

پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار مطالعه موردی: حوضه ده سفید، استان لرستان

سیامک بهاروند*

استادیار گروه زمین شناسی، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

حمزه سارویی

استادیار گروه زمین شناسی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

سلیمان سوری

کارشناس ارشد باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۳

چکیده

این پژوهش با هدف پهنه‌بندی خطر نسبی ناپایداری دامنه‌ای و وقوع زمین لغزش در حوضه ده سفید با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار صورت گرفته است. حوضه مورد مطالعه در ۱۵ کیلومتری شمال شرق شهر خرم‌آباد در استان لرستان واقع شده است و با توجه به نوع سازندهای زمین شناسی، اقلیم و وضعیت توپوگرافی، بخش‌هایی از این منطقه از نظر لغزشی ناپایدار است. به منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در این حوضه ابتدا لغزش‌های حوضه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی شناسایی و ثبت شدند. با قطع نقشه‌های عوامل مؤثر بر لغزش با نقشه پراکنش زمین لغزش‌ها، تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، جاده، چشمه و آبراهه به ناپایداری شیب‌ها در محیط نرم افزار ArcGIS برآورد گردید و نقشه هر یک از عوامل به ترتیب با استفاده از منطق فازی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، استانداردسازی و وزن دهی شده است. در نهایت با تلفیق کلیه لایه‌های استاندارد شده در وزن آن‌ها نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های حوضه ده سفید با استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار تهیه گردیده است. بر اساس نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از این روش به ترتیب ۱۱/۳۱، ۳۱/۱۰، ۲۸/۴۶، ۲۵/۴۳ و ۳/۶۹ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، حوضه ده سفید، استان لرستان، روش ترکیب خطی وزن دار، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

مقدمه

زمین لغزش‌ها یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که در مناطق کوهستانی مشکلات جدی به وجود می‌آورند (صفایی پور و همکاران، ۱۳۹۵، ۱۰۶). این پدیده‌ها که بخشی از فرآیندهای فرسایش دامنه‌ای هستند، سبب انتقال حجم

زیادی از مواد دامنه‌ای، مانند سنگریزه‌ها، واریزه‌ها و ... به ته دره‌ها می‌شوند (Larsen and Parks, 1977, 836). حرکت توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسانی متعددی رخ می‌دهند (Sarkar et al., 1995, 302) که وقوع آن‌ها، آثار زیست‌محیطی و اقتصادی بسیار با اهمیتی را به دنبال دارد.

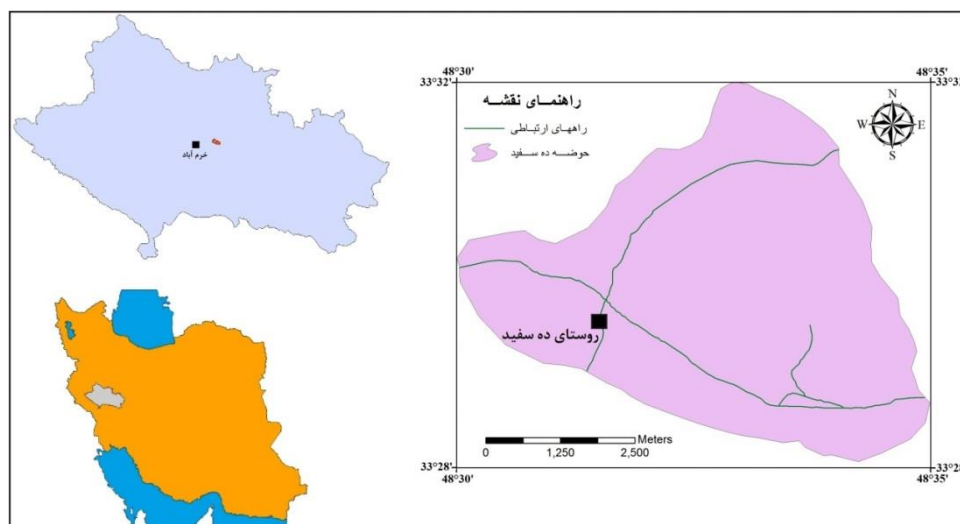
در سال‌های اخیر، مطالعات زیادی بر روی زمین‌لغزش‌ها در کشور انجام شده است. این زمین‌لغزش‌ها در مقیاس‌های متفاوتی به وقوع پیوسته‌اند. برخی از آن‌ها فقط آسیب‌های مالی به همراه داشته و برخی دیگر آسیب‌های جانی را نیز در پی داشته‌اند. بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال آسیب‌های مالی از طریق زمین‌لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود (کمک‌پناه، ۱۳۷۳، ۴۴). با توجه به حجم بزرگ آسیب جانی، مالی و اقتصادی زمین‌لغزش‌ها، بررسی علمی این پدیده ضروری است. بررسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از یک سو باهدف شناسایی مناطق دارای قابلیت زمین‌لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و از سوی دیگر در شناسایی مکان‌های مناسب برای توسعه سکونتگاه‌ها یا سایر زیرساخت‌ها نظیر جاده‌سازی، مسیرهای انتقال آب، گاز، برق و ... مورد توجه برنامه‌ریزان قرار می‌گیرد (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱، ۴۰).

این پژوهش با هدف تهیه نقشه حساسیت خطر زمین‌لغزش در حوضه ده سفید واقع در استان لرستان با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار صورت گرفته است. روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس روش‌های کیفی یا دانش‌بنیان (Ercanoglu and Carrara and Guzzetti, 1995; Kienholz, 1978; Regmi et al., 2010)، و روش‌های کمی (Candan, 2004; Ayalew and Yamagishi, 2005; Mathew, 2007; Tangestani, 2008; Yilmaz, 2009) طبقه‌بندی می‌شود. روش ترکیب خطی وزن‌دار بر اساس تلفیق دو مدل سلسله‌مراتبی (نیمه کیفی) و فازی (کمی) طراحی شده است. تاکنون در زمینه مطالعه خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های مذکور پژوهش‌هایی در ایران و سایر نقاط جهان صورت گرفته است که برخی از این مطالعات عبارت‌اند از: وی‌دونگ و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تئوری فازی اقدام به ارزیابی حساسیت رانش زمین در اطراف استان گوئیژو چین کردند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل فازی بر اساس تابع دوزنقه‌ای روش کارآمدی برای پهنه‌بندی رانش زمین در این منطقه است؛ مرادی و همکاران (۲۰۱۲) به تهیه نقشه خطر لغزش در شهر دنا پرداختند نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیش از ۸۲ درصد از لغزش‌های منطقه در کلاس خطر بالا و خیلی بالا قرار دارد؛ مزوقی و همکاران (۲۰۱۲) به تهیه نقشه خطر لغزش در بخشی از شمال مالزی با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که دقت مدل استفاده شده بیش از ۸۰ درصد است؛ سوری و همکاران (۱۳۹۲) به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش و پهنه‌بندی خطر آن در حوضه کشوری پرداختند. ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که بیش از ۹۲ درصد از لغزش‌های منطقه در پهنه‌های خطر متوسط به بالا قرار دارد و مدل استفاده شده از دقت بالایی در پهنه‌بندی خطر لغزش‌های حوضه برخوردار است؛ بهاروند و سوری (۱۳۹۴) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه کاکا شرف با استفاده از منطق فازی و مدل تراکم سطح پرداختند، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مدل منطق فازی از کارایی بیشتری نسبت به مدل تراکم سطح برخوردار بود.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

حوضه ده سفید بین طول جغرافیایی $30^{\circ} 48'$ تا $35^{\circ} 48'$ شرقی و عرض جغرافیایی $28^{\circ} 33'$ تا $32^{\circ} 33'$ شمالی در ۱۵ کیلومتری شمال شرق شهر خرم‌آباد در استان لرستان واقع بوده و مهم‌ترین راه‌های ارتباطی منطقه جاده خرم‌آباد-تهران است (شکل ۱). این حوضه در تقسیمات زمین‌شناسی بخشی از زاگرس چین‌خورده می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

تهیه نقشه لایه‌های اطلاعاتی

عوامل مختلف در نظر گرفته شده به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با توجه به نکاتی از قبیل هدف، مقیاس کار و دقت قابل انتظار، شرایط منطقه، میزان تأثیرگذاری هر عامل و کافی و در دسترس بودن اطلاعات، تعیین می‌شود. بر این اساس علاوه بر نقشه نقاط لغزشی، ۱۰ عامل دیگر نیز مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل شیب، جهت شیب، لیتولوژی، بارش، کاربری اراضی، طبق‌های ارتفاعی، فاصله از لایه‌های چشمه، گسل، جاده و آبراهه می‌باشند. بر اساس مطالعات صورت گرفته فاکتور بارندگی نقش چندانی در ایجاد لغزش‌های منطقه نداشته لذا در پهنه‌بندی نهایی از آن صرف‌نظر شده است.

۱- میزان شیب دامنه: به منظور تهیه نقشه شیب از مدل رقومی ارتفاعی که از خطوط تراز نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید، استفاده شده است. نقشه شیب برای منطقه مورد مطالعه در ۶ کلاس ۰-۵، ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵، ۴۵-۳۵ و بیشتر از ۴۵ درجه تهیه شد؛

۲- لیتولوژی منطقه: نقشه لیتولوژی محدوده مورد مطالعه بر مبنای نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم‌آباد و مطالعات میدانی تهیه شده است و واحدهای رسوب‌های آبرفتی و آهک‌های سازند سروک را در بر می‌گیرد؛

۳- جهت شیب: به منظور ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخ داده، نقشه جهت شیب بر اساس نقشه DEM منطقه به

