تحلیل و براورد خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از جاده هراز

حمیدرضا مرادی[1*]، مجید محمدی[2]، حمیدرضا پورقاسمی[3]، سادات فیض‌نیا[4]

۱- استادیار هیدرواقلیم دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران
۲- دانش‌آموخته دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران
۳- استاد زمین‌شناسی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴- کارشناس ارشد دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

دریافت:۸۷/۹/۳ پذیرش: ۸۸/۶/۳۱

چکیده

زمین‌لغزش از جمله سوانح طبیعی است که همه ساله سبب بروز خسارت‌های فراوان مالی و جانی در سراسر جهان می‌شود. ایران به‌ویژه در نواحی شمالی و مسیر جاده هراز، به خاطر شرایط خاص آب‌وهوایی و فیزیوگرافی همواره در معرض خطر زمین لغزش قرار دارد.

هدف از این تحقیق تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS، در بخشی از حوزه آبخیز هراز است. به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش نخست با مطالعات میدانی، نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوزه و سپس نقشه عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش تهیه شد. در مرحله بعد نیز عامل‌ها با استفاده از نظر کارشناسی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی اولویت‌بندی شده و نه عامل شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، واحدهای زمین‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و نقشه بارش به عنوان عوامل مؤثر انتخاب گردید. سپس پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه با استفاده از مدل فرایند تحلیل سلسله مراتبی انجام شد.

نتایج نشان داد که سه عامل واحدهای زمین‌شناسی، فاصله از جاده 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.

کلیدواژه‌ها: زمین‌لغزش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، هراز.

---

* نویسنده مسؤول مقاله: E-mail: Morady5hr@yahoo.com

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

۱- مقدمه

حرکات توده‌ای[1] و به‌ویژه زمین‌لغزش[2] یکی از مهم‌ترین بلایای طبیعی است که وجود عواملی مانند مستعدبودن ناهمواری‌ها از نظر منشأ ساختمانی و دینامیک، قطع درختان و بهره‌برداری‌های بی‌رویه از جنگل‌ها، رعایت‌نکردن اصول فنی و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، نبود اعمال مدیریت صحیح و بهره‌برداری غیراصولی از منابع موجود باعث تشدید آن شده است (شادفر و همکاران، ۱۳۸٤: ٦٤). حرکت‌های توده‌ای هر ساله در بسیاری از مناطق دنیا باعث کشته و مجروح‌شدن افراد زیادی می‌شود که این امر ضرورت توجه به این پدیده خطرناک را نمایان می‌کند (محمدی، ۱۳۸٦: ۱۱).

روش‌های مختلفی برای مطالعه حرکات توده‌ای و زمین‌لغزش در دنیا و کشورمان استفاده شده‌اند ولی با توجه به متفاوت بودن عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش و نبود امکان اندازه‌گیری تمامی عامل‌ها هنوز روشی که به طور قطع بتوان آن را برای تمامی مناطق استفاده کرد، معرفی نشده است. یکی از مهم‌ترین اقدامات در مطالعات زمین‌لغزش تعیین عوامل تأثیرگذار بر زمین‌لغزش است که انتخاب درست این عامل‌ها رابطه مستقیم با دقت نقشه‌های پهنه‌بندی خطر دارد. به خاطر قطعیت نداشتن در مطالعات زمین‌لغزش، استفاده از نظر کارشناسان مختلف در بسیاری از مناطق دنیا مورد استفاده قرار گرفته و در برخی از این تحقیقات نتایج قانع‌کننده‌ای حاصل شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸٤: ۱۲؛ پورقاسمی، ۱۳۸٦: ۷٦؛ کرم، ۱۳۸۰: ۲۵۸؛ محمدی، ۱۳۸٦: ۵۷؛ آیلو و یاماگیشی، ۲۰۰۵: ۲٦؛ کوماک، ۲۰۰٦: ۲۲؛ یلسین، ۲۰۰۸: ۹).

هدف از تحقیق حاضر، استفاده از نظرات کارشناسی در اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش و در نهایت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در محیط GIS با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی[3] در بخشی از حوزه آبخیز هراز است.

