیه گردیده است.

۶- نقشه فاصله از گسل: در این تحقیق با استفاده از عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه گسل‌های منطقه شناسایی و رقومی گردیدند و به منظور اینکه نقشه فاصله از گسل به عنوان یک عامل خطی اثر خود را نشان دهد به ۵ طبقه با فواصل ۱۵۰۰-۰، ۳۰۰۰-۱۵۰۰، ۴۵۰۰-۳۰۰۰، ۶۰۰۰-۴۵۰۰ و بیشتر از ۶۰۰۰ متر طبقه‌بندی شده است.

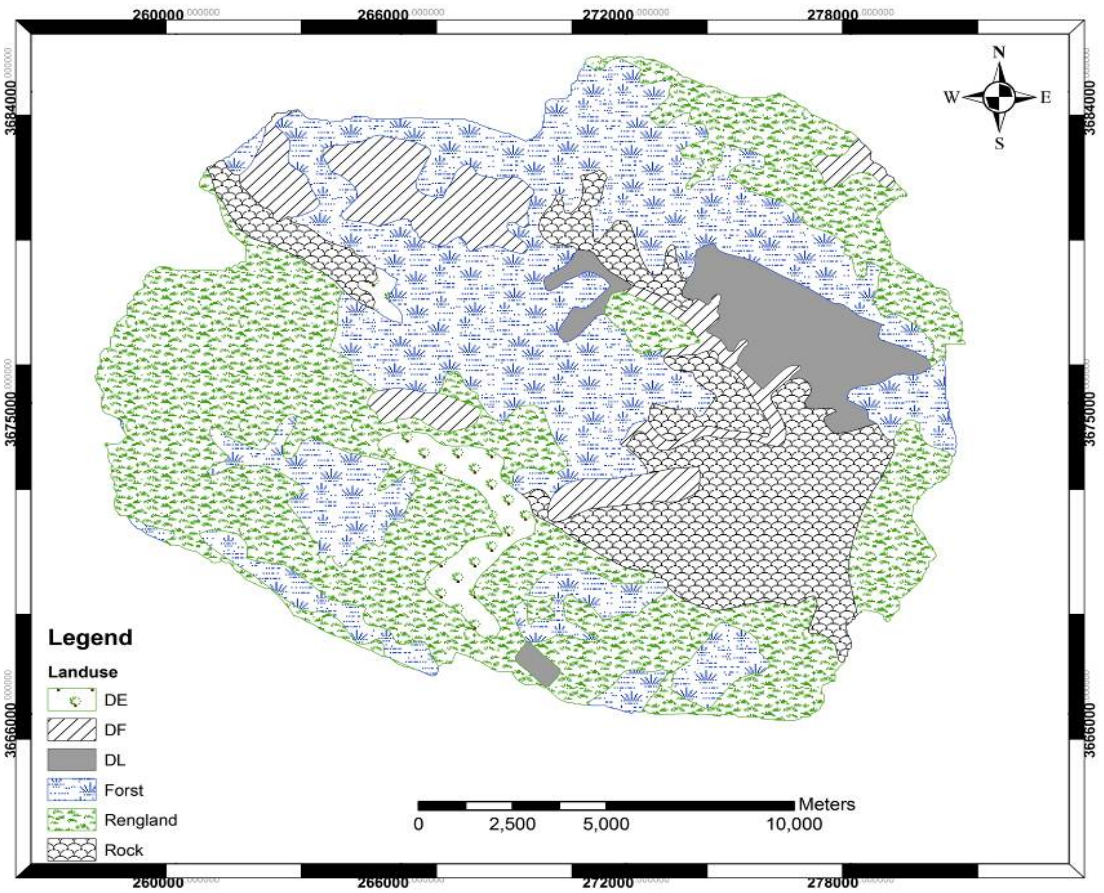
۷- نقشه هم‌باران: با توجه به آمار بارندگی سالانه ایستگاه‌ها، در محیط GIS نقشه هم‌باران منطقه به ۳ طبقه کمتر از ۶۲۱، ۷۷۱-۶۲۱ و بیشتر از ۷۷۱ میلی‌متر تقسیم شده است.