۸ کلاس شمال ($22/5^{\circ}$ - 360 و $337/5^{\circ}$)، شمال شرقی ($22/5^{\circ}$ - $67/5^{\circ}$)، شرق ($67/5^{\circ}$ - $112/5^{\circ}$)، جنوب شرقی ($112/5^{\circ}$ - $157/5^{\circ}$)، جنوب ($157/5^{\circ}$ - $202/5^{\circ}$)، جنوب غربی ($202/5^{\circ}$ - $247/5^{\circ}$)، غرب ($247/5^{\circ}$ - $292/5^{\circ}$) و شمال غربی ($292/5^{\circ}$ - $337/5^{\circ}$) طبقه‌بندی شد؛

۴- کاربری اراضی: نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM، تصاویر گوگل ارث و با عملیات میدانی تکمیل شده است. نقشه کاربری اراضی حوضه، واحدهای اراضی باغی، اراضی جنگلی، اراضی زراعی، اراضی صخره‌ای و اراضی مسکونی را در بر می‌گیرد؛

۵- طبقه‌های ارتفاعی: نقشه طبقه‌های ارتفاعی از طبقه‌بندی نقشه DEM منطقه تهیه شده است. به منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه، نقشه طبقه‌های ارتفاعی در ۵ کلاس $1459-1585$ ، $1711-1585$ ، $1837-1711$ ، $1963-1837$ و $2089-1963$ متر تهیه گردیده است؛

۶- نقشه فاصله از گسل: برای تهیه نقشه فاصله از گسل‌های منطقه ابتدا با بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی و کار میدانی گسل‌های منطقه شناسایی و سپس در محیط نرم‌افزار ArcGIS نقشه مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل $100-0$ ، $200-100$ ، $300-200$ ، $400-300$ و بیشتر از 400 متر طبقه بندی شده است.

۷- نقشه همباران: با توجه به ایجاد رابطه همبستگی بین میزان بارندگی و ارتفاع در ایستگاه‌های خرم‌آباد و بروجرد، نقشه همباران منطقه در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و به ۳ کلاس $408-416$ ، $424-416$ و بیشتر از 424 میلی‌متر طبقه‌بندی شد.

۸- نقشه فاصله از آبراهه: به منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل $100-0$ ، $200-100$ ، $300-200$ ، $400-300$ و بیشتر از 400 متر تقسیم و به منظور بیان ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و حریم فاصله از آبراهه‌ها به کار گرفته شد؛

۹- نقشه فاصله از جاده: به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده، شبکه جاده از نقشه توپوگرافی و تصاویر گوگل ارث استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل $100-0$ ، $200-100$ ، $300-200$ ، $400-300$ و بیش از 400 متر طبقه‌بندی شد؛

۱۰- نقشه فاصله از چشمه: در این پژوهش به منظور تهیه نقشه فاصله از چشمه‌های منطقه، با بازدید صحرایی موقعیت چشمه‌ها استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر به ۵ طبقه با فواصل $50-0$ ، $100-50$ ، $150-100$ ، $200-150$ و بیشتر از 200 متر طبقه‌بندی شد.

روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)

در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه ده سفید از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شده است. در این روش ابتدا هر یک از لایه‌های اطلاعاتی را با استفاده از روش فازی استاندارد سازی کرده سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و مقایسه دوجه‌دویی وزن هر لایه را تعیین و با تلفیق کلیه لایه‌های استاندارد

شده در وزن آن‌ها نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تهیه می‌گردد.

استاندارد سازی: با تعیین مجموعه‌ای از معیارها برای ارزیابی گزینه‌های تصمیم‌گیری، لازم است که هر معیار به صورت یک نقشه در پایگاه داده‌های GIS ذخیره شود. در اندازه‌گیری صفات، دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر همین اساس، لازم است ارزش‌های موجود در لایه‌های مختلف نقشه به واحدهای قابل مقایسه و در تناسب باهم تبدیل شوند. با انجام این کار نقشه‌های استاندارد و قابل مقایسه خواهیم داشت. یکی از روش‌های استاندارد سازی، روش فازی است. عملیات فازی‌سازی، ورودی‌ها را گرفته و توسط توابع عضویت مربوطه، یک درجه مناسب به هر یک نسبت می‌دهد. تابع عضویت را می‌توان به صورت درجه تعلق عناصر مجموعه مرجع به زیر مجموعه‌های آن تعریف کرد که به شکل $\mu_C(X)$ نمایش داده می‌شود. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل‌گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند مؤثر باشد. در این پژوهش با استفاده از توابع عضویت خطی^۱، گوسی^۲ و تابع تعریف شده توسط کاربر^۳، نقشه‌های هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش به نقشه‌های فازی تبدیل شده‌اند.

وزن دهی عوامل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی: AHP یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن دهی بر مبنای مقایسه‌های 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.

