

## پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه آبخیز زهره



مریم ایلانلو\*

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ماهشهر، ماهشهر، ایران

لیلا ابراهیمی (Leilaebrahimi@gmail.com)

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران

( تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۱۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۰/۱۴ )

### چکیده

ایران به دلیل ویژگی‌های طبیعی و مورفولوژی خود در معرض بسیاری از مخاطرات طبیعی قرار گرفته است. حرکات توده‌ای و ناپایداری دامنه‌ای، مخاطرات مهمی برای فعالیت‌های انسانی‌اند که اغلب سبب از دست رفتن منابع اقتصادی و خسارت دیدن اموال و تأسیسات می‌شوند. این مسائل لزوم پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای را به‌عنوان اولین مرحله مدیریت صحیح محیطی این پدیده روشن می‌کند. هدف این پژوهش، پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای در حوضه آبخیز زهره در استان فارس است. به این منظور ابتدا لایه‌های اطلاعاتی ۱۰ عامل مهم تأثیرگذار در وقوع حرکات توده‌ای از قبیل سنگ‌شناسی، شیب، ارتفاع، نوع استفاده فعلی از زمین، بارش، درجه حرارت، جهت شیب، فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه تهیه و رقومی شدند. سپس با استفاده از تفسیر عکس‌های هوایی و عملیات میدانی، کلیه لغزش‌های موجود در حوضه، شناسایی و به‌صورت نقشه ارائه شدند. از تلفیق متغیرهای مستقل و وابسته، مقدار حرکات توده‌ای در هر کلاس عامل محاسبه شد و وزن‌دهی طبقات براساس روابط موجود در مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF صورت گرفت. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای با ادغام لایه‌های مختلف وزنی در مدل‌های مختلف حاصل شد. شاخص حرکات توده‌ای در روش ارزش اطلاعاتی در رده خلی خطرناک و خطرناک به‌ترتیب ۹۷/۰ و ۱/۶، در روش LNRF (روش گوپتا و جوشی) به‌ترتیب ۳۳/۴ و ۲۷/۴، و در روش تراکم سطح ۷۷/۶ و ۹/۷ به‌دست آمد که بیانگر کارایی مطلوب روش ارزش اطلاعاتی نسبت به روش‌های LNRF و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر وقوع حرکات توده‌ای در منطقه تحقیق است.

**واژه‌های کلیدی:** پهنه‌بندی، حرکات توده‌ای، مدل ارزش اطلاعاتی، مدل تراکم سطح و مدل LNRF، حوضه آبخیز زهره.

### بیان مسئله

مخاطرات ژئومورفولوژیکی خروجی‌هایی هستند از عدم تعادل سیستم‌های ژئومورفولوژیکی؛ سیستم‌های ژئومورفولوژیکی در محدوده کوهستان از جمله منطقه تحقیق به تعادل نرسیده‌اند، زیرا جوان‌اند و هنوز ارتباط بین فرم‌ها و فرایندها را برقرار نکرده‌اند؛ جاده‌هایی که از مناطق کوهستانی عبور می‌کنند سبب بی‌تعادلی سیستم‌های ژئومورفولوژیکی کوهستان می‌شوند، زیرا جاده بخشی از دامنه را برش می‌زند و سبب می‌شود فرایندهایی که در حال تعادل با دامنه بودند، وقتی برش خوردند حالت بی‌تعادلی بگیرند و به شکل دیگری عمل کنند که سبب تشدید شیب رفته‌ها می‌شوند. سیستم‌های تعادل براساس بازخورد مثبت و منفی عمل می‌کنند و وقتی این ارتباط به هم می‌خورد سیستم از حالت تعادل خارج شده و ناپایداری و عدم تعادل ایجاد می‌شود، زیرا بازخورد منفی از بین می‌رود و بازخورد منفی ایجاد خواهد شد که آثار آن به صورت انواع حرکت توده‌ای (لنداسلایدها) نظیر لغزش، ریزش و ... خواهد بود و خروجی کار ما با توجه به مطالعاتی که در جاده انجام دهیم مشخص می‌کند که پراکندگی مکانی این پدیده‌ها و مخاطرات ژئومورفولوژیکی آن کجاست [۳].