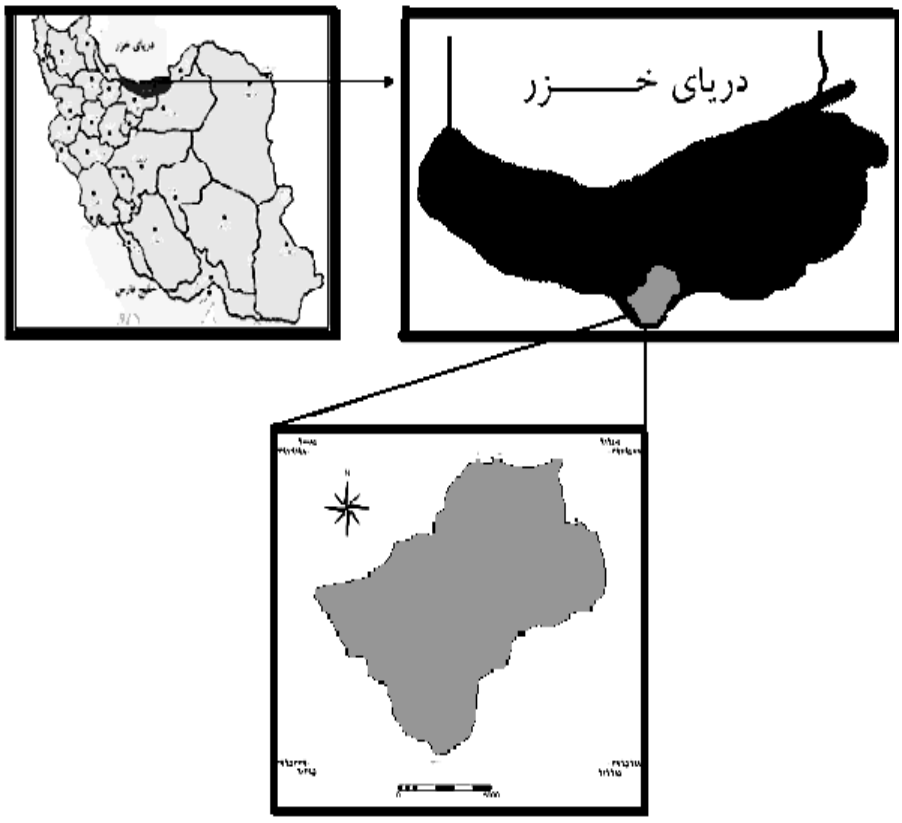
1. Mass Movement
2. Landslide
3. Analytical hierarchy process

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه

برای انجام این تحقیق بخشی از مسیر جاده هراز بین شهرهای آمل و تهران به مساحت ۱۱٤ کیلومتر مربع انتخاب شد. این منطقه بین طول جغرافیایی"۳۸ ´۰٦ °۵۲ تا "۲٤ ´۱۷ °۵۲ شرقی و عرض "۳۹´٤۹ °۳۵ تا "۱۱´۵۷ °۳۵ شمالی قرار دارد. ارتفاع حداقل و حداکثر در منطقه به ترتیب ۱۲۰۰ و ۳۲۹۰ متر است (شکل ۱).



شکل۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده

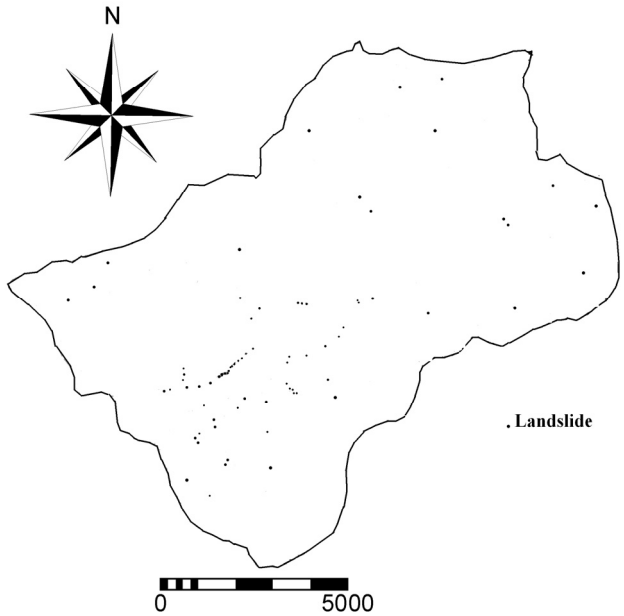
[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

۲-۲- روش تحقیق

به طور کلی روش تحقیق را در مراحل زیر می‌توان خلاصه کرد:

۲-۲-۱- تهیه نقشه پراکنش و جدول توصیفی زمین‌لغزش‌ها

اولین مرحله در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه است. به این منظور در کل منطقه پیمایش زمینی صورت گرفت و موقعیت و مساحت نقاط لغزشی با استفاده از**GPS** ثبت شد. در مراحل بعدی مشخصات دیگر لغزش‌ها مانند شیب، جهت و غیره از روی نقشه‌های مربوط به آن استخراج و جدول توصیفی زمین‌لغزش‌ها تهیه شد. در منطقه مطالعه‌شده، ۷۸ لغزش ثبت شد (شکل ۲) که ۵۵ لغزش برای پهنه‌بندی و ۲۳ لغزش برای ارزیابی استفاده گردید. سپس این نقاط به نرم‌افزار ILWIS منتقل و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه تهیه شد (پورقاسمی، ۱۳۸٦: ٥٦؛ محمدی، ۱۳۸٦: ۳۷).



شکل ۲ نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها در منطقه مطالعه‌شده (مقیاس بر حسب متر)

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

۲-۲-۲- تهیه نقشه‌های پایه

بعد از بازدید میدانی و بررسی مشخصات لغزش‌ها، ۹ عامل به عنوان عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش در منطقه انتخاب شد که شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، واحدهای زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و نقشه بارش می‌باشد.نخست نقشه توپوگرافی منطقه تهیه و در محیط نرم‌افزار ILWIS نقشه مدل رقومی ارتفاع تهیه شد. سپس نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهت شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه ساخته شد. نقشه لیتولوژی و گسل‌ها از روی نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی، کاربری اراضی از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، نقشه فاصله از آبراهه و جاده از روی نقشه توپوگرافی و نقشه بارش از میانیابی بارش ایستگاه‌های منطقه به دست آمد و در مرحله بعد این نقشه‌ها طبقه‌بندی شدند (شکل ۳).

۲-۲-۳- تلفیق نقشه‌های پایه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و محاسبه وزن هر طبقه

در این مرحله هریک از نقشه‌های عوامل مؤثر در محیط ILWIS با نقشه پراکنش تلفیق شد و مساحت زمین‌لغزش در طبقه‌های هر یک از عوامل به دست آمد. برای وزن‌دهی به هر طبقه از رابطه ۱ استفاده شد (شادفر و همکاران، ۱۳۸٤: ۵۳؛ رمندو و همکاران، ۲۰۰۳: ٤٤۱).

$$W = \left[(A/B)/(C/D)\right] \qquad \text{رابطه ۱}$$

که در آن

A: مساحت لغزش در هرطبقه

B: مساحت هر طبقه

C: مساحت کل لغزش‌ها

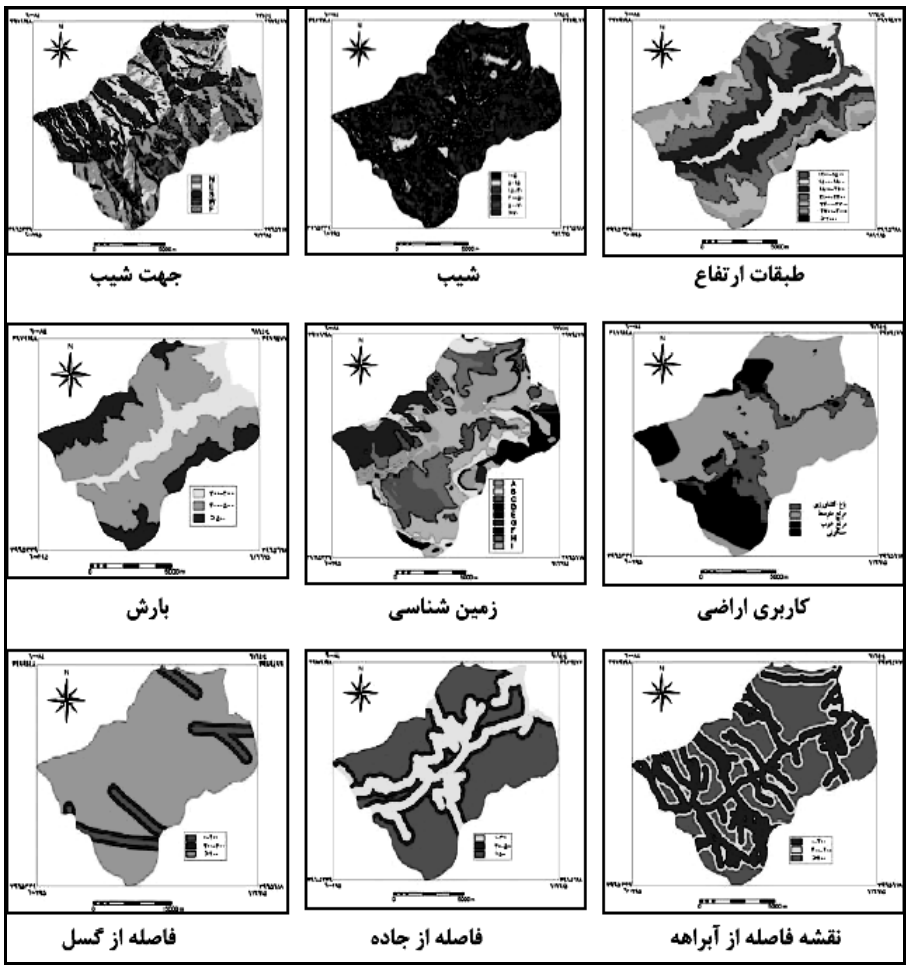
D: مساحت کل منطقه.

