جغرافیا و پایداری محیط، شمارهٔ ۸، پاییز ۱۳۹۲
صص. ۷۶-۶۷

پتانسیل‌سنجی مناطق مستعدّ وقوع زمین‌لغزش در درّهٔ لاسم با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی

عطرین ابراهیمی* - کارشناس‌ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران
امیرعلی عباس‌زاده - کارشناس‌ارشد جغرافیای سیاسی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران
فاطمه نورالدین موسی - کارشناس‌ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، اهواز، ایران
حمید گنجائیان - کارشناس ژئومورفولوژی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران
زهرا زنگنه‌تبار - کارشناس ژئومورفولوژی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

وصول: ۱۳۹۲/۰۲/۲۶ **پذیرش:** ۱۳۹۲/۰۶/۲۹

چکیده

زمین‌لغزش‌ها به‌مثابهٔ یکی از فرایندهای دامنه‌ای محسوب می‌شوند که نتیجهٔ فرایندهای طبیعی و فعّالیّت‌های انسانی هستند. این فرایندها در زمرهٔ پرخسارت‌ترین مخاطرات طبیعی هستند که هم‌زمان با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر، شتاب فزاینده‌ای یافته‌اند. با توجّه به اینکه شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعدّ لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گام مهمّی در ارزیابی خطرهای محیطی به‌شمار می‌رود؛ در نوشتار پیش رو به ارزیابی وضعیّت لغزش‌پذیری حوضهٔ لاسم پرداخته شده است. در پژوهش حاضر ابتدا وضعیّت ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و پارامترهای انسانی حوضه ارزیابی شده، سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و نظر کارشناسان، لایه‌های مورد استفاده ارزش‌گذاری شده است. پس از به‌دست‌آوردن وزن لایه‌ها با مدل AHP، وزن‌های به‌دست‌آمده بر روی لایه‌ها اعمال شده و سپس لایه‌های اطّلاعاتی با استفاده از مدل منطق فازی باهم تلفیق شده‌اند و نقشهٔ نهایی حاصل شده است که به‌منظور تفکیک بهتر و ارزیابی آسان‌تر، حوضهٔ مورد مطالعه ازنظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در پنج کلاس قرار گرفته شده است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که حدود ۴۳٪ از وسعت کلّ حوضه (۱۲۹ کیلومتر مربع) در منطقه با پتانسیل زیاد و خیلی‌زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار دارد که این طبقات به‌طور عمده در نیمهٔ جنوبی حوضه (به‌دلیل فراهم‌بودن بیشتر شرایط) قرار گرفته‌اند؛ همچنین نتایج نشان داد که در حوضهٔ مورد مطالعه پتانسیل وقوع زمین‌لغزش‌ها به‌طور کلّی از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: زمین‌لغزش، لاسم، AHP، منطق فازی.

*. نویسندهٔ مسئول: ۰۹۳۳۸۰۷۲۰۲۶ E-mail:ebrahimiasad955@gmail.com

مقدّمه

زمین‌لغزش‌ها به‌مثابهٔ یکی از فرایندهای دامنه‌ای محسوب می‌شوند که نتیجهٔ فرایندهای طبیعی و فعّالیّت‌های انسانی هستند (ویو[1]، ۱۹۹۵). پدیده‌های مختلفی روی لغزش تأثیرگذار هستند و در افزایش وقوع این پدیده نقش مستقیمی دارند که ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به بارش، ذوب برف، تغییرات دما، زلزله، فعّالیّت آتش‌فشانی و فعّالیّت‌های انسانی اشاره کرد (سیدل و اوچیای[2]، ۲۰۰۶؛ کروزیر[3]، ۲۰۱۰). حرکات لغزشی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین مخاطرات مناطق کوهستانی است که حیطهٔ فعّالیّت آن‌ها از تپه‌های ملایم تا کوهستان‌های شیب‌دار است (گروبر[4] و همکاران، ۲۰۰۹). این حرکات در زمرهٔ پرخسارت‌ترین آن‌ها هستند که هم‌زمان با دست‌کاری بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه‌های اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (امامی و غیومیان، ۱۳۸۲). وقوع پدیدهٔ زمین‌لغزش که در بسیاری از نقاط دنیا و ایران در شرایط مساعد رخ می‌دهد و موجب تخریب پوشش گیاهی، باغ‌ها، زمین‌های کشاورزی و حتّی مرگ‌ومیرهای انسانی می‌شود. ایران با توپوگرافی به‌طور عمده کوهستانی، فعّالیّت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد و شرایط متنوّع زمین‌شناسی و اقلیمی، از عمده شرایط طبیعی برای رخداد زمین‌لغزش‌ها برخوردار است (علیجانی و همکاران، ۱۳۸۶). یکی از مناطقی که همواره در معرض زمین‌لغزش بوده و هرساله خسارات زیادی را به‌بار آورده است، درّهٔ لاسم است که تاکنون شاهد انواع حرکات دامنه‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش بوده است. با توجّه به اینکه شناسایی و بخش‌بندی نواحی مستعدّ لغزش و پهنه‌بندی خطر آن، گامی مهم در ارزیابی خطرهای محیطی به‌شمار می‌رود و به‌ویژه در مدیریت حوضهٔ آبخیز نقش انکارنشدنی دارد، در نوشتار پیش رو به ارزیابی وضعیّت لغزش‌پذیری حوضهٔ لاسم پرداخته شده است.