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 تصمیم‌گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به صورت جدول (۱) در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌نماید. سپس نتایج این مقایسات، برای محاسبه شاخص ناسازگاری^۴ به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌گردد. اگر شاخص محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد نتایج قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن دهی تجدید نظر شود.

^۱ Linear

^۲ Gaussian

^۳ Userdefined

^۴ Inconsistency

جدول ۱: طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی (Saaty and Vargas, 2001, 112)

| مقدار عددی وزن‌ها | توصیف زبانی ارجحیت طبقه‌های |
|-------------------|-------------------------------|
| ۹ | کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب‌تر |
| ۷ | اهمیت خیلی قوی |
| ۵ | اهمیت یا مطلوبیت قوی |
| ۳ | کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر |
| ۱ | اهمیت یا مطلوبیت یکسان |
| ۲، ۴، ۶ و ۸ | اولویت بین فواصل |

ارزیابی روش استفاده شده

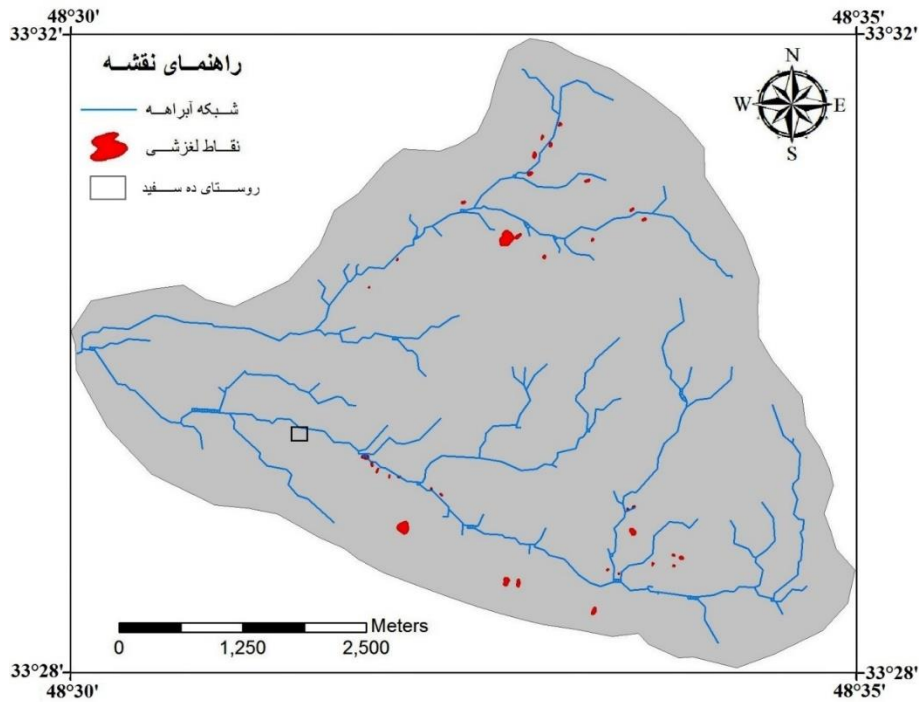
برای ارزیابی نقشه تهیه شده بر اساس روش ترکیب خطی وزن‌دار، پس از تهیه نقشه نقاط لغزشی، با قطع نقشه این نقاط با نقشه خطر زمین‌لغزش، مقدار لغزش‌ها در طبقات مختلف خطر محاسبه و در مرحله بعد با استفاده از رابطه ۱ میزان دقت مدل برحسب درصد محاسبه می‌شود.

$$P = \frac{KS}{S} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، P: احتمال تجربی، KS: مساحت لغزش یافته در رده‌های خطر متوسط به بالا و S: مساحت کل لغزش‌های منطقه است. هرچه احتمال تجربی مدل مورد استفاده به ۱۰۰ درصد نزدیک‌تر باشد، برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه مناسب‌تر است.