۲-۲-۴- فرایند تحلیل سلسله مراتبی

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یک روش نیمه کیفی در مطالعه زمین‌لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند (آیلو و یاماگیشی، ۲۰۰۵: ۲۵). از مزایای AHP این است که اعمال نظر کارشناسی به‌وسیله 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.



شکل ۳ نقشه عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

۲-۲-۵- ارسال اطلاعات به دست آمده برای کارشناسان و محاسبه وزن هر عامل

برای اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش نقشه‌های تلفیقی با نقشه پراکنش لغزش‌ها، جدول‌های مساحت لغزش‌ها در طبقه‌های مختلف، جدول توصیفی زمین‌لغزش‌ها، فرم‌های وزن‌دهی و دیگر اطلاعات به دست آمده از منطقه برای ۲۰ صاحب‌نظر در زمینه زمین‌لغزش، زمین‌شناسی، جغرافیا و ژئومورفولوژی فرستاده شد. بیشتر کارشناسان از اساتید مجرب دانشگاه و یا کسانی که در زمینه اجرایی صاحب‌نام بودند، انتخاب شدند. هم‌چنین فرم‌های وزن‌دهی در اختیار دو نفر که به طور مستقیم از منطقه بازدید کرده و در تمامی مراحل نمونه‌برداری حضور داشتند، نیز قرار گرفت. در فرم‌های مربوط به آن عامل‌های مؤثر به صورت زوجی با توجه به مشخصات منطقه، تحلیل کارشناسی و دقت در تراکم لغزش‌ها بر اساس جدول ۱ وزن‌دهی شده و ماتریس مقایسات زوجی به دست آمد. این ماتریس به نرم‌افزارExpert Choice که یک نرم‌افزار مدیریتی است وارد شده و وزن عامل به دست آمد. این نرم‌افزار هم‌چنین ضریب ناسازگاری را به ما می‌دهد که اگر کمتر از ۰/۱ باشد، قابل قبول و در غیر این صورت دوباره مقایسات انجام می‌شود (قدسی‌پور، ۱۳۸٤: ۱۸٤). در مرحله بعد فرم‌هایی که ضریب ناسازگاری مناسب داشتند، انتخاب شد. وزن‌های داده شده در مقایسات زوجی به صورت میانگین هندسی جمع شده و این ماتریس به نرم‌افزار وارد شده و وزن نهایی به دست آمد.

۲-۲-۶- محاسبه وزن نهایی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

برای محاسبه وزن نهایی، وزن هر عامل که با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی به دست آمده بود، در وزن طبقه‌های آن که از رابطه ۱ به دست آمد، ضرب شد. در مرحله بعد کلیه نقشه‌های وزنی با هم جمع گردید. این وزن در نقشه منطقه اعمال شده و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حاصل شد (شادفر و همکاران، ۱۳۸٤: ٦۱). درنهایت این نقشه به چهار کلاس خطر تقسیم شد.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

جدول ۱ مقادیر ترجیحات و قضاوت کارشناسی (ساتی، ۱۹۸۰)

ترجیحات	مقدار عددی
کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
اولویت بین فواصل	۲، ٤، ٦ و ۸