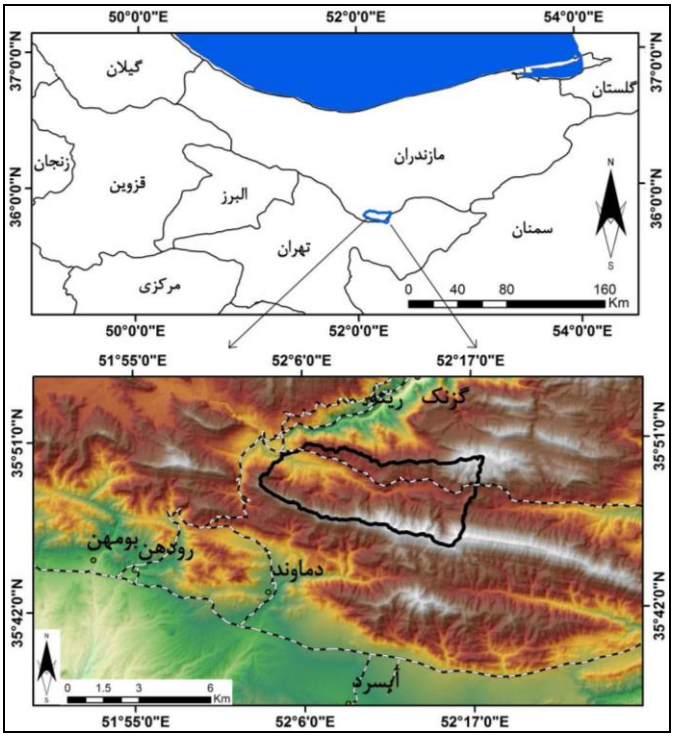
در مورد موضوع مورد مطالعه تاکنون پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است که ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به لی[5] و همکاران (۲۰۰۱) اشاره کرد که به پهنه‌بندی زمین‌لغزش در کشور کره پرداختند. در پژوهش حاضر از روش رگرسیون خطّی و معیارهای ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و پوشش استفاده شده است. پس از مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه، نتایج نشان داده است که این روش کارایی قابل قبولی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش دارد. یالسین[6] و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل‌های ارزش اطّلاعات، تراکم سطح، شیب، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، پوشش گیاهی و فاصله از جاده به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ترکیه پرداخته‌اند. در نوشتار پیش رو نواحی مستعدّ وقوع زمین‌لغزش مشخّص شده است و به این نتیجه رسیده‌اند که مدل تحلیل سلسله‌مراتبی کارایی بهتری از سایر مدل‌ها دارد. وانگ[7] و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از سیستم اطّلاعات جغرافیایی و روش وزن‌دهی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقهٔ ساحل جنوبی چین پرداختند و درنهایت پس از وزن‌دهی به لایه‌های اطّلاعاتی و تلفیق لایه‌ها برمبنای وزن به‌دست‌آمده نقشهٔ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه را تهیّه کرده‌اند؛ همچنین شادفر و لطف‌الله‌زاده (۲۰۱۲) با بررسی زمین‌لغزش‌های حوضهٔ رودخانهٔ صفارود در استان مازندران عنوان کردند که زمین‌لغزش‌ها تأثیر به‌سزایی در افزایش دبی رسوبی رودخانه داشته و نرخ این تأثیر به شیب، لیتولوژی و فاصله از رودخانه بستگی دارد. فیض‌نیا و محمدی (۱۳۸۷) به پهنه‌بندی مناطق مستعدّ وقوع زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز دماوند پرداختند.

1- Wu
2- Sidle & Ochiai
3- Crozier
4- Gruber
5- Lee
6- Yalcin
7- Wang

در نوشتار حاضر از روش درون‌یابی و درصد دهی به هریک از عوامل استفاده شده است و درنهایت عوامل زمین‌شناسی، بارندگی، شیب، جهت شیب و ارتفاع به‌مثابهٔ عوامل مؤثّر تشخصی داده شده است. باقری مهرورزی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی وضعیّت ناپایداری دامنه‌ها در تاقدیس کنگان پرداختند. نتایج پژوهش بیانگر آن است که سازندهای پابده، گورپی و نیز نهشته‌های عهد حاضر با ۶۷٪ از پوشش سطحی منطقه، جزو مناطق حسّاس به خطر ناپایداری در منطقهٔ مورد مطالعه هستند. مرادی و همکاران (۱۳۸۹) به تحلیل و برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی در بخشی از جادّهٔ هراز پرداختند. نتایج پژوهش پیش رو نشان داده است که سه عامل واحدهای زمین‌شناسی، فاصله از جادّه و شیب به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش منطقه داشته‌اند، در حالی که دو عامل گسل و بارش، کمترین تأثیر را در وقوع زمین‌لغزش منطقه به خود اختصاص دادند. با توجّه به موارد یادشده، هدف از پژوهش حاضر تعیین مناطق مستعدّ وقوع زمین‌لغزش و مقایسهٔ نتایج به‌دست‌آمده با زمین‌لغزش‌های قبلی منطقه است.