۸- نقشه فاصله از آبراهه: به منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار GIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل۱۰۰-۰، ۲۰۰-۱۰۰، ۳۰۰-۲۰۰، ۴۰۰-۳۰۰ و بیشتر از ۴۰۰ متر تقسیم و به منظور بیان ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و حریم فاصله از آبراهه‌ها به کار گرفته شد.

برای بررسی ارتباط عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه کشوری بعد از تهیه نقشه این عوامل، با قطع دادن نقشه هر یک از آنها با نقشه نقاط لغزشی منطقه، پراکندگی پیکسل‌های لغزشی نسبت به عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در محیط نرم‌افزار ArcGIS مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱).



شکل۳. نقشه زمین‌شناسی حوضه کشوری



شکل٤. نقشه کاربری اراضی حوضه کشوری

جدول ۱. بررسی ارتباط بین عوامل مؤثر بر لغزش با نقاط لغزشی در حوضه کشوری

شیب		جهت شیب		زمین‌شناسی		کاربری اراضی		طبقات ارتفاعی		گسل		بارش		آبراهه	
کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش	کلاس	درصد لغزش
۰-۵	۰	۰-۲۲/۵	۵/۰۸	Qt	۰/۳۵	DF	۱/۳۵	-۱۲۰۰ ۸۰۰	۱/۳۵	-۱۵۰۰ ۰	۵۸/٦	-٦۲۱ ۵۲۱	۵/٤	-۱۰۰ ۰	۳۹/٦
۵-۱۵	٦/۵	-٦۷/۵ ۲۲/۵	۲٤/۱	Bk	۰/۰۳	DE	۰/٦۷	-۱٦۰۰ ۱۲۰۰	۱۲/۵	-۳۰۰۰ ۱۵۰۰	۲٤/۱	-۷۷۱ ٦۲۱	۳۲/۹	-۲۰۰ ۱۰۰	۲۳/٤
-۲۵ ۱۵	۱۳/۵	-۱۱۲/۵ ٦۷/۵	۵/۰۸	Gs	۳/۷٦	DL	۷/۱۱	-۲۰۰۰ ۱٦۰۰	۲۸/۸	-٤۵۰۰ ۳۰۰۰	۷/۱۱	>۷۷۱	٦۱/۷	-۳۰۰ ۲۰۰	۱٤/۹
-۳۵ ۲۵	۲٤	-۱۵۷/۵ ۱۱۲/۵	۱۰/۵	As	۱٦/۹	Forst	٤۸/۸	-۲٤۰۰ ۲۰۰۰	۳٦/۹	-٦۰۰۰ ٤۵۰۰	٤/٤	–	–	-٤۰۰ ۳۰۰	۸/۵
-٤۵ ۳۵	٤۱/٤	-۲۰۲/۵ ۱۵۷/۵	۳۵/۹	Kn	۲۹/٦	Rengland	۳۲/٦	>۲٤۰۰	۲۰/٤	>٦۰۰۰	۵/۷٦	–	–	>٤۰۰	۱۳/۵
-۵۵ ٤۵	۱۳/۵	-۲٤۷/۵ ۲۰۲/۵	۱۳/۲	Tz	۱/۲۸	Rock	۹/٤۹	–	–	–	–	–	–	–	–
>۵۵	۱/۰۱	-۲۹۲/۵ ۲٤۷/۵	۲/۰۳	Am	۲۹/۹	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	-۳۳۷/۵ ۲۹۲/۵	۱/٦۹	Gu	٦/۵٤	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
–	–	-۳٦۰ ۳۳۷/۵	۲/۳۷	Bg	۱۱/٦	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–

٤. روش کار

در این پژوهش از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) که یکی از مدل‌های چندمعیاره تصمیم‌گیری است، برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش استفاده شده است. AHP یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند (Ayalew et al., 2005). از مزایای این روش این است که اعمال نظر کارشناسی توسط افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. همچنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد (کلارستاقی، ۱۳۸۱).