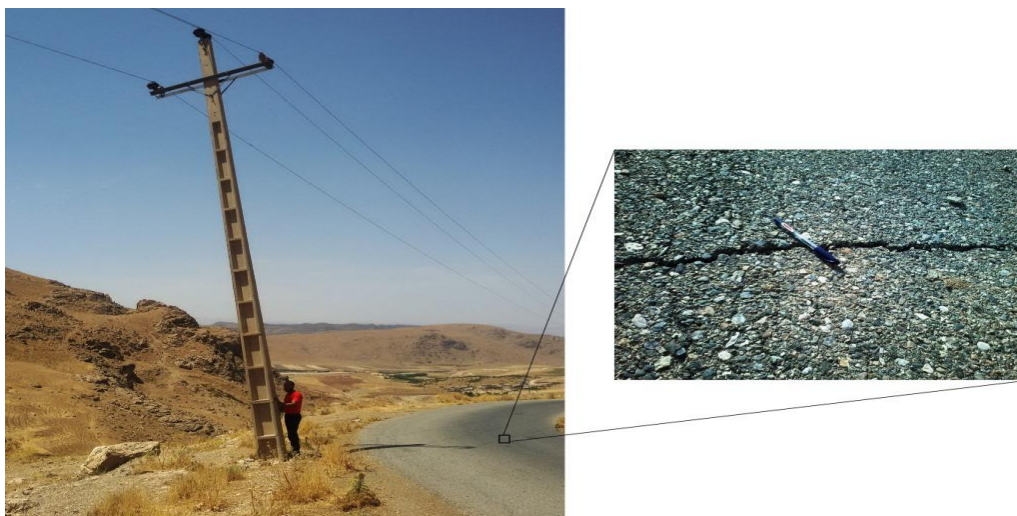
نتایج

اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در آن منطقه است. این نقشه مبنای تصمیم‌گیری‌های بعدی است، بنابراین در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منطقه و تصاویر گوگل ارث لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شدند و لذا برای تکمیل اطلاعات و ثبت لغزش‌های جدید، بازدید صحرایی انجام شده و تمامی لغزش‌ها مورد بازدید صحرایی قرار گرفت و نقشه پراکنش لغزش‌ها مطابق شکل ۲ تهیه گردیده است.



شکل ۲: نقشه نقاط لغزشی حوضه ده سفید منبع: نگارندگان

زمین لغزش‌های مشاهده شده در منطقه به‌طور عموم ناشی از فرآیندهای مختلف انسان‌ساخت، درونی (زمین‌ساخت) و بیرونی (اقلیمی) می‌باشند. از جمله عوامل مؤثر بر این پدیده در حوضه ده سفید می‌توان به عوامل آبراهه، تغییر کاربری اراضی، جاده‌سازی و زمین‌شناسی اشاره نمود. در برخی از قسمت‌های منطقه و به‌ویژه در مجاورت جاده‌ها و معابر منطقه به‌وفور شاهد تأثیر تشدید عوامل انسانی از قبیل تغییر کاربری اراضی، راه‌ها و ترانشه‌زنی، بر وقوع زمین‌لغزش‌ها هستیم. در منطقه مورد مطالعه ۳۶ نقطه لغزشی با مساحت ۴۹۱۳۷ متر مربع شناسایی شده است. لغزش‌های اتفاق افتاده در این منطقه دارای سه ساز و کار لغزش قاشقی، خزشی (شکل ۳) و ریزشی می‌باشند.



شکل ۳: کج شدن تیر چراغ‌برق و ترک خوردن آسفالت در اثر خزش

به‌منظور بررسی حساسیت طبق‌های هر یک از این عوامل مؤثر بر لغزش از مدل نسبت فراوانی^۱ استفاده شده است. بدین منظور ابتدا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و سپس نسبت فراوانی برای هر یک از طبقه‌های عوامل از تقسیم نسبت درصد پیکسل‌های لغزشی به درصد پیکسل‌های غیر لغزشی محاسبه گردیده است (جدول ۲).

جدول ۲: بررسی عوامل مؤثر بر لغزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی

| کلاس دارای بیشترین حساسیت | لایه‌های اطلاعاتی |
|---------------------------|-------------------|
| ۳۵-۴۵ درجه | شیب |
| سازند سروک | لیتولوژی |
| شمال، شمال شرق و شمال غرب | جهت شیب |
| اراضی جنگلی | کاربری اراضی |
| ۱۷۱۱-۱۸۳۷ متر | طبقه‌های ارتفاعی |
| ۰-۱۰۰ متر | گسل |
| ۰-۱۰۰ متر | جاده |
| ۰-۱۰۰ متر | چشمه |
| ۰-۱۰۰ و ۲۰۰-۳۰۰ | آبراهه |

منبع: نگارندگان

بعد از آماده کردن لایه‌های مورد نظر، استانداردسازی لایه‌ها انجام می‌شود. جهت استاندارد سازی داده‌ها از روش فازی استفاده شده است. نکته‌ای که بایستی در انتخاب تابع فازی برای استانداردسازی مورد توجه قرار داد، نوع افزایشی (حداکثر شونده یا صعودی) یا کاهششی (حداقل شونده یا نزولی) بودن توابع مورد نظر می‌باشد. در این پژوهش با توجه به نسبت‌های فراوانی به‌دست‌آمده از توابع خطی کاهششی (گسل، جاده، چشمه و آبراهه)، تابع گوسی (طبقات ارتفاعی و شیب) و تابع عضویت تعریف شده توسط کاربر (لیتولوژی، کاربری اراضی و جهت شیب) به‌منظور استانداردسازی لایه‌ها استفاده شده است.

پس از استانداردسازی داده‌ها، با توجه به اینکه هر یک از لایه‌ها تأثیر متفاوتی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش دارند، وزن دهی به لایه‌ها ضرورت می‌یابد. برای این کار از روش تحلیل سلسله مراتبی استفاده شده است. بدین منظور ابتدا با مقایسه زوجی (بر اساس جدول ۱) لایه‌ها دوه‌دو باهم مقایسه و نتایج به‌دست‌آمده به‌منظور محاسبه اوزان هر یک از فاکتورهای استفاده شده به نرم‌افزار Expert Choice انتقال داده شد. نتایج به‌دست‌آمده از محاسبه ضریب ناسازگاری نشان داد که مقایسات به‌درستی انجام شده است (جدول ۳).