معرّفی منطقهٔ مورد بررسی

منطقهٔ مورد مطالعه در ۱۳ کیلومتری جنوب شرقی کوه دماوند و در مرز استان مازندران با استان تهران قرار گرفته است. حوضهٔ مورد مطالعه با جهت غرب به شرق جزء سرشاخه‌های رودخانهٔ هراز است. موقعیّت ریاضی منطقه بین "۲۰ '۰۳ °۵۲ تا "۴۸ '۱۷ °۵۲ طول شرقی و "۲۱ '۴۵ °۳۵ تا "۴۸ '۵۰ °۳۵ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). نزدیک‌ترین شهرها به حوضهٔ مورد مطالعه رینه در شمال و دماوند در جنوب است، روستای لاسم نیز در وسط حوضه قرار گرفته است. ارتفاع متوسّط حوضهٔ مورد مطالعه ۲۷۲۹ متر و اختلاف ارتفاع منطقه ۱۷۴۷ متر است که از ۴۰۳۱ متر در بلندترین نقطهٔ حوضه تا ۲۱۷۸ متر در خروجی حوضه را دربر می‌گیرد. نیمهٔ جنوبی حوضه پرشیب‌تر از نیمهٔ شمالی بوده و تا ۵۲ درجه می‌رسد. میانگین کلّ شیب منطقه ۲۱ درجه است و از شیب‌های ۰ تا ۵۲ درجه در منطقه وجود دارد.



شکل ۱. نقشهٔ موقعیّت حوضهٔ مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

با توجّه به اهدافی که در پژوهش حاضر مدّ نظر هستند، به‌منظور پتانسیل‌سنجی مناطق مستعدّ وقوع زمین‌لغزش از هشت معیار فاصله از جادّه، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، نوع لیتولوژی، نوع کاربری اراضی، ارتفاع، شیب و جهت شیب استفاده شده است که بنابر نظر کارشناسان ژئومورفولوژی و با توجّه به ویژگی‌های منطقه انتخاب شده است. روش کار به این صورت است که پس از تهیّهٔ لایه‌های اطّلاعاتی در محیط Arc GIS، لایه‌های اطّلاعاتی به روش منطق فازی استاندارسازی شده‌اند و سپس از طریق مدل AHP لایه‌های اطّلاعاتی وزن‌دهی شده‌اند و سپس با استفاده از روش گامای فازی باهم تلفیق شده‌اند. درادامه روش‌های پهنه‌بندی مورد استفاده در پژوهش حاضر تشریح شده است.

روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP): امروزه در بسیاری تصمیم‌گیری‌ها از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود. در این میان تحلیل سلسله‌مراتبی به‌مثابهٔ یک روش تصمیم‌گیری چندمعیاره بیش از سایر روش‌ها در تصمیم‌گیری استفاده شده است که بر پایه سه اصل تجزیه، قضاوت مقایسه‌ای و ترکیب اولویّت‌ها است (مالچفسکی، ۱۳۹۰: ۳۶۴). مدل تحلیل سلسله‌مراتبی چه در واقعیّت و چه در تئوری، در فرایند حلّ مشکلات راهبردی به‌کار گرفته می‌شود و بیشتر از این نظر مهم است که زمینه‌ای را برای تحلیل و تبدیل مسائل پیچیده به سلسله‌مراتبی منطقی و ساده فراهم می‌آورد که برنامه‌ریز بتواند ارزیابی گزینه‌ها را با کمک معیارها و زیرمعیارها به‌راحتی انجام دهد، همچنین مکان بررسی سازگاری در قضاوت‌ها را نیز فراهم آورد (زبردست، ۱۳۸۰).

روش منطق فازی: نظریهٔ مجموعه‌های فازی و منطق فازی را اوّلین‌بار لطفی‌زاده در رساله‌ای به نام الگوریتم‌های فازی معرّفی کرد. در نظریهٔ کلاسیک مجموعه‌ها، یک عنصر، یا عضو مجموع هست یا نیست. درحقیقت عضویت عناصر از یک الگوی صفر و یک پیروی می‌کند. ولی تئوری مجموعه‌های فازی این مفهوم را گسترش می‌دهد و عضویت درجه‌بندی‌شده را مطرح می‌کند. به این ترتیب که یک عنصر می‌تواند تا درجاتی و نه کاملاً، عضو یک مجموعه باشد (کاسکو[1]، ۱۹۹۲). به‌بیان‌دیگر u (x) نگاشتی از مقادیر x به مقادیر عددی ممکن میان صفر و یک را می‌سازد. تابع u (x) ممکن است مجموعه‌ای از مقادیر گسسته یا پیوسته باشد. وقتی‌که u تنها تعدادی از مقادیر گسستهٔ میان صفر و یک را تشکیل می‌دهد، در این نظریه، عضویت اعضای مجموعه از راه u (x) مشخّص می‌شود که x بیانگر یک عضو مشخّص و u تابعی فازی است که درجهٔ عضویت x در مجموعهٔ مربوطه را تعیین می‌کند و مقدار آن میان صفر و یک است (جانگ[2] و همکاران، ۱۹۹۲).