در تحلیل سلسله مراتبی روش کار بدین صورت است که ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسات زوجی استفاده می‌شود، به طوری که تصمیم گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به صورت جدول ۲ در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌نماید (قدسی پور، ۱۳۸۷). سپس نتایج این مقایسات، برای محاسبه شاخص ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد نتایج قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدید نظر شود. بعد از به دست آوردن وزن هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش بر اساس قضاوت کارشناسی، برای محاسبه وزن کلاسه‌های هر یک از این عوامل از تراکم سطح دو سوم از لغزش‌ها (یک سوم دیگر لغزش‌ها برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود) در کلاسه مورد نظر استفاده می‌شود و وزن کلاسه‌های این عوامل بر اساس رابطه ۱ به دست می‌آید. حال پس از ضرب وزن هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش در وزن کلاسه‌های آن عامل وزن نهایی مطابق رابطه ۲ برای منطقه مورد مطالعه به دست می‌آید که بر اساس آن می‌توان ضریب خطر یا حساسیت منطقه را نسبت به لغزش‌های رخ داده محاسبه کرد.

جدول ۲. طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی

توصیف زبانی ارجحیت طبقات	مقدار عددی وزن‌ها
کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب تر یا کمی مهم‌تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
اولویت بین فواصل	۲، ٤، ٦ و ۸

$$x = \frac{A_i}{A_{i\,max}} \times 100 \qquad (۱)$$

x: وزن نسبی کلاسه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش

A_i : تعداد لغزش در هر کلاس

$A_{i\,max}$: حداکثر تعداد لغزش در کلاس‌های هر عامل

$$M = \sum a_i x_i \qquad (۲)$$

M: ضریب خطر

a_i: وزن به دست آمده برای هر عامل با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice و بر مبنای قضاوت کارشناسی

X_i: وزن نسبی کلاسه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش

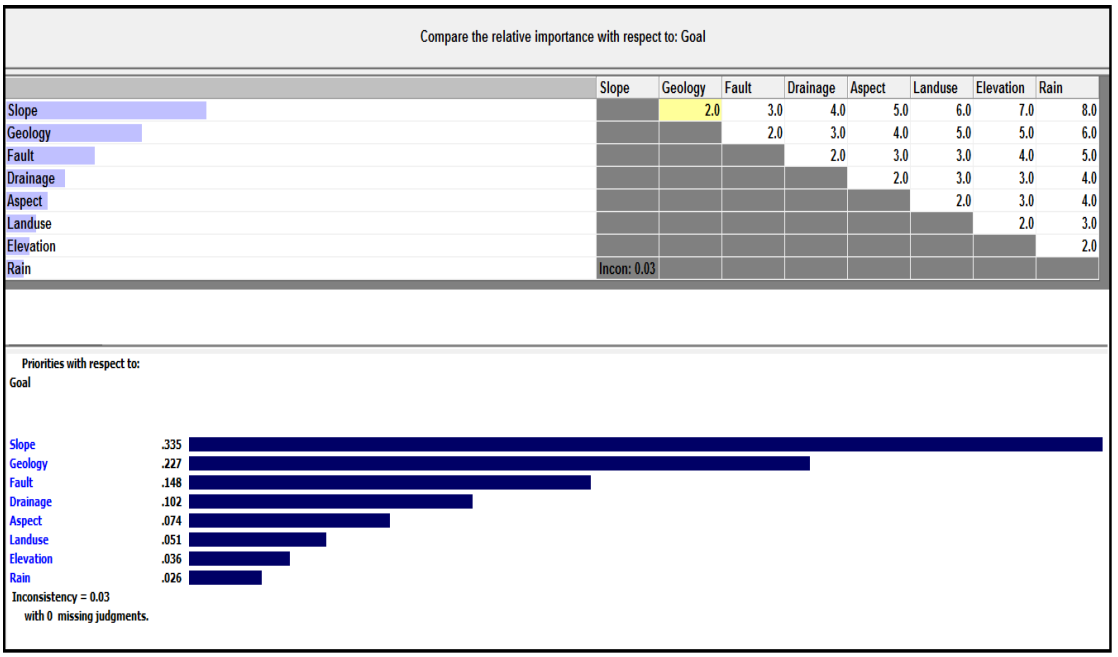
۵. بحث

با قطع نقشه نقاط لغزشی با نقشه عوامل مؤثر بر لغزش نتایجی به شرح زیر حاصل شده است:

نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که بیشتر حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب‌های متوسط اتفاق افتاده است. این امر حاکی از آن است که در شیب پایین به دلیل افزایش نیروی ثقل و در شیب‌های بالا به دلیل ضعیف بودن فرآیند خاک‌سازی و افزایش استحکام سازندهای زمین‌شناسی حساسیت کاهش می‌یابد و ضخامت واریزه‌ها کمتر می‌گردد. بررسی جهات جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که این جهات تأثیر متفاوتی بر وقوع زمین‌لغزش‌ها دارند، در حوضه کشوری بیشترین

حساسیت به زمین‌لغزش در طبقات جنوبی به دلیل نبود پوشش گیاهی و فرسایش بالا و طبقات شمال‌شرقی وجود دارد. بررسی نتایج به دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان می‌دهد که سازند آسماری (آهک و دولومیت)، تله‌زنگ (آهک) و کشگان (مارن) به دلیل حساسیت جنس لیتولوژی این واحدها به لغزش، بیشترین حساسیت در مقابل لغزش را دارا می‌باشند. نتایج به دست آمده از کاربری اراضی نشان داد که بیشترین حساسیت به لغزش در واحد جنگل وجود دارد که این امر تا حدود زیادی می‌تواند ناشی از قرار گرفتن این واحد روی سازند مارنی کشکان باشد. بررسی طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع حساسیت نسبت به خطر زمین‌لغزش بیشتر می‌شود که این امر حاکی از آن است که در ارتفاعات بالا دیگر عوامل در برابر لغزش مقاومت کمتری نشان داده‌اند. بررسی نتایج به دست آمده از پهنه‌های بارش بیانگر این است که با افزایش بارندگی حساسیت به وقوع زمین لغزش بیشتر می‌شود و این امر از لحاظ علمی دور از انتظار نیست. بر اساس نتایج به دست آمده، عامل فاصله از گسل با وقوع زمین‌لغزش در منطقه رابطه مستقیم دارد و بیشترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش در طبقه ۰ تا ۱۵۰۰ متر وجود دارد که ناشی از خردشدگی سنگ‌ها توسط گسل می‌باشد. نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین‌لغزش‌ها نسبت به آبراهه نشان داد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای و بر هم زدن تعادل شیب، بیشترین حساسیت به لغزش در طبقه ۱۰۰-۰ متری وجود دارد.

در این تحقیق برای اولویت‌بندی عوامل و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش AHP; از معدل نظرات کارشناسی ۷ کارشناس محلی که به نوعی با حوضه کشوری آشنایی داشتند استفاده شد و بر اساس مقادیری که برای مقایسه این عوامل در جدول ۱ آمده است، کلیه عوامل دو به دو با هم مقایسه شده‌اند (شکل ۵). سپس نتایج این مقایسات، برای محاسبه ضریب ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice داده شد. نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب ناسازگاری نشان داد که مقایسه عوامل به درستی صورت گرفته است و با محاسبه کردن وزن هر یک از عوامل به وسیله این نرم‌افزار، عوامل; اولویت‌بندی شدند (شکل ۵). ارجحیت نسبی عوامل به ترتیب شامل عامل شیب، زمین‌شناسی، گسل، آبراهه، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع و بارش می‌باشد.



شکل ۵. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری بر اساس قضاوت کارشناسی

بعد از محاسبه وزن عوامل مؤثر بر خطر لغزش در حوضه کشوری، امتیاز یا وزن کلاسه‌های هر یک از این عوامل بر اساس رابطه ۱ محاسبه گردید (جدول ۳)، سپس به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در حوضه، با جایگذاری a_1 تا a_8 (وزن به دست آمده هر عامل از نرم‌افزار Expert Choice) که به ترتیب شامل عامل شیب، زمین‌شناسی، گسل، آبراهه، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع و بارش می‌باشند می‌توان مدل نهایی را به صورت زیر نوشت:

$$M = 0.335\,x_1 + 0.228\,x_2 + 0.148\,x_3 + 0.103\,x_4 + 0.074\,x_5 + 0.051\,x_6 + 0.033\,x_7 + 0.028\,x_8 \quad (۳)$$

M: ضریب خطر

x_1 تا x_8: وزن نسبی کلاسه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری که از رابطه ۱ بدست می‌آید.