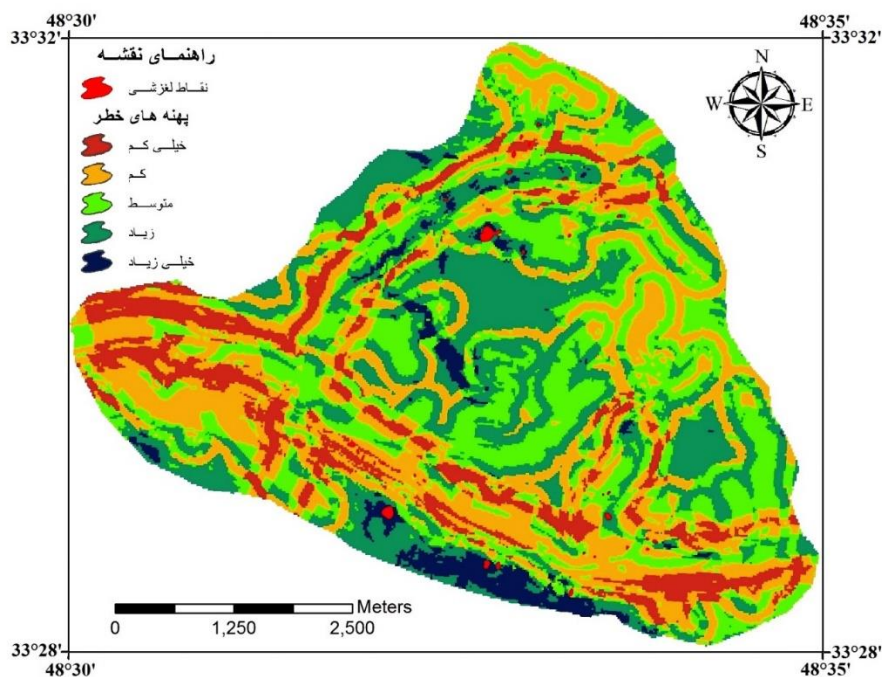
^۱ Frequency Ratio

جدول ۳: مقایسه‌های زوجی عوامل مؤثر بر لغزش در حوضه ده سفید

| ضریب ناسازگاری | وزن | جهت شیب | ارتفاع | گسل | کاربری اراضی | لیتولوژی | چشمه | آبراهه | جاده | شیب | عوامل مؤثر بر لغزش |
|----------------|-------|---------|--------|-----|--------------|----------|------|--------|------|-----|--------------------|
| ۰/۰۲ | ۰/۲۱۱ | ۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۱ | ۱ | ۱ | شیب |
| | ۰/۱۸۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | | جاده |
| | ۰/۱۸۶ | ۵ | ۴ | ۳ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | | | آبراهه |
| | ۰/۱۰۹ | ۴ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | ۱ | | | | چشمه |
| | ۰/۱۰۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۲ | ۱ | | | | | لیتولوژی |
| | ۰/۰۷۸ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ | | | | | | کاربری اراضی |
| | ۰/۰۵۹ | ۳ | ۲ | ۱ | | | | | | | گسل |
| | ۰/۰۳۹ | ۲ | ۱ | | | | | | | | ارتفاع |
| | ۰/۰۲۷ | ۱ | | | | | | | | | |

منبع: نگارندگان

به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه ده سفید با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC)؛ نقشه‌های فازی هر یک از عوامل در اوزان به‌دست‌آمده بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ضرب و نقشه تمام عوامل همپوشانی داده شدند. در نهایت نقشه پهنه‌بندی به ۵ کلاس شامل مناطق با خطر خیلی زیاد (۳/۶۹ درصد از مساحت)، زیاد (۲۵/۴۳ درصد)، متوسط (۲۸/۴۶ درصد)، کم (۳۱/۱۰ درصد) و خیلی کم (۱۱/۳۱ درصد) طبقه‌بندی گردیده است (شکل ۳). بر اساس نقشه تهیه شده در جنوب منطقه شرایط برای رخداد زمین‌لغزش مهیا بوده و این قسمت از حوضه از حساسیت بیشتری در برابر لغزش برخوردار است.



شکل ۳: نقشه حساسیت خطر زمین‌لغزش در حوضه ده سفید منبع: نگارندگان

ارزیابی نتایج

به‌منظور ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از مدل سلسله‌مراتبی پس از تهیه نقشه نقاط لغزشی، با قطع دادن آن با نقشه خطر لغزش‌های منطقه؛ مساحت لغزش در هر کلاس خطر تعیین و با استفاده از رابطه ۱ دقت مدل استفاده شده برآورد گردید (جدول ۴). نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که مدل استفاده شده از دقت بالایی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برخوردار است.