۲-۲-۷- ارزیابی روش پهنه‌بندی

با توجه به این‌که برای پهنه‌بندی خطر از زمین‌لغزش‌های منطقه استفاده شد، در این صورت نمی‌توان برای ارزیابی نقشه پهنه‌بندی، از همان زمین‌لغزش‌ها استفاده کرد (رمندو و همکاران، ۲۰۰۳: ٤٤۳). برای حل این مشکل تعدادی از لغزش‌ها (حدود یک سوم نقاط) در پهنه‌بندی استفاده نشد و برای ارزیابی مدل استفاده شد. برای مقایسه رده‌های مختلف خطر از تراکم زمین‌لغزش‌ها یا نسبت تراکمی (Dr) در هر یک از رده‌های خطر استفاده شد. نسبت تراکم با تقسیم کردن تراکم زمین‌لغزش در رده خطر خاص به تراکم متوسط زمین‌لغزش‌ها محاسبه گردید. با استفاده از مقدار جمع کیفی (Qs) می‌توان میزان دقت نقشه را مشخص کرد؛ به طوری که هر چه Qs بالاتر باشد، صحت و دقت نقشه بیش‌تر می‌باشد. جمع کیفی (Qs) به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود (جی، ۱۹۹۱: ۹٤۹).

$$Qs = \sum_{i=1}^{n} \left(Dr - 1\right)^{2} * S \qquad \text{رابطه ۲}$$

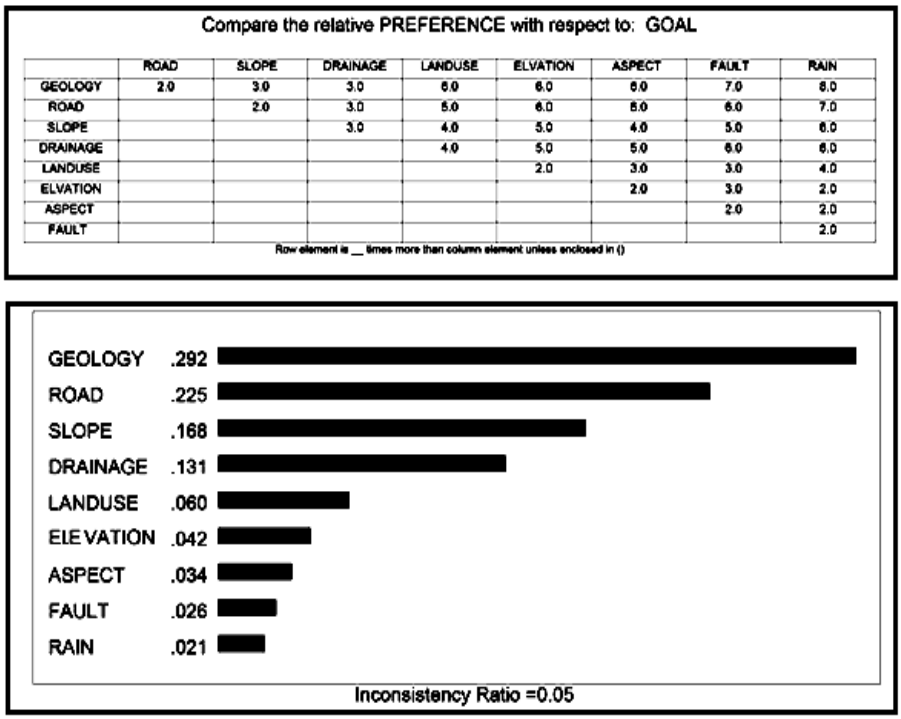
که در آن : n تعداد رده‌های خطر

S : مساحت رده خطر به درصد در منطقه است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

۳- نتیجه‌گیری

برای اولویت‌بندی عوامل، فرم‌های وزن‌دهی برای کارشناسان مختلف فرستاده شد. درنهایت مقایسات زوجی به صورت میانگین هندسی تلفیق شده و جدول نهایی به نرم‌افزارExpertChoice وارد و عامل‌ها اولویت‌بندی شد (شکل ٤).



شکل ۴ اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر در نرم‌افزار Expert Choice

همان‌طور که در شکل ٤ مشاهده می‌شود، سه عامل زمین‌شناسی، فاصله از جاده و شیب به‌ترتیب، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش منطقه محسوب می‌شوند؛ در حالی که دو عامل گسل و بارش کم‌ترین نقش را در وقوع زمین لغزش منطقه دارند. در مرحله بعد وزن به دست آمده برای هر عامل با استفاده از AHP در تراکم لغزش ضرب

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

شده و وزن نهایی مدل به دست آمد که در جدول ۲ نشان داده شده است. تلفیق نقشه زمین‌شناسی و نقشه پراکنش لغزش‌ها نشان داد که بین سازندهای زمین‌شناسی با وقوع زمین‌لغزش ارتباط نزدیکی وجود دارد.