جدول ۳. امتیاز یا وزن مربوط به هر یک از کلاسه‌های عوامل مؤثر بر خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری

شیب		زمین‌شناسی		گسل		آبراهه		جهت شیب		کاربری اراضی		طبقات ارتفاعی		بارش	
وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس	وزن	کلاس
۰	$S_۱$	۱	$G_۱$	۱۰۰	$F_۱$	۱۰۰	$D_۱$	۱۸	$A_۱$	۵	$L_۱$	۱۰	$E_۱$	۱٤	$R_۱$
۹	$S_۲$	۱	$G_۲$	٤٤	$F_۲$	٤٥	$D_۲$	٦٥	$A_۲$	۲	$L_۲$	٥٤	$E_۲$	٦٤	$R_۲$
۳٥	$S_۳$	۹	$G_۳$	۱۹	$F_۳$	۲۱	$D_۳$	۲٦	$A_۳$	۱۳	$L_۳$	۱۰۰	$E_۳$	۱۰۰	$R_۳$
٥۹	$S_٤$	۱۰۰	$G_٤$	۱۰	$F_٤$	۱۱	$D_٤$	۲۷	$A_٤$	۱۰۰	$L_٤$	۹۱	$E_٤$	–	–
۱۰۰	$S_٥$	٤۷	$G_٥$	۱٤	$F_٥$	۲۳	D_5	۱۰۰	$A_٥$	۸۲	$L_٥$	۹۲	$E_٥$	–	–
٤۱	$S_٦$	۳	$G_٦$	–	–	–	–	۳۸	$A_٦$	۲۸	$L_٦$	–	–	–	–
٤	$S_۷$	۲۳	$G_۷$	–	–	–	–	٤	$A_۷$	–	–	–	–	–	–
–	–	۰	$G_۸$	–	–	–	–	۲	$A_۸$	–	–	–	–	–	–
–	–	۱۲	$G_۹$	–	–	–	–	۳	$A_۹$	–	–	–	–	–	–

در نهایت برای تهیه نقشه نهایی خطر زمین‌لغزش حوضه در محیط نرم‌افزار Arc GIS Desktop، از دستور Raster calculator استفاده کرده و مطابق رابطه ۳ تمام لایه‌ها را با هم جمع می‌زنیم که در نهایت خروجی ما نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه می‌باشد (شکل ٦). به منظور پهنه‌بندی نقشه خطر، نقشه خروجی به ۵ کلاس با امتیازات ۲۰–۰ کلاس با خطر خیلی کم، ٤۰–۲۰ کلاس با خطر کم، ٦۰–٤۰ کلاس با خطر متوسط، ۸۰–٦۰ کلاس با خطر زیاد و ۱۰۰–۸۰ کلاس با خطر خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد به ترتیب ۵/۹، ۳۸/۲، ۳۸/۱، ۱۵/۷۹ و ۲/۰۱ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

۵–۱. ارزیابی مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

با توجه به اینکه در این تحقیق از دو سوم نقاط لغزشی برای تعیین وزن کلاسه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش استفاده شده است لذا نمی‌توان برای ارزیابی نهایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از این نقاط استفاده کرد. برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی تهیه شده بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از یک سوم نقاط لغزشی که در پهنه‌بندی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند استفاده شده است. به این منظور با قطع نقشه این نقاط با نقشه خطر زمین‌لغزش مقدار لغزش‌ها در طبقات مختلف خطر محاسبه (جدول ٤) و در مرحله بعد با استفاده از رابطه ٤ میزان دقت مدل محاسبه شده است.

