

تحلیل و برآورد خطر زمین لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از جاده هراز

حمیدرضا مرادی^{۱*}، مجید محمدی^۲، حمیدرضا پورقاسمی^۳، سادات فیض‌نیا^۴

- ۱- استادیار هیدرواقليم دانشكده منابع طبيعي و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران
- ۲- دانش‌آموخته دانشكده منابع طبيعي و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران
- ۳- استاد زمین‌شناسی دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، تهران، ایران
- ۴- کارشناس ارشد دانشكده منابع طبيعي و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران

دریافت: ۸۷/۹/۳ پذیرش: ۸۸/۶/۳۱

چکیده

زمین لغزش 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 زمین لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط GIS، در بخشی از حوزه آبخیز هراز است. به منظور تهیه نقشه خطر زمین لغزش نخست با مطالعات میدانی، نقشه پراکنش زمین لغزش حوزه و سپس نقشه عوامل مؤثر بر زمین لغزش 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 زمین لغزش 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 به ترتیب بیش‌ترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش منطقه داشته‌اند، در حالی که دو عامل گسل و بارش کم‌ترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش منطقه به خود اختصاص دادند.

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



۱- مقدمه

حرکات توده‌ای^۱ و به‌ویژه زمین‌لغزش^۲ 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، ۱۳۸۴: ۶۴). 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، ۱۳۸۶: 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، ۱۳۸۴: ۱۲؛ پورقاسمی، ۱۳۸۶: ۷۶؛ کرم، ۱۳۸۰: ۲۵۸؛ محمدی، ۱۳۸۶: ۵۷؛ آیلو و یاماگیشی، ۲۰۰۵: ۲۶؛ کوماک، ۲۰۰۶: ۲۲؛ یلسین، ۲۰۰۸: ۹).

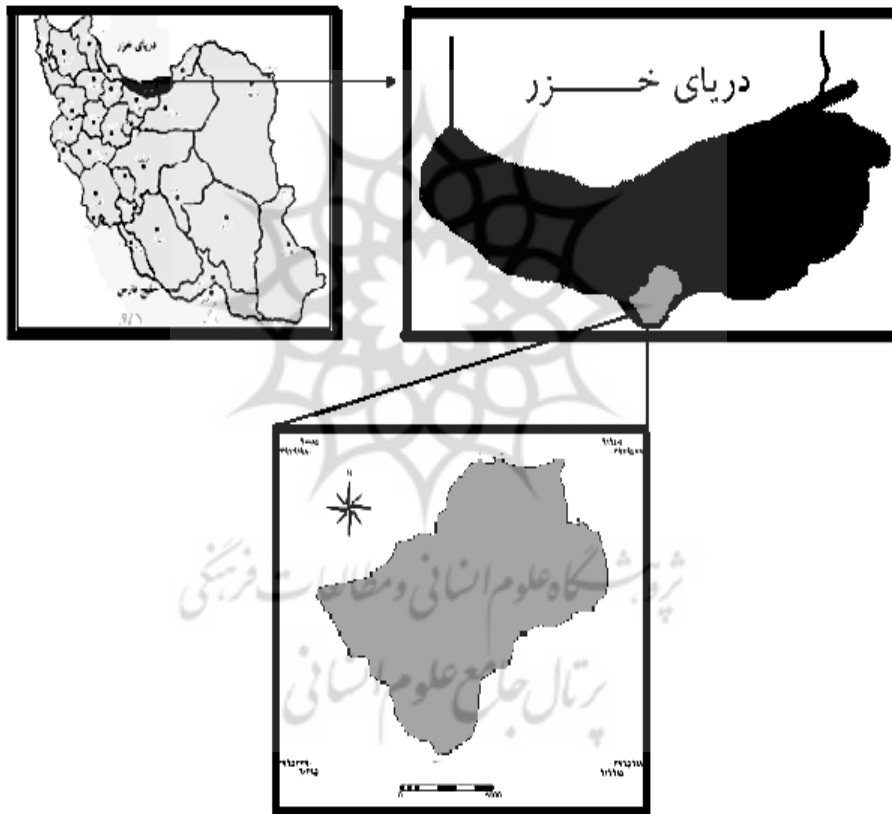
هدف از تحقیق حاضر، استفاده از نظرات کارشناسی در اولویت‌بندی عامل‌های مؤثر بر زمین‌لغزش و در نهایت تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در محیط GIS با استفاده از فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی^۳ در بخشی از حوزه آبخیز هراز است.