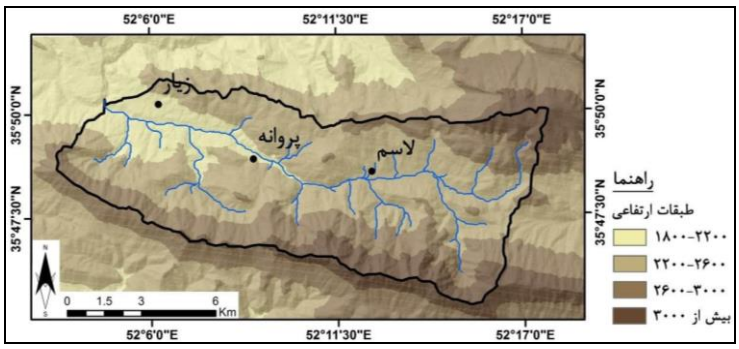
نتایج و بحث

در وقوع حرکات دامنه‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش‌ها، عوامل مختلفی تأثیرگذار هستند. بررسی عوامل مختلف می‌تواند از دیدگاه‌های مختلف باهم متفاوت باشد. در پژوهش حاضر با توجّه به اینکه از دیدگاه ژئومورفولوژی استفاده شده است، بیشتر بر پارامترهای ژئومورفولوژی تأکید شده است. پارامترهای مؤثّر در نوشتار پیش رو در سه گروه پارامترهای ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و انسانی قرار گرفته شده‌اند که درادامه به تشریح پارامترهای یادشده پرداخته شده است:

معیارهای ژئومورفولوژیکی: حوضهٔ لاسم در دامنه‌های البرز و در یک منطقهٔ مرتفع و کوهستانی واقع شده است که چشم‌انداز عمدهٔ منطقه را درّه‌های عمیق و دامنه‌های پرشیب دربر گرفته است. قرارگیری منطقه در ارتفاع بالا و

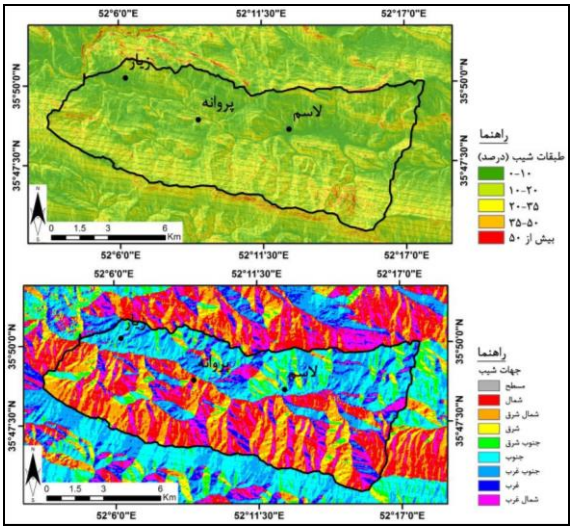
1- Kosko
2- Juang

وجود بارش زیاد و تناوب یخبندان در حوضه، سبب شده تا زمین‌لغزش‌ها در این حوضه بسیار شایع باشند. میزان بارش و تناوب یخبندان در ارتفاعات بالاتر بسیار محسوس‌تر از ارتفاعات پایین‌تر حوضه هستند به‌همین دلیل عامل ارتفاعی به‌مثابهٔ یکی از عوامل مؤثّر درنظر گرفته شده است و مناطق مرتفع‌تر ارزش نزدیک به یک و مناطق کم‌ارتفاع، ارزش نزدیک به صفر دارند؛ همچنین رودخانه‌ها نیز نقش مهمّی در برش پای شیب دارند و مانند جادّه‌های ارتباطی در ناپایداری شیب دامنه تأثیرگذار هستند و مناطق نزدیک به آبراهه‌ها داری پتانسیل بالاتری برای حرکات دامنه‌ای هستند و براساس این، به مناطق نزدیک به رودخانه ارزش نزدیک به یک و به مناطق دورتر ارزش نزدیک به صفر داده شده است. در شکل ۲ وضعیّت ارتفاعی و شبکهٔ زهکشی حوضه نشان داده شده است.



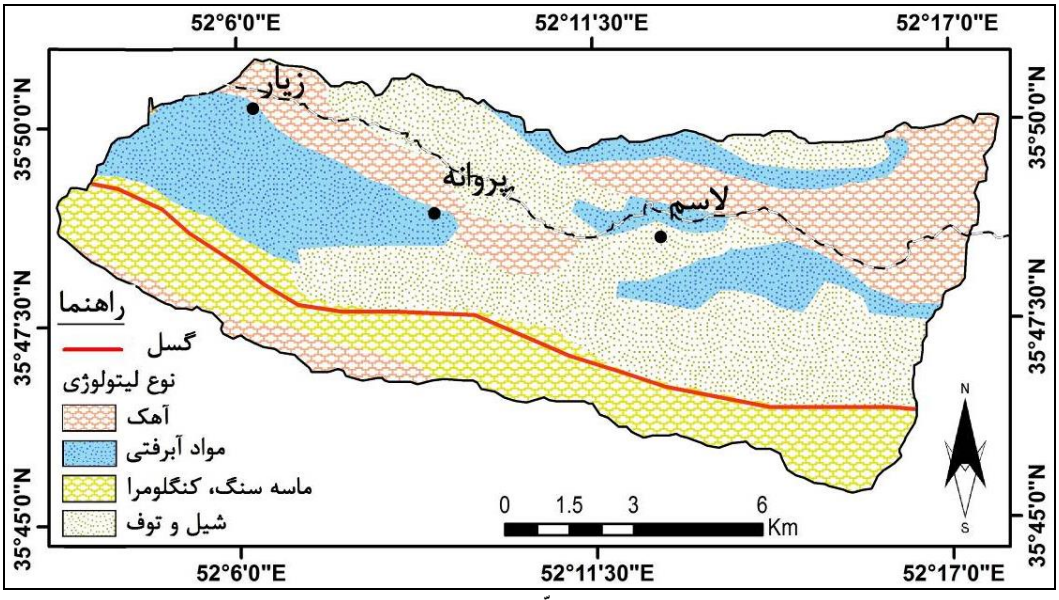
شکل ۲. نقشهٔ وضعیّت ارتفاعی و شبکهٔ زهکشی حوضه