حرکات توده‌ای، از جمله پدیده‌های مورفودینامیک‌اند که تحت تأثیر عوامل مختلفی در سطح دامنه‌های مناطق کوهستانی به وقوع می‌پیوندند و مهم‌ترین آنها زمین‌لغزش در اشکال مختلف است [۱۳]. امروزه لزوم برنامه‌ریزی مطلوب در زمینه استفاده از زمین و منابع طبیعی یکی از مسائل مهم جوامع بشری است و توجه دانشمندان بسیاری را به خود جلب کرده است. بدون شک شناخت اجزای تشکیل‌دهنده چشم‌انداز طبیعی و فرایندهای تغییردهنده، قابلیت‌ها، محدودیت‌ها و تأثیر آن بر استفاده مطلوب از زمین، همچنین تأثیرپذیری متقابل آن از نوع کاربری اراضی اهمیت زیادی در برنامه‌ریزی مناسب خواهد داشت [۲].

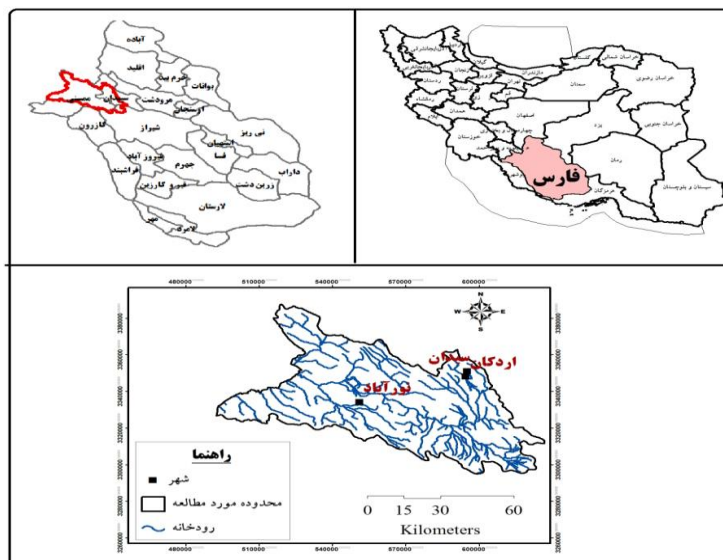
تاکنون روش‌ها و مدل‌های متعددی برای پهنه‌بندی حرکات توده‌ای پیشنهاد شده است. روش‌های تعیینی که در واقع از روش‌های غیرمستقیم تحلیل خطرند، زمانی کاربرد دارند که شرایط زمین‌شناسی و ژئومورفیک به نسبت همگنی در کل منطقه برقرار بوده و زمین‌لغزش‌ها ساده و کم‌تنوع باشند. از معایب این روش، ساده‌سازی زیاد آن است. در تحلیل آماری ویژگی‌های رخ داده زمین‌لغزش در منطقه برای پیش‌بینی کمی خطر آن استفاده می‌شود [۴]. پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای، سطح زمین را به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل یا بالقوه خطر از هیچ تا بسیار زیاد تقسیم می‌کند [۶].

با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و اقلیمی منطقه و دقت زیاد روش‌های آماری و اینکه با روش‌های تجربی و تعیینی ممکن است به جواب‌های قابل قبولی دست پیدا نشود (زیرا هر یک

از روش‌های تجربی برای منطقه خاصی ابداع شده‌اند)، سعی شد در این تحقیق از روش‌های آماری ارزش اطلاعاتی<sup>۱</sup>، تراکم سطح<sup>۲</sup> و LNRF استفاده شود. در حوضه مورد مطالعه (زهره) وجود پارامترهای لازم و مؤثر برای وقوع حرکات توده‌ای سبب افزایش خطر حرکات توده‌ای در سطح حوضه شده است که عاملی منفی برای کاربری‌های طبیعی و انسانی موجود در منطقه تلقی می‌شود. در این حوضه، پدیده حرکات توده‌ای یکی از مهم‌ترین مخاطرات ژئومورفولوژیکی است و اراضی شیبدار آن با احتمال زیاد این مخاطره مواجه‌اند. پهنه‌بندی صحیح و اصولی خطر حرکات توده‌ای و عوامل مؤثر در آن می‌تواند در تصمیم‌گیری برای مهار و کاهش خسارات ناشی از آن مفید و مؤثر باشد.