رابطه ٤

$$P = \frac{KS}{S}$$

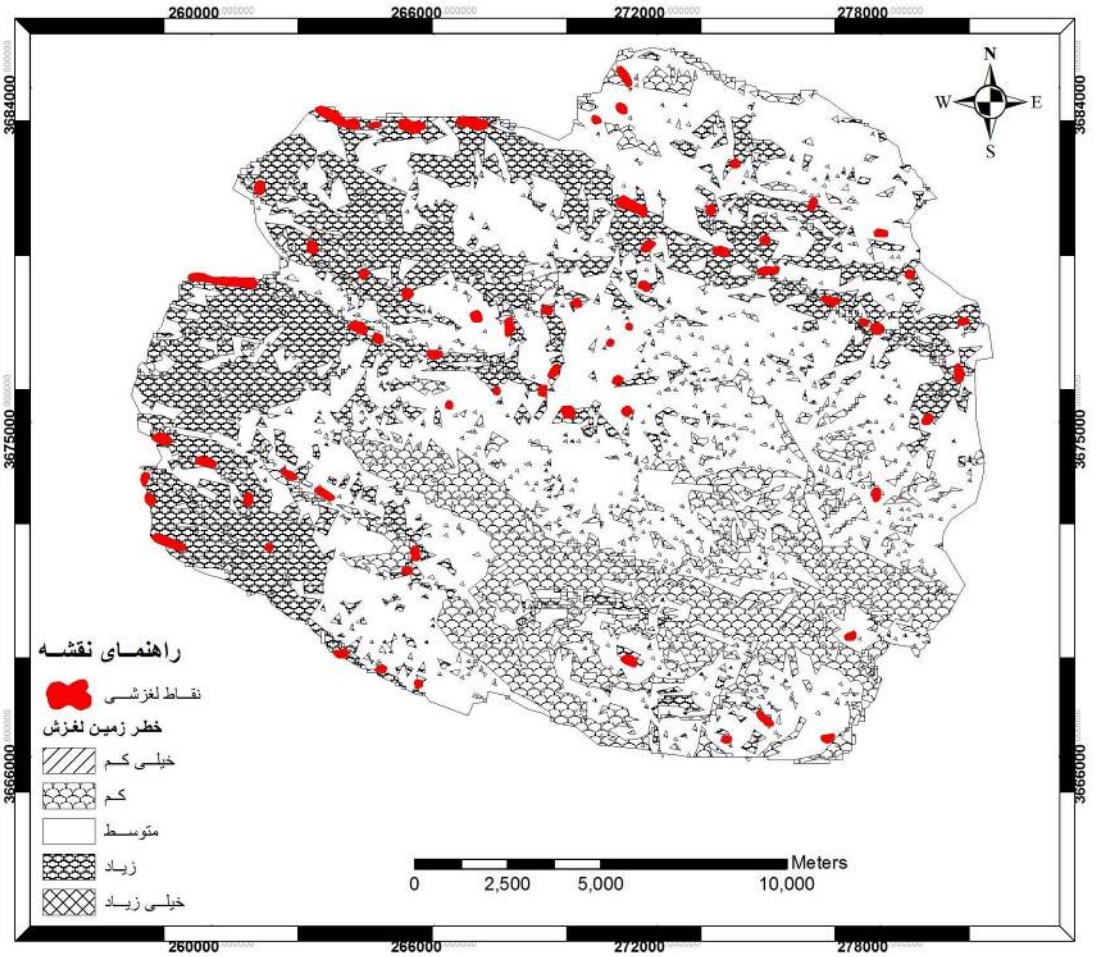
که در آن

P: احتمال تجربی

KS: مساحت لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا

S: مساحت کل لغزش‌های منطقه

هرچه احتمال تجربی مدل مورد استفاده بیشتر باشد برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مناسب‌تر است، که این مقدار در نقشه تهیه شده ۹۲/٦ درصد محاسبه شده است.



شکل ٦. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه کشوری

جدول ٤ درصد لغزش در هر یک از کلاس‌های خطر نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری

کلاس خطر	درصد لغزش در هر کلاس
خیلی کم	۰
کم	۷/۳
متوسط	۲۸/۲
زیاد	۳۹/۲
خیلی زیاد	۲۵/۳

٦. نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوضه کشوری ۸ عامل مورد بررسی قرار گرفته است. بعد از تهیه نقشه عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی این عوامل اولویت‌بندی شدند. به منظور وزن‌دهی به عوامل مؤثر بر لغزش از معدل نظرات کارشناسی ۷ کارشناس محلی در زمینه آبخیزداری و زمین‌شناسی که به نوعی با حوضه کشوری آشنایی داشتند استفاده شده است.

نتایج نشان می‌دهد ارجحیت نسبی عوامل به ترتیب شامل عامل شیب، زمین‌شناسی، گسل، آبراهه، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع و بارش می‌باشد. همچنین نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی منطقه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی نشان می‌دهد که بیش از ۱۷ درصد از مساحت منطقه در کلاس خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد.