جدول ۲ پراکنش لغزش مربوط به هر یک از عوامل

عامل	کلاس	مساحت طبقات (m^2)	مساحت لغزش (m^2)	وزن نهایی
فاصله از جاده	۰-۳۰۰	۴۵۲۰	۳۳۸۸۲۱۲۸	۰/۳۳۷
	۳۰۰-۵۰۰	۲۱۶۰	۱۵۹۶۴۰۲۱	۰/۳۴۲
	>۵۰۰	۳۴۵۸	۶۴۵۷۲۴۸۰	۰/۱۳۵
لیتولوژی	A	۱۴۷۵۲۷۶۱	۲۵۰	۰/۰۵۵
	B	۱۱۲۸۸۴۹۷	۰	۰/۰۰۰۲
	C	۱۸۶۲۹۸۴۵	۴۷۹۰	۰/۸۳۹
	D	۶۵۰۰۶۱۰	۲۰۵	۰/۱۰۳
	E	۲۹۴۶۲۸	۰	۰/۰۱۱
	F	۱۹۷۵۲۹۴	۰	۰/۰۰۲
	G	۱۵۳۱۹۰۶۸	۲۸۵	۰/۰۶۱
	H	۱۱۹۹۰۶۰۳	۳۱۰۰	۰/۸۴۳
	I	۳۳۶۶۶۷۹۲	۱۵۰۸	۰/۱۴۶
شیب بر حسب درصد	۰-۵	۱۶۲۳۲۲۰	۰	۰/۰۰۱
	۵-۱۵	۶۸۷۰۱۷۲	۱۵۰	۰/۰۴۱
	۱۵-۳۰	۱۳۹۳۰۸۶۵	۱۸۵۵	۰/۲۵۳
	۳۰-۵۰	۲۷۶۴۵۶۴۵	۵۱۳۰	۰/۳۵۰
	۵۰-۷۰	۳۰۳۵۶۰۵۱	۱۳۷۸	۰/۰۸۷
	>۷۰	۳۳۹۸۰۵۰۴	۱۶۲۵	۰/۰۷۹
فاصله از آبراهه	۰-۲۰۰	۴۶۸۹۶۳۴۲	۵۴۰۰	۰/۱۶۹
	۲۰۰-۴۰۰	۲۹۰۸۸۰۰۸	۲۸۰۳	۰/۱۵۳
	>۴۰۰	۳۸۴۳۴۲۷۹	۱۹۳۵	۰/۰۷۳
کاربری اراضی	مرتع متوسط	۷۳۳۷۶۲۴۴	۳۸۵۳	۰/۰۳۴
	باغ- کشاورزی	۱۵۳۷۲۰۵۲	۲۲۳۵	۰/۰۹۶
	مسکونی	۳۳۷۴۵۳	۱۴۱۰	۲/۷۸۲

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

ادامه جدول ۲

عامل	کلاس	مساحت طبقات (m^2)	مساحت لغزش (m^2)	وزن نهایی
جهت شیب	N	۳۲۶۹۱۹۸۱	۲۶۹۰	۰/۰۳۰
	E	۳۰۲۱۸۲۱۵	۱۶۹۰	۰/۰۲۱
	S	۲۹۵۸۲۹۸۷	۲۵۷۵	۰/۰۴۳
	W	۲۰۳۲۳۶۲۸	۳۱۸۰	۰/۰۵۸
عامل	کلاس	مساحت طبقات (m2)	مساحت لغزش (m2)	وزن نهایی
	F	۱۶۲۳۲۲۰	۰	۰/۰۰۱
ارتفاع	۱۲۰۰-۱۵۰۰	۲۸۰۸۷۴۷	۰	۰/۰۰۰۲
	۱۵۰۰-۱۸۰۰	۱۵۶۷۲۵۹۰	۲۸۳۰	۰/۱۰۴
	۱۸۰۰-۲۱۰۰	۳۰۲۷۳۷۶۷	۴۲۸۵	۰/۰۸۱
	۲۱۰۰-۲۴۰۰	۳۰۵۸۴۶۶۷	۲۲۰۰	۰/۰۴۱
	۲۴۰۰-۲۷۰۰	۲۰۸۹۲۲۸۱	۷۸۵	۰/۰۲۱
	۲۷۰۰-۳۰۰۰	۱۲۵۵۵۲۱۰	۳۸	۰/۰۰۲
	>۳۰۰۰	۱۶۳۱۳۶۶	۰	۰/۰۰۰۳

A: سنگ‌های آذر آواری شامل توف‌های سبز، توف‌های شیشه‌ای و خاکستر توف، B : آهک‌های مارنی و مطبق، آهک دولومیتی نازک‌لایه خاکستری و به‌ندرت قرمز و زرد؛ C : سنگ‌های آواری به رنگ قهوه‌ای زیتونی از نوع ماسه سنگ و شیل‌های سیلتی و رسی؛ D : سنگ‌های آهکی دانه‌ریز و متراکم به رنگ روشن؛ E : سازند ماسه‌سنگی با ضخاکت کم؛ F : متشکل از کنگلومرای پلی‌ژنیک، ماسه‌سنگ قرمز و مارن ماسه‌ای و سنگ‌های آهکی نولومیت‌دار؛ G : سنگ‌های آذرین کواترنر؛ H : پادگانه‌های آبرفتی؛ I : واریزه‌ها.

در بین سازندهای زمین‌شناسی، سازند شمشک (متشکل از ماسه‌سنگ، سیلتستون، شیل و رس‌سنگ) و پادگانه‌های آبرفتی بیش‌ترین حساسیت به وقوع زمین‌لغزش را دارند. علت اصلی حساس‌بودن سازند شمشک به وقوع زمین‌لغزش به دلیل ماهیت سنگ‌های تشکیل‌دهنده این سازند است که بسیار حساس بوده و با جذب آب حالت ارتجاعی یافته و باعث سر خوردن لایه‌های بالایی به صورت پدیده زمین‌لغزش می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین میزان لغزش در طبقه‌های شیب ۳۰-۱۵ و ۵۰-۳۰ درصد رخ داده است. در شیب‌های کم به طور

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

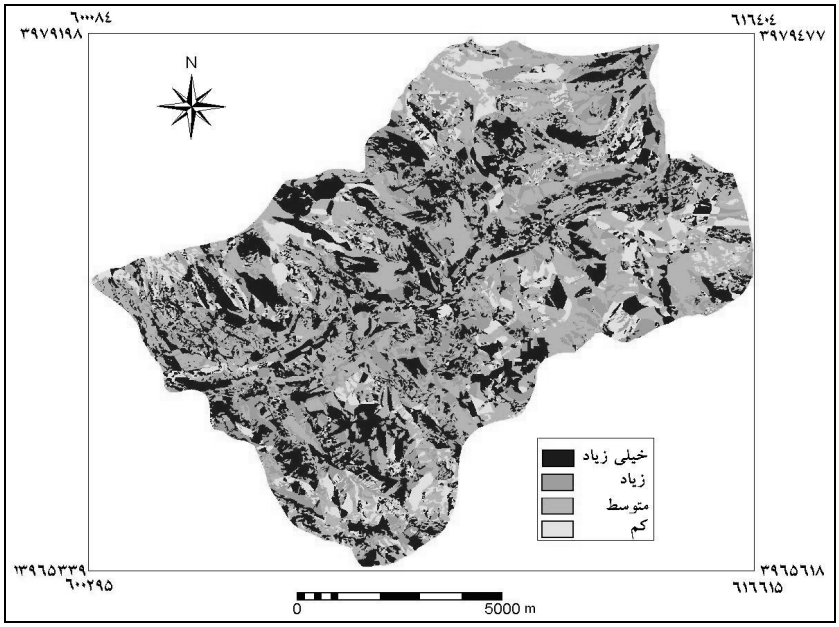
معمول نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای بیش‌تر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است. در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک در حدی تجمع پیدا نم‌کند که منجر به وقوع زمین‌لغزش شود، در نتیجه در شیب‌های متوسط (۱۵-۳۰) بیش‌ترین میزان زمین‌لغزش مشاهده شده است. در اطراف جاده‌ها و آبراهه‌ها میزان لغزش‌ها خیلی زیاد است و هر چه از جاده‌ها فاصله می‌گیریم، از میزان لغزش‌ها کاسته می‌شود؛ به طوری که تا فاصله ۵۰۰ متری از جاده و ٤۰۰ متری از آبراهه‌ها بیش‌ترین میزان لغزش مشاهده می‌شود. بررسی ارتباط کاربری اراضی و زمین‌لغزش نشان داد که بیشتر لغزش‌های منطقه در کاربری مسکونی و ترکیب باغ-کشاورزی رخ داده است.