با توجّه به تأثیرگذاری زیاد عامل شیب در وقوع زمین‌لغزش‌ها، از این پارامتر مهم نیز به‌مثابهٔ یکی از پارامترهای ژئومورفولوژیکی استفاده شده است. ازنظر وضعیّت شیب بخش عمده‌ای از منطقهٔ جنوبی حوضه را دامنه‌های پرشیب دربر گرفته است. شیب از عوامل بسیار مهم در وقوع زمین‌لغزش‌ها بوده است که در صورت مهیّابودن سایر شرایط، تودهٔ لغزشی در اثر نیروی ثقل به‌طرف پایین دامنه حرکت خواهد کرد؛ بنابراین در ارزش‌گذاری لایهٔ شیب، به مناطق پرشیب ارزش نزدیک به یک و به مناطق کم‌شیب ارزش نزدیک به صفر داده شده است؛ همچنین با توجّه به اینکه دامنه‌های شمالی انرژی کمتری از دامنه‌های جنوبی دریافت می‌کنند، میزان رطوبت در این دامنه‌ها بیشتر از سایر دامنه‌ها است و با توجّه به اینکه وجود رطوبت می‌تواند تشدیدکنندهٔ لغزش باشد، جهات شیب نیز به‌منزلهٔ یکی از عوامل مؤثّر درنظر گرفته شده است و مناطق شمالی ارزش بیشتری نسبت به مناطق جنوبی حوضه دارد. در شکل ۳ نقشهٔ وضعیّت و جهت شیب حوضه نشان داده شده است.



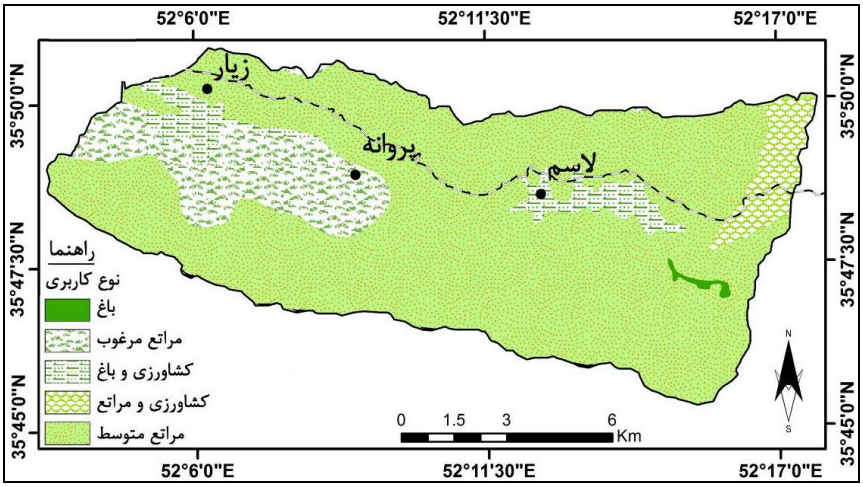
شکل ۳. نقشهٔ وضعیّت و جهت شیب حوضه

معیارهای زمین‌شناسی: عوامل زمین‌شناسی به‌مثابهٔ یکی از مهم‌ترین عوامل در ناپایداری دامنه‌ها و تشدید حرکات دامنه‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش‌ها هستند. در پژوهش حاضر از پارامترهای خطوط گسلی و نوع لیتولوژی به‌منزلهٔ دو پارامتر زمین‌شناسی استفاده شده است. نوع لیتولوژی تأثیر مستقیمی در وقوع لغزش دارد، بخش عمده‌ای از منطقه را شیل‌ها و موادّ رسوبی تشکیل داده‌اند که میزان لغزش بیشتری نسبت به مناطقی که از سنگ‌های آذرین تشکیل شده است دارد؛ بنابراین با توجّه به میزان لغزش‌پذیری نوع سازند، حوضهٔ مورد مطالعه ارزش‌گذاری شده است و سازندهایی که لغزش‌پذیری بیشتری دارند، ارزش نزدیک به یک و همچنین مناطقی که مقاومت بیشتری در برابر لغزش دارند، ارزش نزدیک به صفر دارند؛ همچنین با توجّه به تأثیرگذاری خطوط گسلی در ناپایداری دامنه‌ها، خطوط گسلی به‌مثابهٔ یکی از عوامل تأثیرگذار درنظر گرفته شده است. لایهٔ خطوط گسلی نیز با توجّه به میزان تأثیرگذاری که بر وقوع لغزش دارد ارزش‌گذاری شده است به‌طوری که مناطق نزدیک به خطوط گسلی ارزش نزدیک به یک و مناطق دورتر، ارزش نزدیک به صفر دارند. در شکل ۴ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه نشان داده شده است.