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

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- موقعیت منطقه

برای انجام این تحقیق بخشی از مسیر جاده هراز بین شهرهای آمل و تهران به مساحت ۱۱۴ کیلومتر مربع انتخاب شد. این منطقه بین طول جغرافیایی $52^{\circ}06'38''$ تا $52^{\circ}17'24''$ شرقی و عرض $35^{\circ}49'39''$ تا $35^{\circ}07'11''$ شمالی قرار دارد. ارتفاع حداقل و حداکثر در منطقه به ترتیب ۱۲۰۰ و ۳۲۹۰ متر است (شکل ۱).



شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعه‌شده

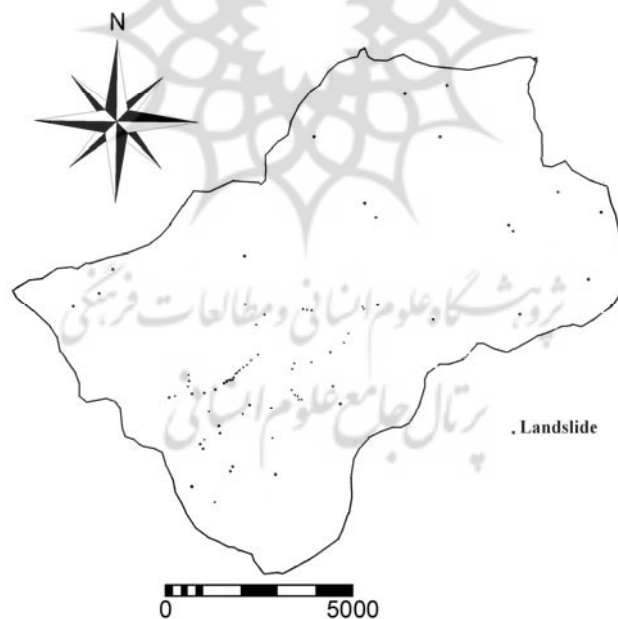


۲-۲- روش تحقیق

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

۲-۲-۱- تهیه نقشه پراکنش و جدول توصیفی زمین لغزش ها

اولین مرحله در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین لغزش های 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 لغزش ها مانند شیب، جهت و غیره از روی نقشه های مربوط به آن استخراج و جدول توصیفی زمین لغزش ها تهیه شد. در منطقه مطالعه شده، ۷۸ لغزش ثبت شد (شکل ۲) که ۵۵ لغزش برای پهنه بندی و ۲۳ لغزش برای ارزیابی استفاده گردید. سپس این نقاط به نرم افزار ILWIS منتقل و نقشه پراکنش زمین لغزش های منطقه تهیه شد (پورقاسمی، ۱۳۸۶: ۵۶؛ محمدی، ۱۳۸۶: ۳۷).



شکل ۲ نقشه پراکنش زمین لغزش ها در منطقه مطالعه شده (مقیاس بر حسب متر)

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 میانمایی 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 هر یک 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، ۱۳۸۴: ۵۳؛ رمندو و همکاران، ۲۰۰۳: ۴۴۱).