### موقعیت منطقه تحقیق

حوضه آبخیز زهره در شمال غرب استان فارس واقع شده است. رودخانه زهره از کوه کنه دوده در فاصله ۱۴ کیلومتری شمال غربی اردکان سرچشمه گرفته و به نام رودخانه اردکان به طرف جنوب سرازیر می‌شود و از کنار شهر اردکان یا سپیدان می‌گذرد و به هندیجان وارد می‌شود. مساحت این حوضه در استان فارس ۵۴۵۰۱۴ هکتار است. رودخانه زهره با طول تقریبی حدود ۲۷۵ کیلومتر در سه استان فارس، کهگیلویه و بویراحمد، و خوزستان جریان دارد.



شکل ۱. موقعیت منطقه تحقیق

1. Information Value
2. Statistical

### روش پژوهش

در این پژوهش با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده و تصاویر هوایی و ماهواره‌ای، مناطق لغزشی شناسایی شد و لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر در لغزش تهیه شدند. با بررسی‌های صورت‌گرفته مهم‌ترین معیارها و زیرمعیارهای مؤثر بر تشکیل حرکات توده‌ای در منطقه تحقیق شامل زمین‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، شیب، فاصله از جاده، جهت شیب، ارتفاع و درجه حرارت شناسایی شد. سپس با امتیازدهی به عوامل مؤثر، پهنه‌بندی خطر حرکات توده‌ای صورت گرفت. بدین گونه که پس از تعیین محدوده منطقه، نقشه طبقات ارتفاعی (هیپسومتری)، شیب، جهت شیب و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ تهیه و در فضای GIS وارد شد. برای تجزیه و تحلیل آماری، از سه روش ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در نرم‌افزارهای Arc/map10.2 و Spss استفاده شد. به منظور ارزیابی صحت و مقایسه تطبیقی، نقشه پهنه‌بندی استخراج شده با نقشه پراکنش حرکات توده‌ای حوضه مقایسه شده و نتایج تحلیل و بررسی شد.

### نتایج

برای تعیین عوامل مؤثر در وقوع حرکات توده‌ای هر یک از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته (پراکنش حرکات توده‌ای) در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی تلفیق شد. در ادامه تأثیر هر یک از عوامل تجزیه و تحلیل شد.

نقشه پراکنش حرکات توده‌ای از عکس هوایی منطقه تهیه شد که بر این اساس هفتاد حرکت در منطقه شناسایی شد. بعد از تهیه لایه‌های عوامل مختلف مؤثر بر وقوع حرکات توده‌ای منطقه تحقیق، این لایه‌ها طبقه‌بندی شد. سپس با سه روش ذکر شده نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شد.

### پهنه‌بندی حرکات توده‌ای حوضه به روش LNRF

این مدل در قالب طرحی با عنوان کاربرد نرم‌افزار GIS در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزه در دانشگاه رورکی هند توسط دو استاد گروه زمین‌شناسی این دانشگاه گوپتا و جوشی (۱۳۳۱) به اجرا درآمده است. در این روش از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تشخیص احتمال وقوع زمین‌لغزه در حوضه آبریز رامجانگا که در کوهپایه رشته‌کوه هیمالیا واقع شده، استفاده شده است. تعداد انتخاب عوامل در این روش اختیاری است. در این روش با استفاده از سطح لغزش‌های رخ داده در یک واحد بر میانگین لغزش‌های رخ داده در کل واحدها اقدام به تهیه