جدول ۴: نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

| کلاس خطر | تعداد پیکسل هر کلاس خطر (ابعاد ۲۰*۲۰ متر) | تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس (ابعاد ۲۰*۲۰ متر) | دقت مدل استفاده شده (درصد) |
|-----------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------|
| خیلی کم | ۸۰۶۵ | ۳ | ۸۴/۲۹ |
| کم | ۲۲۱۶۷ | ۱۶ | |
| متوسط | ۲۰۲۸۲ | ۶ | |
| زیاد | ۱۸۱۲۱ | ۲۴ | |
| خیلی زیاد | ۲۶۳۰ | ۷۲ | |

منبع: نگارندگان

نتیجه‌گیری

استان لرستان به دلیل ویژگی‌های متنوع زمین‌شناسی نظیر لیتولوژی، زمین‌ساخت، لرزه‌خیزی و شرایط خاص آب و هوایی، از جمله مناطق دارای پتانسیل لغزش است. با توجه به موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه تاکنون زمین‌لغزش‌های متعددی در این منطقه رخ داده است که با شناسایی عوامل مؤثر بر لغزش‌های منطقه می‌توان از رخداد خطرهای آتی این پدیده جلوگیری کرد. با توجه به متفاوت بودن درجه اهمیت عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌ها، شناسایی و اولویت‌بندی درست عوامل برای جلوگیری از وقوع عوامل امری الزامی است. در این پژوهش از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) و استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) یکی از مدل‌های چند معیاره تصمیم‌گیری، برای اولویت‌بندی و وزن دهی عوامل مؤثر بر وقوع لغزش‌های حوضه ده سفید استفاده شده است که به ترتیب وزن عوامل شیب، جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از چشمه، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، طبقه‌های ارتفاعی و جهت شیب مهم‌ترین نقش را در ایجاد لغزش‌های منطقه دارا می‌باشند. نتایج به‌دست‌آمده از بررسی هر یک از این عوامل به تنهایی نشان می‌دهد:

نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد که دلیل نوع سازوکار لغزش‌ها بیشترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه؛ ریزش در شیب ۳۵-۴۵ درجه، خزش در شیب ۱۵-۵ و لغزش‌های قاشقی در شیب ۱۵ تا ۳۵ درجه اتفاق افتاده است.

بررسی جهت‌های جغرافیایی نسبت به پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به زمین‌لغزش در جهت‌های شمال شرق، شمال غرب و شمال است؛ زیرا، در جهت‌های شمالی به دلیل آفتاب‌گیری کمتر، حرارت و تبخیر کمتری داشته و عامل رطوبت خود به فرسایش بیشتر و افزایش فشار آب منفذی که زمینه‌ساز لغزش هستند کمک می‌نماید.

بررسی نتایج به دست آمده از لیتولوژی منطقه نشان می‌دهد که سازند سروک به دلیل حساسیت لیتولوژی آهک در برابر لغزش از بیشترین حساسیت برخوردار است.

نتایج به دست آمده از کاربری اراضی نشان داد که بیشترین حساسیت به لغزش در واحد جنگلی وجود دارد که این امر ناشی از نقش انسان در تغییر اکوسیستم است.

بررسی طبقه‌های ارتفاعی نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت به کلاس ۱۸۳۷-۱۷۱۱ متر تعلق دارد و با افزایش ارتفاع به دلیل تأثیر کمتر سایر عوامل این مقدار کاهش می‌یابد.

نتایج به دست آمده از بررسی پراکندگی لغزش‌ها نسبت به فاصله از چشمه نشان داد که بیشترین حساسیت نسبت به لغزش، در فاصله ۵۰-۰ متری قرار دارد که علت آن کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی شیب‌ها به دلیل نفوذ آب چشمه‌ها در رسوب‌های اطراف است.

بر اساس نتایج به دست آمده، عامل فاصله از گسل با وقوع زمین لغزش در منطقه رابطه مستقیم دارد و بیشترین حساسیت به وقوع زمین لغزش در طبقه ۰ تا ۱۰۰ متر وجود دارد که ناشی از خردشدگی سنگ‌ها توسط گسل می‌باشد.

نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین لغزش‌ها 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 و به دلیل نقش پررنگ‌تر دیگر عوامل در فاصله ۳۰۰-۲۰۰ متری وجود دارد.

نتایج به دست آمده از پراکندگی لغزش‌ها نسبت به جاده نشان می‌دهد بیشترین حساسیت نسبت به لغزش در فاصله ۱۰۰-۰ متری وجود دارد که این امر به دلیل بالا رفتن حساسیت دامنه‌ها در برابر جاده‌سازی است.