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

A: مساحت لغزش در هر طبقه

B: مساحت هر طبقه

C: مساحت کل لغزش‌ها

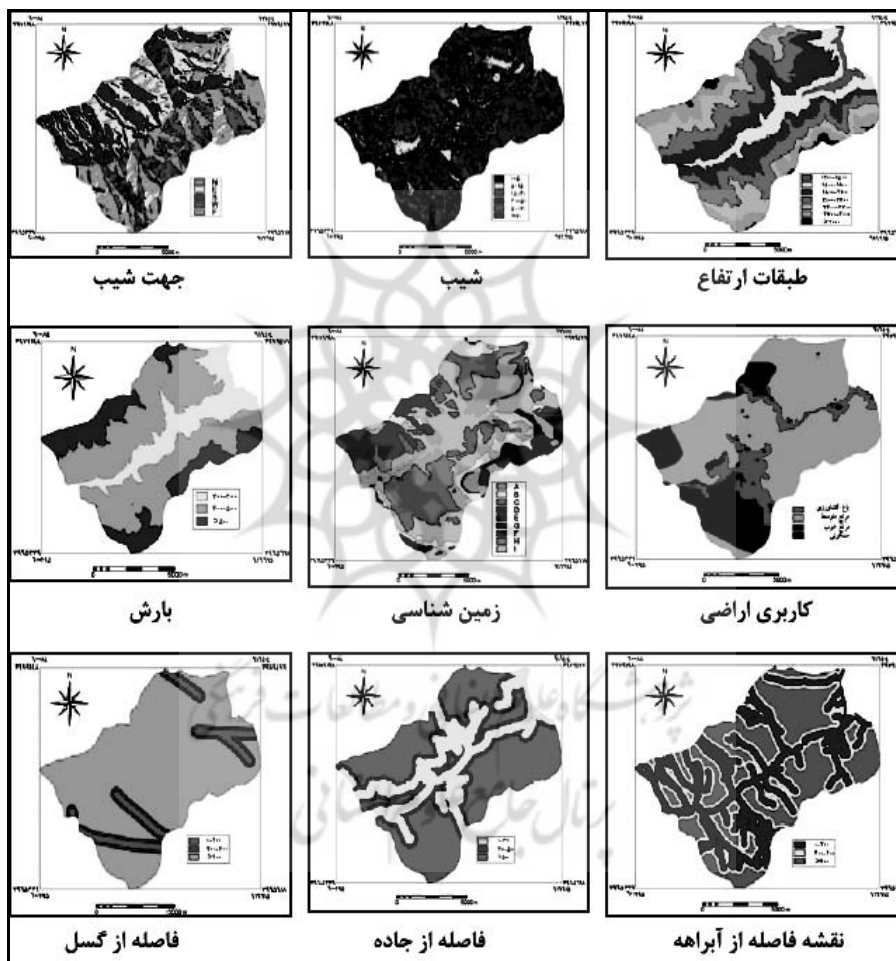
D: مساحت کل منطقه.

که در آن

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

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

۲-۵-۲- 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 نرم‌افزار Expert 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، ۱۳۸۴: ۱۸۴). 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.

۲-۶-۲- 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، ۱۳۸۴: ۶۱). در نهایت این نقشه به چهار کلاس خطر تقسیم شد.



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

مقدار عددی	ترجیحات
۹	کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر
۷	اهمیت خیلی قوی
۵	اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مطلوب‌تر یا کمی مهم‌تر
۱	اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۸، ۶، ۴، ۲	اولویت بین فواصل

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: ۴۴۳). 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: ۹۴۹).

$$QS = \sum_{i=1}^n (Dr - 1)^2 * S \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن n : تعداد رده‌های خطر

S : مساحت رده خطر به درصد در منطقه است.

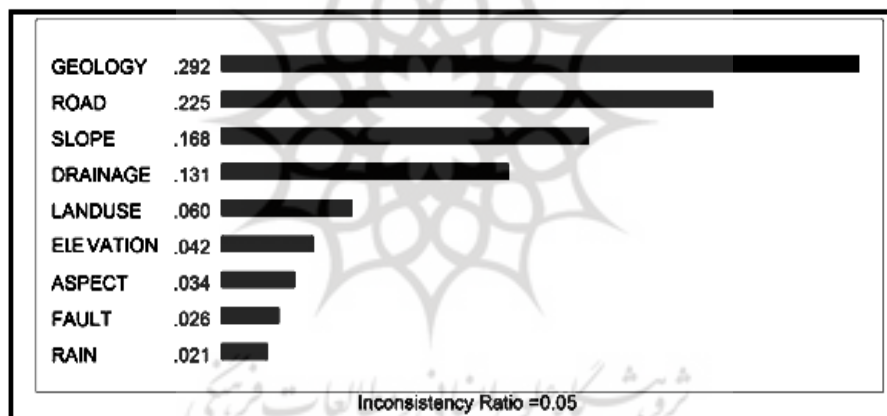
۳- نتیجه گیری

برای اولویت بندی عوامل، فرم های وزن دهی برای کارشناسان مختلف فرستاده شد. در نهایت مقایسات زوجی به صورت میانگین هندسی تلفیق شده و جدول نهایی به نرم افزار ExpertChoice وارد و عامل ها اولویت بندی شد (شکل ۴).

Compare the relative PREFERENCE with respect to: GOAL

	ROAD	SLOPE	DRAINAGE	LANDUSE	ELVATION	ASPECT	FAULT	RAIN
GEOLOGY	2.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	7.0	8.0
ROAD		2.0	3.0	5.0	6.0	5.0	6.0	7.0
SLOPE			3.0	4.0	5.0	4.0	5.0	6.0
DRAINAGE				4.0	5.0	5.0	6.0	6.0
LANDUSE					2.0	3.0	3.0	4.0
ELVATION						2.0	3.0	2.0
ASPECT							2.0	2.0
FAULT								2.0

Row element is ___ times more than column element unless enclosed in ()



شکل ۴ اولویت بندی عامل های مؤثر در نرم افزار Expert Choice

همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود، سه عامل زمین شناسی، فاصله از جاده و شیب به ترتیب، مهم ترین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین لغزش منطقه محسوب می شوند؛ در حالی که دو عامل گسل و بارش کم ترین 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



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

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

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 (m ²)	مساحت لغزش (m ²)	وزن نهایی
ارتفاع	F	۱۶۲۳۲۲۰	۰	۰/۰۰۱
	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 ضخامت کم؛ F: متشکل از کنگلومرای پلی‌ژنیک، ماسه‌سنگ قرمز و مارن ماسه‌ای و سنگ‌های آهکی نولومیت‌دار؛ G: سنگ‌های آذرین کواترنز؛ 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 ۱۵-۳۰ و ۳۰-۵۰ درصد رخ داده است. در شیب‌های کم به طور

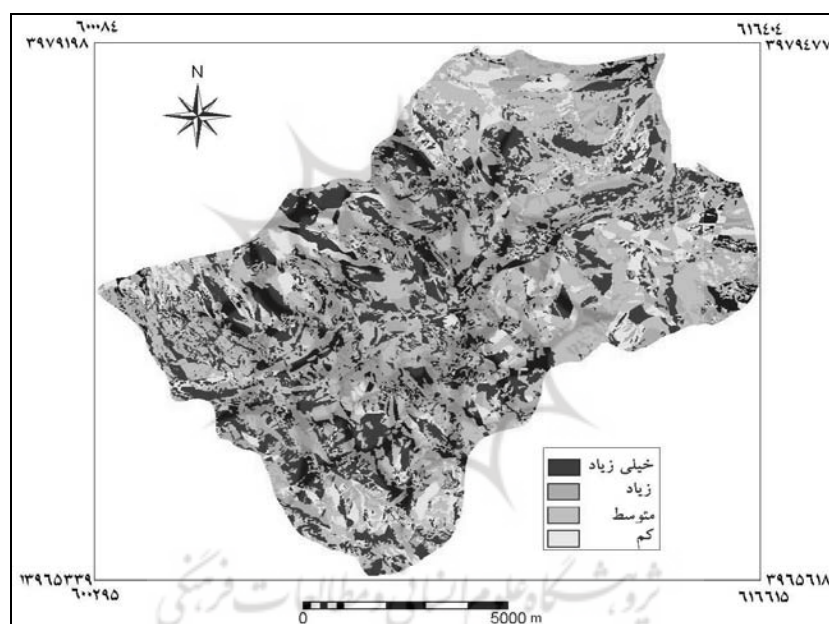


معمول نیروهای مقاوم مانند اصطکاک خاک و دیگر مواد دامنه‌ای بیش‌تر از نیروهای محرک مانند نیروی ثقل است. در شیب‌های خیلی زیاد نیز خاک در حدی تجمع پیدا نم‌کند که منجر به وقوع زمین‌لغزش شود، در نتیجه در شیب‌های متوسط (۱۵-۳۰) بیش‌ترین میزان زمین‌لغزش مشاهده شده است. در اطراف جاده‌ها و آبراهه‌ها میزان لغزش‌ها 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 ۴۰۰ 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 در نتیجه 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.

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

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



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، صص ۱۴-۳، ۱۳۸۴.



- پورقاسمی ح. ر.؛ ارزیابی خطر لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی؛ بخشی از حوزه آبخیز هراز)؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۹۲ ص، ۱۳۸۶.
- شادفر ص.، یمانی م.، نمکی، م.؛ پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه چالکروود؛ مجله آب و آبخیز، ۳، صص ۶۲-۶۸، ۱۳۸۴.
- قدسی پور س. ح.؛ مباحثی در تصمیم گیری چندمعیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ج. ۴، ۲۲۰ ص، ۱۳۸۴.
- کرم ع.؛ مدل سازی کمی و پهنه بندی خطر زمین لغزش در زاگرس چین خورده (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سرخون- استان چهارمحال و بختیاری)؛ رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۵۴ ص، ۱۳۸۰.
- محمدی م.؛ تحلیل خطر حرکات توده ای و ارائه مدل منطقه ای مناسب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)؛ پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۷۹ ص، ۱۳۸۶.
- 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.

- 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.