### پهنه‌بندی حرکات توده‌ای حوضه به‌روش ارزش اطلاعاتی

یک روش آماری برای پیش‌بینی فضایی یک رویداد براساس رابطه پارامتر و رویداد است [۷]. این روش توسط یان وین (۱۹۸۸) ارائه شد. در این روش، رخداد رانش زمین، متغیر وابسته؛ و عوامل ذاتی و محیطی متغیرهای مستقل تلقی می‌شوند و میزان اثر هر یک از عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، مستقل از دیگر ارزیابی می‌شود. تحلیل نهایی پتانسیل ناپایداری برای هر واحد از منطقه، براساس مجموع اثر کلیه عوامل در آن واحد انجام می‌گیرد. سپس وزن‌های واقعی هر رده از لایه‌های اطلاعاتی و ارزش اطلاعاتی هر واحد، به‌واسطه جمع اطلاعاتی محاسبه می‌شود [۱۲]. با این مدل می‌توان متغیرهای کیفی را کمی کرد و با تغییر متغیر یعنی گرفتن لگاریتم طبیعی LN وزن متغیرهای دارای وزن بسیار کم را نیز می‌توان محاسبه کرد. [۱۵]. در روش بالا، نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل مؤثر از رابطه ۲ دست می‌آید.

$$W_{inf} = \text{Ln} \left[ \frac{(A/B)}{(C/D)} \right] \quad (۲)$$

که در آن LN لگاریتم طبیعی، A مساحت حرکات توده‌ای هر واحد، B مساحت هر طبقه، C مساحت کل حرکات توده‌ای، D مساحت کل حوضه به هکتار و  $W_{inf}$  وزن ارزش اطلاعاتی است [۱۱].

سپس با توجه به نرخ‌های به‌دست‌آمده برای کلاس‌های عوامل مختلف، نقشه نهایی پهنه‌بندی حرکات توده‌ای به‌دست می‌آید. برای این کار ابتدا لایه‌ها با توجه به نرخ‌های به‌دست‌آمده تهیه می‌شود و سپس با روی هم‌گذاری و جمع کردن ارزش پیکسل‌ها برای عوامل مختلف نقشه نهایی به‌دست می‌آید.

در روش ارزش مطالعاتی نرخ مربوط به هر طبقه از عوامل از رابطه ۲ به‌دست می‌آید. نتایج مربوط به نرخ طبقه‌های عوامل مختلف در جدول ۳ بیان شده است

### پهنه‌بندی حرکات توده‌ای حوضه به‌روش تراکم سطح

این مدل توسط فان وستن در سال ۱۹۹۳ ارائه شد [۱۰]. در این مرحله نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها با هر یک از نقشه‌های پایه تلفیق می‌شود و براساس روابط ۳ و ۴ وزن هر طبقه به‌دست می‌آید.

$$W_{area} = D_{area} - 100 \times \frac{C}{D} \quad (۳)$$

$$D_{area} = 100 \times \frac{A}{B} \quad (۴)$$



**ارزیابی روش های مختلف پهنه بندی:** برای ارزیابی و طبقه بندی نقشه های خطر حرکات توده ای از شاخص حرکات توده ای استفاده شد. شاخص حرکات توده ای برای ارزیابی کارایی سه روش پهنه بندی استفاده می شود که به صورت رابطه ۵ به دست می آید.

$$Li = ((Si / Ai) / (\sum \ln (Si / Ai))) * 100 \quad (5)$$

در این رابطه، شاخص حرکات توده ای عبارت است از درصد نسبت سطح حرکات توده ای در هر پهنه به مساحت آن پهنه تقسیم بر نسبت مجموع حرکات توده ای به سطح کل پهنه ها. در این رابطه  $Li$  عبارت است از شاخص خطر وقوع حرکات توده ای در هر پهنه خطر به درصد؛  $Si$  مساحت حرکات توده ای در هر پهنه خطر؛  $Ai$  مساحت هر پهنه خطر؛ و  $N$  تعداد رده های خطر [۵].