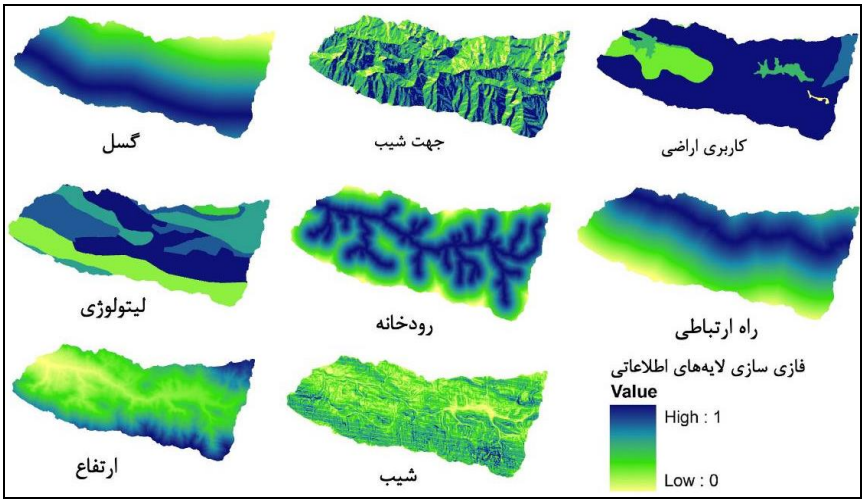


شکل ۴. نقشهٔ وضعیّت زمین‌شناسی حوضه

معیارهای انسانی: یکی از عوامل تأثیرگذار بر حرکات دامنه‌ای به‌ویژه لغزش‌ها، دخالت عوامل انسانی ازجمله راه‌سازی است. راه‌های ارتباطی در ایجاد و توسعهٔ حرکات دامنه‌ای نقش مهمّی دارند و حرکات دامنه‌ای یکی از مشکلات و چالش‌های پیش روی فعّالیّت‌های عمرانی در مناطق کوهستانی است (رجایی، ۱۳۸۲). تأثیر راه‌های ارتباطی به‌ویژه در مناطقی که دارای لیتولوژی سستی هستند بسیار تأثیرگذار است. معیار انسانی دیگر نوع کاربری اراضی است. کاربری اراضی می‌تواند در تشدید یا کاهش حرکات دامنه‌ای مؤثّر باشد به‌طوری‌که در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم دارند، میزان لغزش، کمتر از مناطق بدون پوشش خواهد بود؛ همچنین ممکن است بعضی از کاربری‌های غیر اصولی به‌ویژه در مناطق پرشیب سبب تشدید حرکات دامنه‌ای شود. مطابق موارد یادشده در ارزش‌گذاری معیارهای انسانی مناطق نزدیک به راه ارتباطی و مناطق داری پوشش کم، ارزش نزدیک به یک دارند. در شکل ۵ نقشهٔ پارامترهای انسانی (راه ارتباطی و کاربری اراضی) نشان داده شده است و در شکل ۶ نیز با توجّه به موارد یادشده و توضیحاتی که در مورد ارزش لایه‌ها و میزان تأثیرگذاری آن‌ها در وقوع زمین‌لغزش داده شد، نقشهٔ استانداردسازی‌شدهٔ لایه‌های اطّلاعاتی نشان داده شده است.

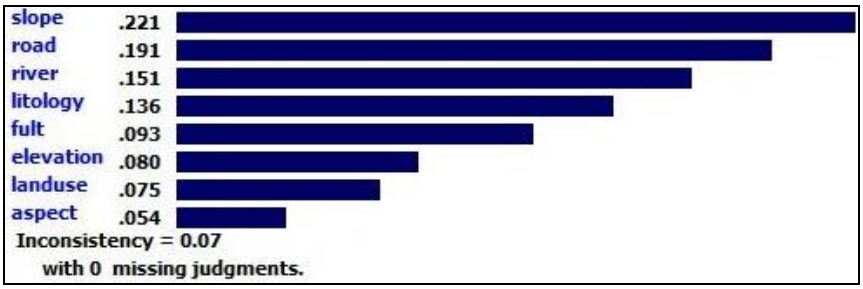


شکل ۵. نقشهٔ کاربری اراضی و راه ارتباطی حوضه



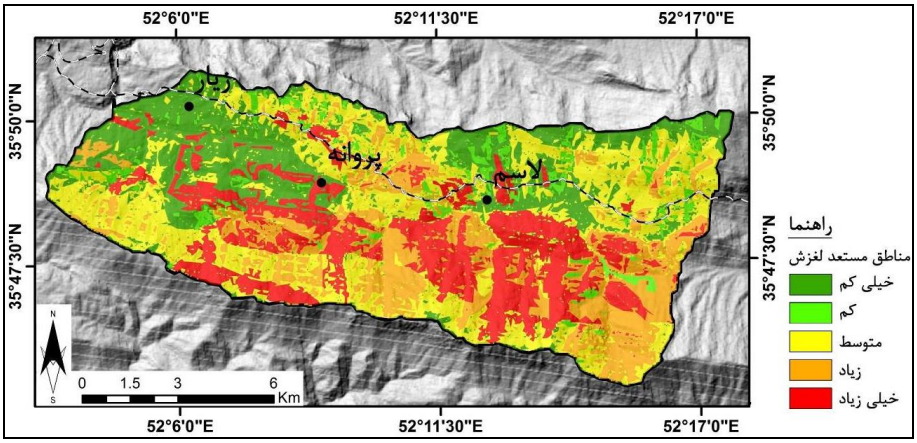
شکل ۶. نقشهٔ استانداردسازی‌شدهٔ پارامترها

وزن‌دهی به لایه‌های اطّلاعاتی: پس از به‌دست‌آوردن لایه‌های اطّلاعاتی برای وزن‌دهی به آن‌ها از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده شده است. برای این منظور پس از تشکیل ساختار و ماتریس مقایسه‌ای شامل هشت سطر و هشت ستون، از طریق پرسش‌نامه و دیدگاه‌های کارشناسان امر، برای تعیین رابطه و میزان اهمّیّت هریک از این معیارها و زیرمعیارها استفاده شده است. برای انجام محاسبات از نرم‌افزار Expert Choise استفاده شد و پس از تشکیل سوپر ماتریس‌ها، وزن‌ها یا ارزش‌های هر معیار نسبت به هدف پژوهش به‌دست آمده است (شکل ۷). وزن‌های نهایی برای هریک از معیارها در محیط نرم‌افزار Expert Choise محاسبه و وارد جداول توصیفی هریک از لایه‌های مربوطه در نرم‌افزار Arc GIS شده است.



شکل ۷. ارزش‌گذاری لایه‌های اطّلاعاتی براساس مدل AHP

– **تلفیق لایه‌های اطّلاعاتی با استفاده از روش منطق فازی:** پس از استانداردسازی لایه‌ها و سپس وزن‌دهی به آن‌ها از روش تحلیل سلسله‌مراتبی، لایه‌های اطّلاعاتی با استفاده از روش گامای فازی باهم تلفیق و ترکیب شده و نتیجهٔ نهایی حاصل شده است که در شکل ۸ نشان داده شده است. براساس نقشهٔ نهایی، منطقهٔ مورد مطالعه ازنظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در پنج کلاس با پتانسیل خیلی‌کم تا خیلی‌زیاد قرار گرفته شده است. با توجّه با پارامترهای مورد استفاده، مناطقی که در طبقهٔ زیاد و نسبتاًزیاد قرار گرفته‌اند، به‌طور عمده در نیمهٔ جنوبی حوضه قرار گرفته‌اند که دارای شرایطی ازجمله جهت رو به شمال، لیتولوژی نامقاوم و وجود خطّ گسل هستند. در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده با واقعیّت زمینی بازدید میدانی از منطقه صورت گرفته است که در شکل ۹ تصویری از یک سطح لغزشی در منطقه نشان داده شده است که این منطقه در طبقه با پتانسیل خیلی‌زیاد قرار گرفته است و در نقشهٔ نهایی موقعیّت آن مشخّص شده است.



شکل ۸. نقشهٔ مناطق وقوع لغزش براساس مدل تلفیقی WLC و AHP

شکل ۹. تصویر از سطح زمین‌لغزش در حوضه

نتیجه‌گیری

یکی از مخاطرات طبیعی شایع در البرز وقوع زمین‌لغزش‌ها است. درواقع شرایط ژئومورفولوژیکی حاکم بر منطقه سبب شده است تا زمینه برای وقوع انواع حرکات دامنه‌ای به‌ویژه زمین‌لغزش‌ها فراهم باشد. در پژوهش حاضر ابتدا وضعیّت ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و پارامترهای انسانی حوضهٔ مورد مطالعه ارزیابی شده است. مطالعات اوّلیّه بیانگر آن است که ازنظر وضعیّت ژئومورفولوژیکی، حوضهٔ مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای وقوع زمین‌لغزش‌ها دارد، براساس این، با استفاده از مدل تلفیقی تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و منطق فازی مناطق مستعدّ وقوع زمین‌لغزش شناسایی شده‌اند. پس از آماده‌سازی لایه‌ها و اعمال اوزان به‌دست‌آمده و تلفیق لایه‌ها، نقشهٔ نهایی

مناطق مستعدّ زمین‌لغزش حاصل شده است که به‌منظور تفکیک بهتر و ارزیابی آسان‌تر، حوضهٔ مورد مطالعه ازنظر پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در پنج کلاس قرار گرفته است.

نتایج به‌دست‌آمده بیانگر این است که از کل وسعت حوضه (حدود ۱۲۹ کیلومتر مربع) حدود ۲۲٪ آن معادل ۲۸/۵ کیلومتر مربع از آن در منطقه با پتانسیل خیلی‌زیاد وقوع زمین‌لغزش قرار دارد که این طبقه به‌طور عمده در نیمهٔ جنوبی حوضه به‌دلیل فراهم‌بودن بیشتر شرایط قرار گرفته است؛ همچنین طبقه با پتانسیل زیاد نیز با حدود ۲۱٪ معادل ۲۶/۷ کیلومتر مربع همانند طبقه با پتانسیل زیاد به‌طور عمده در نیمهٔ جنوبی حوضه واقع شده است. طبقهٔ متوسّط نیز ۳۰٪ از حوضه، معادل ۳۸/۹ کیلومتر مربع را دربر گرفته است که این طبقه در سراسر حوضه به‌ویژه دامنه‌های کم‌شیب واقع شده است. طبقه با پتانسیل لغزش کم با ۲۱/۷٪ از حوضه حدود ۲۸ کیلومتر مربع از حوضه را دربر گرفته است که این طبقه به‌طور عمده در نیمهٔ شمالی حوضه واقع شده است. طبقه با پتانسیل خیلی‌کم نیز با ۵/۵٪، ۷ کیلومتر مربع از وسعت حوضه را دربر گرفته است که به‌طور عمده در مناطق غربی حوضه واقع شده است. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن است که در حوضهٔ مورد مطالعه پتانسیل وقوع زمین‌لغزش‌ها به‌طور کلّی از شمال به جنوب و از غرب به شرق افزایش می‌یابد. با توجّه به اینکه حوضهٔ مورد مطالعه به‌لحاظ کشاورزی، گردشگری، مراتع و منابع آبی که دارد بسیار مهم است، لازم است تا مسئولین به‌منظور پایدارسازی دامنه‌های مستعدّ وقوع زمین‌لغزش به‌ویژه دامنه‌های مشرف به راه ارتباطی، اقدامات لازم را انجام دهند.

منابع

امامی، سید نعیم؛ غیومیان، جعفر (۱۳۸۲) پژوهشی بر سازوکار زمین‌لغزش‌ها بر روی واریزه‌های دامنه‌ای (مطالعهٔ موردی: لغزش افسرآباد استان چهارمحال و بختیاری)، **مجموعه‌مقالات سوّمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط‌زیست ایران**، دانشگاه بوعلی سینا همدان. صص. ۱۲۶-۱۱۳.

باقری مهرورز، ابراهیم؛ ارومیه‌ای، علی؛ نیکودل، محمدرضا (۱۳۸۸) پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در تاقدیس کنگان به روش آنبالاگان، **زمین‌شناسی کاربردی**، ۵ (۳)، صص. ۲۱۲-۲۰۶.

رجایی، عبدالحمید (۱۳۸۲) **کاربرد ژئومورفولوژی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط**، چاپ دوّم، نشر قومس، تهران.

زبردست، اسفندیار (۱۳۸۰) کاربرد فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، **نشریهٔ هنرهای زیبا**، ۱ (۱۰)، صص. ۲۱-۱۲.

علیجانی، بهلول؛ قهرودی تالی، منیژه؛ امیراحمدی، ابولقاسم (۱۳۸۴) پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه‌جهان با استفاده از GIS (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ اسطرخی شیروان)، **فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی**، ۲۲ (۱)، صص. ۱۳۲-۱۱۷.

فیض‌نیا، سادات؛ محمدی، علی‌اصغر (۱۳۸۷) پهنه‌بندی حرکت‌های لغزشی با بهره‌گیری از درون‌یابی به هر یک از زیرعامل‌ها در حوضهٔ آبخیز دماوند، **نشریهٔ دانشکدهٔ منابع طبیعی**، ۶۱ (۱)، صص. ۴۲-۲۹.

مالچفسکی، یاچک (۱۳۹۰) **سامانهٔ اطّلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری**، ترجمهٔ اکبر پرهیزکار و عطا غفاری، چاپ دوّم، انتشارات سمت، تهران.

مرادی، حمیدرضا؛ محمدی، مجید؛ پورقاسمی، حمیدرضا؛ فیض‌نیا، سادات (۱۳۸۹) تحلیل و برآورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی در بخشی از جادّهٔ هراز، **برنامه‌ریزی و آمایش فضا**، ۱۴ (۲)، صص. ۲۳۳-۲۴۷.

Crozier, M. J. (2010) Deciphering the effect of climate change on landslide activity: a review, **Geomorphology**, 124, pp. 260-267.

Gruber, S., Huggel, C., Pike, R. (2009) Modeling mass movements and landslide susceptibility, **Developments in Soil Science**, 33, pp. 527-550.

Juang, C., Lee, D., Sheu, H., (1992) Mapping slope failure potential using fuzzy sets, **Journal of Geotechnical Engineering**, ASCE, 118 (3), pp. 475-494.

Kosko, B. (1992) **Fuzzy systems as universal approximators Fuzzy Systems**, IEEE International Conference on San Diego, CA.

Lee, S., Kyungduck, M. (2001) Statistical Analysis of Landslide Susceptibility at Yonging, Korea, **Environmental Geology**, 40, pp. 1095-1113.

Shadfar, S., Lotfollahzadeh, D. (2012) Investigation of relationship between sediment yield and landslide in Iran, **Erosional Journal of Soil Science**, (2), pp. 87-91.

Sidle, R. C., Ochiai, H. (2006) **Landslides: processes, prediction, and land use, Water Resour**, Monogr. Ser., 18, AGU, Washington.

Wang W., Zhang W., Xia Q. (2012) Landslide Risk Zoning Based on Contribution Rate Weight Stack Method, **International Conference on Future Energy**, Environment, and Materials.

Wu, W., Sidle, R. C. (1995) A distributed slope stability model for steep forested basins, **Water Research**. 31, pp. 2097-2110.

Yalcin, A. (2008) GIS-based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hierarchy Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and Confirmations, **Catena**, 22 (1), pp. 1-12.