در ارزیابی مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از رابطه ٤ مقدار p برابر ۹۲/٦ درصد محاسبه شد که نشان از دقت بالای این روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کشوری دارد. در نهایت با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای وقوع لغزش دارد پیشنهاد می‌شود هرگونه تغییر در کاربری اراضی با بررسی‌های لازم صورت گیرد.

منابع

احمدی، ح.، محمدخان، ش.، فیض‌نیا، س.، قدوسی، ج.، ۱۳۸٤. ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)، مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان. مجله منابع طبیعی ایران، ۸۵(۱):۱٤-۳.

امیراحمدی، ا.، کامرانی دلیر ح.، صادقی م.، ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)(مطالعه موردی: حوضه آبخیز چلاو آمل). نشریه جغرافیا، ۸(۲۷): ۲۰۳-۱۸۱.

بهنیافر، ا.، منصوری دانشور، م.، کهربائیان، پ.، ۱۳۸۹. کاربرد مدل AHP و منطق فازی در منطقه‌بندی خطرات زمین لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبریز فریزی). جغرافیای طبیعی، ۳(۹): ۱۰۰-۸۹.

رنجبر، م.، روغنی، پ.، ۱۳۸۸. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان اردل با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). فصل‌نامه جغرافیای چشم‌انداز زاگرس، ۱(۲): ۳۰-۲۱.

زمانی، ص.، ۱۳۹۰. تهیه نقشه پهنه‌بندی مخاطرات زمین با تأکید بر زمین‌لغزش در حوضه یدک طویل (شرق قوچان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۲٦ ص.

قدسی‌پور، س.ح.، ۱۳۸۷. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP). انتشارات دانشگاه امیر کبیر، ۲۲۰ص.

کلارستاقی، ع.، ۱۳۸۱. بررسی نقش عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱٤۱ص.

محمدی، م.، مرادی، ح.، فیض‌نیا، س.، پورقاسمی، ح.، ۱۳۸۸. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز). علوم زمین، ۱۹(۷٤): ۳۲-۲۷.

Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., 2005. Landslide in Sado Island of Japan part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from to methods and verifications. Engineeing Geology, 81: 432-445.

Ercanoglu, M., Kasmer, O., Temiz, N., 2008. Adaptation and comparison of expert opinion to analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping. Bull. Eng. Geol. Envir., 67: 565-578.

Gharahi, H., Bohlooli, B., Sayyar, A., Shariat jafari, M., 2011. Landslide Susceptibility Mapping in the Reservoir of Alborz Dam Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics. Geosciences Scientific Quarterly Journal, 81: 93-100.

Komac, M., 2006. A landslide susceptibility model using the analytical hierarchy process method and multivariate statistics in Perialpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17–28.

Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.J., Li, R.H. (2004) Landslide watershed. Yunnan, China, Engineering Geology, 76: 101-128.

Mezughi, T.H., Akhir, J.M., Rafek, A.G., Abdullah, I., 2012. Analytical Hierarchy Process Method for Mapping Landslide Susceptibility to an Area along the E-W Highway (Gerik-Jeli), Malaysia. Asian Journal of Earth Sciences, 5: 13-24.

Mohammady, M., Morady, H.R., Feiznia, S., Pourghasemi, H.R., 2010. Prioritization of Landslide Effective Factors and it´s Hazard Mapping using Information Value and AHP Models(Case Study: A Part of Haraz Watershed). Geosciences Scientific Quarterly Journal , 74: 27.

Ownegh, M., 2002. Landslide hazard, and risk assessment in the southern Sunbirds of Newcastle. Sabbatical research report No. 2, University of Newcastle, Australia, 85 pp.

Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., 2012. Application of fuzzy logic and analytical hierarchy process (AHP) to landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. Natural Hazards, DOI: 10.1007/s11069-012-0217-2.

Yalcin, A., 2008, GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey). Comparisons of results and confirmations, Catena, 72: 1-12.

Yalcin, A., Reis, S., Aydinoglu, A.C., Yomralioglu T., 2011. A GIS-based comparative study of frequency ratio, analytical hierarchy process, bivariate statistics and logistics regression methods for landslide susceptibility mapping in Trabzon. NE Turkey, Catena, 85: 274-287.