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می شود شاخص حرکات توده ای در روش ارزش اطلاعاتی در رده خیلی خطرناک و خطرناک به ترتیب ۹۷/۰ و ۱/۶، در روش LNRFF (روش گوپتا و جوشی) به ترتیب ۳۳/۴ و ۲۷/۴، و در روش تراکم سطح ۷۷/۶ و ۹/۷ است که بیانگر کارایی زیاد روش ارزش اطلاعاتی نسبت به روش های LNRFF و تراکم سطح در پهنه بندی خطر وقوع حرکات توده ای در منطقه تحقیق است.

بر اساس شاخص حرکات توده ای، در روش ارزش اطلاعاتی بیش از ۹۸ درصد، در روش LNRFF حدود ۶۰ درصد و در روش تراکم سطح ۸۷ درصد حرکات توده ای در طبقه های پرخطر و خیلی پرخطر اتفاق افتاده اند. بنابراین، روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ داشتن سازگاری بیشتر حرکات توده ای با پهنه های پرخطر و همچنین توانایی در تفکیک طبقه های خطر، کارایی بهتری نسبت به دو روش دیگر به خصوص روش LNRFF دارد. از طرفی بر اساس این شاخص، نقشه های حاصل از هر سه مدل ارائه شده دارای دقت مناسب اند، زیرا شاخص حرکات توده ای نشان می دهد که در هر سه مدل بیش از ۶۰ درصد حرکات توده ای رخ داده در منطقه، در محدوده دو طبقه خطرناک و خیلی خطرناک قرار گرفته اند. همچنین در هر سه روش چون مساحت حرکات توده ای حوضه مبنای کار قرار می گیرند، امکان بررسی بهتری از وضعیت پهنه بندی را در حوضه نشان می دهند و نقشه های تهیه شده با شرایط محلی مطابقت بیشتری خواهد داشت.



جدول ۵. مقایسه اطلاعات حاصل از تقاطع هریک از نقشه‌های روش‌های پهنه‌بندی با نقشه پراکنش حرکات توده‌ای

روش پهنه‌بندی خطر	پهنه خطر	مساحت (هکتار)	لغزش (هکتار)	Si/Ai	$\sum_1^N \left( \frac{Si}{Ai} \right)$	Li
LNRF	خیلی خطرناک	۴/۴۲۴۲۲	۱۹۳۱/۱	۰/۰۴۵	۰/۱۳۴۶	۳۳/۴
	خطرناک	۷۹۹۸۳/۸	۳۰۲۵/۸	۰/۰۳۷		۲۷/۴
	متوسط	۱۶۰۴۹۲/۳	۳۶۳۱/۷	۰/۰۴۵		۳۳/۴
	کم خطر	۱۴۵۰۳۸/۱	۱۱۰۳/۴	۰/۰۰۶۸		۰/۹۱
	بی خطر	۸۹۱۱۹/۸	۷۱/۴	۰/۰۰۰۸		۰/۵۹
ارزش اطلاعاتی	خیلی خطرناک	۱۱۱۱۵/۸	۶۶۳۷/۶	۰/۵۹	۰/۶۰۸۰۳	۹۷/۰
	خطرناک	۱۱۰۴۴۵/۴	۱۹۴۰/۸	۰/۰۱		۱/۶
	متوسط	۱۳۹۳۴۰/۲	۱۰۵۶/۱	۰/۰۰۷		۱/۱
	کم خطر	۹۳۲۸۶/۱	۱۲۷/۰۰	۰/۰۰۱		۰/۱
	بی خطر	۵۵۸۱۹/۰	۱/۸	۰/۰۰۰۰۳		۰/۰۰۴
تراکم سطح	خیلی خطرناک	۶۱۰۵۱/۴	۵۴۶۸/۱	۰/۰۸	۰/۱۰۳۰۴	۷۷/۶
	خطرناک	۱۳۴۰۵۶/۸	۲۴۶۹/۲	۰/۰۱		۹/۷
	متوسط	۱۴۳۰۷۳/۷	۱۴۳۲/۹	۰/۰۱۰		۹/۷
	کم خطر	۱۱۷۰۶۷/۶	۳۹۰/۶	۰/۰۰۳		۲/۹
	بی خطر	۶۱۷۸۷/۴	۲/۶	۰/۰۰۰۰۴		۰/۰۳