در این پژوهش برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه ده سفید از روش ترکیب خطی وزن دار استفاده شده است. نتایج به دست آمده از این مدل نشان می‌دهد که به ترتیب ۱۱/۳۱، ۳۱/۱۰، ۲۸/۴۶، ۲۵/۴۳ و ۳/۶۹ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است. همچنین ارزیابی نتایج با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان‌دهنده مطلوبیت عملکرد مدل بکار رفته شده با دقت بیش از ۸۴ درصد می‌باشد.

منابع

- ۱- بهاروند، سیامک؛ سوری، سلمان، (۱۳۹۴): پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و مدل تراکم سطح (مطالعه موردی حوضه کاکا شرف، جنوب شرقی خرم‌آباد)، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، ۹ (۴): صص ۳۰۹۳-۳۱۱۲.
- ۲- سوری، سلمان؛ لشکری پور، غلامرضا؛ غفوری، محمد و فرهادی نژاد، طاهر، (۱۳۹۲): اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کشوری)، مجله انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران، ۶ (۲-۱): صص ۱-۱۲.
- ۳- صفایی پور، مسعود؛ شجاعیان، علی و آتش‌افروز، نسرین، (۱۳۹۵): پهنه‌بندی زمین لغزش با استفاده از مدل AHP در محیط GIS (منطقه مورد مطالعه روستای دره گز قلندران شهر دهدز)، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، ۹ (۳۱): صص ۱۰۵-۱۱۸.

- ۴- کمک‌پناه، علی، (۱۳۷۳): روش‌های تحلیلی در ارزیابی پایداری شیب‌های طبیعی، موسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، جلد سوم.
- ۵- یمانی، مجتبی؛ حسن‌پور، سیروس؛ مصطفایی، ابوالفضل و شادمان رود پشته، مجید، (۱۳۹۱): نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل AHP در محیط GIS، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، ۲۳(۴۸): صص ۳۹-۵۶.
- 6- Ayalew, L. and Yamagishi, H. (2005): The Application of GIS-Based Logistic Regression for Landslide Susceptibility Mapping in The Kakuda–Yahiko Mountains, Central Japan. *Geomorphology*, 65: pp. 15- 31.
- 7- Ayalew L., Yamagishi H., Marui H. and Kanno T., (2005): Landslide in Sado Island of Japan Part II. GIS-Based Susceptibility Mapping With Comparisons of Results From to Methods and Verifications. *Engineering Geology*, 81: pp. 432-445.
- 8- Carrara, A. and Guzzetti, F. (1995): *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, pp. 135-175.
- 9- Ercanoglu, M. and Candan, G.P. (2004): Use of Fuzzy Relation to Produce Landslide Susceptibility Map of a Landslide Prone Area (West Black Sea Region, Turkey). *Engineering Geology*, (75): pp. 229-250.
- 10- Kienholz, H. (1978): Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland: Scale 1:10,000. *Arctic and Alpine Research*, 10(2): pp. 169-184.
- 11- Larsen, M.C. and Parks, J.E. (1977): How wide is a road? The association of roads and mass-Wasting in a Forested Mountain Environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22: pp. 835-848.
- 12- Mathew, J., Jha, V.K. and Rawat, G.S. (2007): Weights of Evidence Modeling for Landslide Hazard Zonation Mapping in Part of Bhagirathi Valley, Uttarakhand. *Current Science*, Vol. 92, No. 5, 10.
- 13- Mezughi, T.H., Akhir, J.M., Rafek, A.G. and 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: pp. 13-24.
- 14- Moradi, M., Baziar, M.H. and Mohamadi, Z. (2012): GIS-Based Land Slide Susceptibility Mapping by AHP Method, A Case Study, Dena City, Iran. *J. Basic. Appl. Sci. Res*, 2(7): pp. 6715-6723.
- 15- Regmi, N.R., Giardino J. and Vitek, J. (2010): Modeling Susceptibility To Landslides Using The Weight of Evidence Approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115: pp. 172-187.
- 16- Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (2001): *Models, Methods, Concepts, and Applications of The Analytical Hierarchy Process*. 1st ed. Kluwer Academic, Boston, 333p.
- 17- Sarkar, S., Kanungo, D.P. and Mehrotar, S. (1995): Landslide Zonation (A Case Study in Garwal Himalaya, India. *Mountain Reserch and Development*, 15(4): pp. 301-309.
- 18- Tangestani, M. (2008): A Comparative Study of Dempster-Shafer and Fuzzy Models For Landslide Susceptibility Mapping Using a GIS: An Experience From Zagros Mountains, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences* 35: pp. 66-73.
- 19- Wei dong, W., Cui-ming, X. and Xiang-gang, D. (2009): Landslides Susceptibility Mapping in Guizhou Province Based on Fuzzy Theory. *Mining Science and Technology*, 19: pp. 0399–0404.
- 20- Yilmaz, I. (2009): Landslide Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio, Logistic Regression, Artificial Neural Networks and Their Comparison: A Case Study From Kat Landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences*, 35: pp. 1125-1138.