در تحلیل این نتایج لازم به ذکر است که دخالت‌های بیش از حد در طبیعت، افزایش بار اضافی بر دامنه، آبیاری غرقابی و نفوذ بیش از حد آب در کاربری کشاورزی می‌تواند دلیل ناپایداری دامنه و افزایش زمین‌لغزش در این کاربری‌ها باشد. بررسی طبقات ارتفاع نیز نشان داد که طبقات ۱۵۰۰-۱۸۰۰ و ۱۸۰۰-۲۱۰۰ متر بیش‌ترین حساسیت را نسبت به زمین‌لغزش دارند. مطالعات مربوط به جهت نشان داد که شیب‌های غربی بیش‌ترین میزان زمین‌لغزش را دارند. در منطقه مورد مطالعه برای بادهای باران‌آور غربی تا شمال غربی است که باعث می‌شود تا بیش‌ترین رطوبت در جهت غربی دامنه‌ها دریافت شود. به این ترتیب، حضور رطوبت باعث افزایش پدیده خاکزایی و ضخامت خاک و درنتیجه افزایش زمین‌لغزش را در این جهت‌ها به دنبال دارد. بعد از ضرب وزن عامل‌ها در طبقه‌های هر عامل، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش به دست آمد (شکل ۵). نتایج ارزیابی مدل نیز نشان داد که این مدل دقت خوبی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه دارد (جدول ۳). زمانی مدل دقت بالایی دارد که عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش به درستی اولویت‌بندی شوند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد این امر در منطقه مورد مطالعه روی داده است.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

جدول ۳ نتایج ارزیابی نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP

طبقه‌های خطر	% Area	% Landslide	DR	QS
خیلی زیاد	۳۰/۵	۳۹/۶۱۸	۱/۲۹۹	۰/۰۲۷
زیاد	۱۸/۶۶	۳/۸۱۹	۰/۲۰۵	۰/۱۱۸
متوسط	۳۸/۴۱	۴۳/۱۹۸	۱/۱۲۵	۰/۰۰۶
کم	۱۲/۴۳	۱۳/۳۶۵	۱/۰۷۵	۰/۰۰۰۷
جمع کل				۰/۱۵۱۷



شکل ۵ نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل AHP

۴- منابع

-احمدی ح.، محمدخان ش.، فیض‌نیا، س.، قدوسی ج.؛ ساخت مدل منطقه‌ای خطر حرکت‌های توده‌ای با استفاده از ویژگی‌های کیفی و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP)؛ مطالعه موردی حوزه آبخیز طالقان، *مجله منابع طبیعی ایران*، ۵۸، صص۱٤-۳،۱۳۸٤.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

- پورقاسمی ح. ر.؛. ارزیابی خطر لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی؛ بخشی از حوزه آبخیز هراز)؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت‌مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۹۲ ص،۱۳۸٦.
- شادفر ص.، یمانی م.، نمکی، م.؛ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه چالکرود؛ *مجله آب و آبخیز*، ۳، صص ٦۲-٦۸، ۱۳۸٤.
- قدسی‌پور س. ح.؛. مباحثی در تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چ. ٤، ۲۲۰ ص، ۱۳۸٤.
- کرم ع.؛ مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سرخون- استان چهارمحال و بختیاری)؛ رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۳٥٤ ص، ۱۳۸۰.
- محمدی م.؛ تحلیل خطر حرکات توده‌ای و ارائه مدل منطقه‌ای مناسب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)؛ پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۷۹ص، ۱۳۸٦.
- Ayalew L., Yamagishi H.; The application of GIS based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda–Yahiko Mountains ; Central Japan, *Geomorphology*, 65, pp:15-31, 2005.
- Gee M. D., Classification of landslide hazard zonation methods and a test of predictive capability; Landslides, Bell (ed.), 1991 Balkema, and Rotterdam, pp: 947- 952, 1991.
- Komac M., A.; landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Sloveni. Geomorphology 74, 17-28, 2006.
- Remendo J. A., Gonzales J., Teran A., Cendrero A., Fabbri Chung C.;Validation of landslide susceptibility maps, examples and applications from a case study in northern Spain; Natural Hazard, pp: 437-449, 2003.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]

– Saaty T. L.; The analytical hierarchy process; McGraw Hill, New York, 350 pp, 1980.
– Yalcin A.; GIS based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations; Catena, pp: 72, 1-12, 2008.

[Downloaded from hsmsp.modares.ac.ir on 2024-04-29]