### بحث و نتیجه‌گیری

در منطقه تحقیق احتمال وقوع حرکات توده‌ای بسیار زیاد است؛ از این رو پهنه‌بندی حرکات توده‌ای اولین گام در مدیریت و کاهش خسارات این پدیده است. در جدول ۶ پراثرترین و کم‌اثرترین کلاس‌های مربوط به هر کدام از عوامل در سه مدل LNRF، ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح نشان داده شده است. براساس این جدول، سنگ‌های آهکی و شیل مؤثرترین عامل وقوع حرکات توده‌ای در منطقه‌اند. سازند آسماری جوان‌ترین سنگ مخزن پهنه زاگرس است و به همین دلیل، مطالعات گسترده‌ای درباره خواص سنگ‌چینه‌ای این سازند انجام گرفته است که شامل سنگ‌آهک‌های

مقاوم، کرم تا قهوه‌ای با ریخت‌شناسی کوه‌ساز است که کمی میان‌لایه‌های شیلی دارد و از نظر داشتن درزه فراوان شاخص است. وجود درزه‌ها و شکاف‌های زیاد سبب گسیختگی و ناپایداری دامنه و وقوع حرکات دامنه‌ای در این سازند زمین‌شناسی شده است. در سازند آهک آسماری حرکات توده‌ای اغلب به صورت ریزش یا واریزه‌های بلوکی است. بیشترین حرکات توده‌ای در فاصله ۳۰۰-۰ متری گسل‌ها دیده می‌شود. عملکرد گسل‌ها در منطقه به صورت مستقیم (حرکت ناشی از انرژی گسل) و غیرمستقیم (تأثیر لیتولوژی و شیب) سبب رخداد حرکات توده‌ای می‌شود [۱]. نیمی از حرکات توده‌ای (۵۱/۱ درصد) در شیب ۲۵-۱۵ و کمترین حرکات توده‌ای نیز در شیب‌های بیشتر از ۴۵ و کمتر از ۱۰ رخ داده است.

جدول ۶. پراثرترین و کم‌اثرترین کلاس‌های هر کدام از عوامل در سه مدل LNRF، ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح

کلاس	LNRF		ارزش اطلاعاتی		تراکم سطح	
	پراثرترین	کم‌اثرترین	پراثرترین	کم‌اثرترین	پراثرترین	کم‌اثرترین
لیتولوژی	آهک و شیل	رده خامی	آهک و شیل	تارپور	آهک و شیل	تارپور
فاصله از گسل (متر)	۳۰۰-۶۰۰	۹۰۰-۱۲۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۹۰۰-۱۲۰۰	۳۰۰-۶۰۰	۹۰۰-۱۲۰۰
شیب (درجه)	۱۵-۲۵	۶۹-۴۵	۲۵-۳۵	۰-۱۰	۲۵-۳۵	۰-۱۰
ارتفاع (متر)	۱۱۰۰-۱۵۰۰	۲۳۰۰-۳۶۶۶	-۱۵۰۰	۲۳۰۰-۳۶۶۶	-۱۵۰۰	۲۳۰۰-۳۶۶۶
جهت شیب	شمال	هموار	شمال	هموار	شمال	هموار
فاصله از آبراهه (متر)	۰-۱۰۰	>۴۰۰	۰-۱۰۰	>۴۰۰	۰-۱۰۰	>۴۰۰
راه ارتباطی (متر)	۱۰۰-۲۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۰-۱۰۰	>۴۰۰	۰-۱۰۰	>۴۰۰
کاربری اراضی	مرتع	زمین بایر	زراعت	جنگل	زراعت	جنگل
بارش (میلی‌متر)	۹۰۰-۱۰۰۰	<۶۰۰	۹۰۰-۱۰۰۰	<۶۰۰	۹۰۰-۱۰۰۰	<۶۰۰
دما	۶-۱۲	۰-۶	۶-۱۲	۱۸-۲۴	۶-۱۲	۱۸-۲۴

مطالعات مختلف در سطح حوضه نشان داده است که در شیب‌های طبیعی افزایش ناپایداری به شکل لغزش تا درجه شیب معینی به وقوع می‌پیوندد و بعد از آن درصد ناپایداری‌ها کاهش می‌یابد. علت را می‌توان سختی لیتولوژی تشکیل‌دهنده این دامنه‌ها و تغییر فرایندهای حرکات توده‌ای دانست. حوضه بررسی شده از لحاظ ارتفاع دارای تنوع زیادی است. ارتفاع از این نظر مهم است که بر مقدار و نوع بارندگی و درجه حرارت مؤثر است. نتایج نشان می‌دهد که مناطق با ارتفاع

بیش از ۱۹۰۰ متر، ۴۲ درصد منطقه را در بر گرفته‌اند و ۲۴ درصد حرکات توده‌ای رخ داده در منطقه در طبقه ارتفاع به‌وقوع پیوسته‌اند. در هر سه مدل جهت شمال مؤثرترین طبقه در وقوع حرکات توده‌ای شناخته شده است که این مسئله به دلیل وجود رطوبت در دامنه‌های شمالی است. دامنه‌های رو به شمال به علت اینکه مدت کمتری از نور خورشید بهره‌مندند، دمای کمتری دارند و این پدیده موجب کاهش تبخیر و افزایش رطوبت لایه‌ها و افزایش زمین لغزش‌ها خواهد شد. بیش از نیمی از منطقه در فاصله ۴۰۰ متری آبراهه‌های اصلی و فرعی واقع شده است که حرکات توده‌ای رخ داده در این فواصل برابر با ۷۹/۷ درصد کل حرکات توده‌ای رخ داده شده است. همچنین بیشترین حرکات توده‌ای در فاصله ۰ تا ۱۰۰ متری رخ داده است. در حدود ۵۰/۷ درصد حرکات توده‌ای در فواصل صفر تا ۴۰۰ متر و در حدود ۳۴/۱ درصد حرکات توده‌ای در فواصل بیش از ۴۰۰ متر رخ داده‌اند. کاربری یکی از شاخص‌های اصلی در مطالعه پایداری دامنه‌ها و پهنه‌بندی خطر آنها در یک ناحیه است. کاربری زمین ویژگی‌های سطحی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب تغییر ناحیه می‌شود. حرکات توده‌ای رخ داده در زمین‌های مرتعی بیشترین میزان و برابر با ۸۱/۷ درصد کل حرکات توده‌ای است. فاکتورهای اقلیمی مانند بارش، دما از نظر ذوب و انجماد در وقوع حرکات توده‌ای اهمیت زیادی دارند. ذوب برف زمستانی و نفوذ تدریجی آن در درز و شکاف سنگ‌ها، و باران سایر فصل‌ها از عوامل مؤثر و مهم در حرکات دامنه‌ای‌اند. ۷۰/۳ درصد حرکات توده‌ای در محدوده‌های هم‌باران ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌متر رخ داده است. بارش باران و ذوب برف با تأمین آب و افزایش سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی و فشار آب منفذی، مهم‌ترین عامل وقوع حرکات توده‌ای است. نوسان دما در هوازدگی فیزیکی تأثیر زیادی دارد. بیش از نیمی از حرکات توده‌ای در مناطق با میانگین دمای ۱۲-۶ درجه سانتی‌گراد رخ داده است.

در این تحقیق روش ارزش اطلاعاتی به لحاظ سازگاری بیشتر حرکات توده‌ای با پهنه‌های خطر زیاد و همچنین توانایی در تفکیک طبقه‌های خطر به‌عنوان مدل مناسب برای حوضه انتخاب شد.

## منابع

- [۱]. احمدآبادی، علی؛ رحمتی، مریم (۱۳۹۴). کاربرد شاخص‌های کمی ژئومورفومتريک در شناسایی پهنه‌های مستعد زمین لغزش با استفاده از مدل SVM (مطالعه موردی: آزادراه خرم‌آباد - پل زال)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال چهارم، شماره ۳، زمستان.

- [۲]. ایلدرمی، علیرضا؛ روزبهانی، حبیبه (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها با مدل LNRF و GIS در حوضه کلان ملایر، نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه‌ریزی، سال ۱۸، شماره ۴۸، تابستان ۱۳۹۳.
- [۳]. دهقان، محمود؛ ثروتی، محمدرضا. عشقی، ابوالفضل (۱۳۸۲). ژئومورفولوژی و مخاطرات طبیعی، فضای جغرافیایی، سال سوم، شماره ۹، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر: ۴۴-۱.
- [۴]. پورنادر، مریم؛ احمدی، حسن؛ قدوسی، جمال؛ جعفری، محمدرضا (۱۳۹۱). پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای و بررسی عوامل مؤثر در وقوع آن در حوضه آبخیز سد ایلام، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۴، شماره ۲.
- [۵]. پورهاشمی، سیما؛ امیراحمدی، ابوالقاسم؛ اکبری، الهه (۱۳۹۳). انتخاب مدل مناسب از بین روش‌های آماری دومتغیره جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بقیع)، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک سال چهارم، شماره ۱۵، بهار ۱۳۹۱.
- [۶]. حاتمی فرد، رامین؛ موسوی، سیدحجت؛ علیمراد، مسعود (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل AHP و تکنیک GIS در شهرستان خرم‌آباد، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۷، شماره ۳، پاییز.
- [۷]. رحیم‌زاده، زهرا؛ علائی طالقانی، محمود (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل ناپایداری دامنه‌ای به کمک مدل منطقه‌ای در بخش شمال غرب زاگرس با توجه به زمین‌لغزش‌های حوضه ليله، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۹، تابستان.
- [۸]. سرور، جلیل‌الدین؛ رضانی، بهمن؛ ادهمی، مریم (۱۳۹۱). پهنه‌بندی حرکت‌های توده‌ای از طریق بررسی مدل LNRF، مطالعه موردی: منطقه نیر به سراب، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال پنجم، شماره ۶۱، تابستان.
- [۹]. رنجبر، محسن؛ معمار افتخاری، محمد (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پدیده لغزش با استفاده از روش LNRF در جاده هراز (از امامزاده هاشم تا لاریجان)، فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال دهم، شماره ۳۳، تابستان.
- [۱۰]. دلجویی، آزاده؛ حسینی، سید عطاله؛ معین صادقی، سید محمد (۱۳۹۵). ارزیابی روش‌های مختلف پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در اکوسیستم‌های جنگلی، نشریه ترویج. توسعه آبخیزداری، سال چهارم، شماره ۱۳، تابستان.
- [۱۱]. شادفر، صمد؛ یمانی، مجتبی؛ نمکی، محمد (۱۳۹۰). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRF در حوضه چالکرو، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۳، شماره ۱.

- [۱۲]. شعبانی، عباد؛ جوادی، محمدرضا؛ زارع خوش اقبال، مریم (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز شلمانرود)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز سال پنجم / شماره ۱۰ / پاییز و زمستان.
- [۱۳]. عابدینی، موسی؛ فتحی، محمدحسین (۱۳۹۳). پهنه‌بندی حساسیت خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز خلخال‌چای با استفاده از مدل‌های چندمعیاره، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۴، بهار.
- [۱۴]. محمدی، مجید؛ مرادی، حمیدرضا؛ پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۸۹). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تلفیق مدل‌های AHP و تراکم سطح.
- [۱۵]. مقیمی، ابراهیم؛ علوی‌پناه، سید کاظم؛ جعفری، تیمور (۱۳۸۷). ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ (مطالعه موردی: حوضه زهکشی چناران در استان خراسان شمالی)، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب.