



Zoning Land Surfaces of Shahroud Basin against the Occurrence of Landslides Using the Shannon Model



Gholam Hassan Jafari ^{a*}, Rouhollah Khodaei ^b

^a Associate Professor in Geomorphology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

^b MA in Geomorphology, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 19 February 2022

Revised: 19 May 2022

Accepted: 29 May 2022

Abstract

Mass movements of materials are divided into slip, flow and creep, among of which landslides always cause heavy financial and economic losses worldwide. In this study, based on the analysis of landslides in Shahroud Basin, effective vectors were rated. Using ArcGIS software, the spatial distribution of 183 landslides in Shahroud basin was analyzed and interpreted in fault, waterway, road, lithology, slope, aspect, precipitation amount and height. According to the effect of different vectors, and the spatial distribution of landslides in Shahroud basin, points were scored and entropy matrix was adjusted for them and landslide occurrence in Shahroud basin was zoned. Based on the results of applying Shannon entropy model in Shahroud basin for landslide zoning in terms of landslides, high-risk zones accounted for 41.79% and an average of 52.76% of the basin area. The adaptation of landslide risk zones of Shahroud basin shows the concentration of 74.86% of landslides on slopes of 10-40°, 64.97% in marl, conglomerate, and basalt lithologies, 87.97% at altitudes 2123-823m, 85.79% in semi-arid and temperate rainfall classes (685-315mm) on land surfaces with slope in the western direction, 55.74% at a distance of 0-300m from the river, a distance of 0-500m from the fault and at a distance of 1000-500m from the road. The concentration of danger and landslide zones in the two central parts of Taleghan subspecies and after the joining of Alamut and Taleghan rivers and the formation of Shahroud River is more than other areas. Such changes in landslide distribution due to nonlinear compliance of this geomorphological event are influential factors. The occurrence of landslides is a function of the interaction between factors rather than their abstract effects.

Keywords: Landslide, Shahroud, Shannon Entropy, Alamut, Taleghan

*.Corresponding author: Gholam Hassan Jafari Email: jafarihas@znu.ac.ir Tel:+989177519227

How to cite this Article: Kazemi, H., & Shariati, R. (2022). Analysis of subsidence status in Hamedan urban area using radar and satellite images. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(4), 253-274.

DOI:10.22067/geoeh.2022.75401.1183



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 4 - Number 48, Winter 2024

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75401.1183>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شماره چهارم و هشتم، زمستان ۱۴۰۲، صص ۲۷۴-۲۵۳

مقاله پژوهشی

پهنه بندی سطوح ارضی حوضه شاهرود در مقابل وقوع زمین لغزش به کمک مدل شانون

غلام حسن جعفری^۱ - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

روح اله خدایی - کارشناسی ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۲/۲۹ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۳/۸

چکیده

جابه‌جایی مواد یکی از رخداد های سطوح ارضی شیبدار است؛ برای کاهش خطرات ناشی از چنین حرکتی، شناخت دقیق مکان‌های در معرض خطر بسیار مؤثر است؛ یکی از مشکلات چنین رخدادهایی، عدم توانایی محقق در شناخت تمام و کامل عوامل مؤثر بر آنهاست و حتی در صورت شناخت، میانگین های عوامل، ناشناخته باقی می‌ماند. در این بررسی تلاش شده است بر اساس تحلیل موقعیت زمین لغزش های حوضه شاهرود، به عوامل مؤثر امتیاز داده شود. با استفاده از نرم افزار ArcGIS، موقعیت مکانی ۱۸۳ زمین لغزش نقطه‌ای حوضه شاهرود، با توجه به عوامل خطی گسل، آبراهه و جاده و عوامل سطحی لیتولوژی، شیب، جهت شیب، مقدار بارش و ارتفاع، تحلیل و تفسیر گردید؛ ماتریس آنتروپی برای آنها تنظیم و سطوح ارضی حوضه شاهرود از نظر رخداد زمین لغزش، به کمک مدل شانون پهنه‌بندی گردید. بر اساس نتایج کاربرد مدل آنتروپی شانون، پهنه‌های پرخطر ۴۱/۷۹٪ و متوسط ۵۲/۷۶٪ از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. انطباق زمین لغزش های رخدادده با عوامل مؤثر بر زمین لغزش، تمرکز ۷۴/۸۶ درصد از زمین لغزش‌ها در شیب‌های ۴۰-۱۰ درصد، ۶۴/۹۷ درصدی آنها در لیتولوژی های مارن - سیلتستون، کنگلومرا و بازالت، ۸۷/۹۷ درصدی آنها در ارتفاع بین ۲۱۶۹-۸۲۳ متر، ۸۵/۷۹ درصدی آنها در طبقات بارشی نیمه‌خشک و معتدل (۳۱۵-۶۸۵ میلی‌متر) در سطوح ارضی با شیبی

Email: jafarihas@znu.ac.ir

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱۷۷۵۱۹۲۲۷

نحوه ارجاع به این مقاله:

جعفری، غلام حسن؛ خدایی، روح اله. (۱۴۰۲). پهنه بندی سطوح ارضی حوضه شاهرود در مقابل وقوع زمین لغزش به کمک مدل

شانون. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۲(۴). صص ۲۷۴-۲۵۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.75401.1183>

در جهت غربی، ۵۵/۷۴ درصدی آن‌ها در فاصله ۳۰۰-۰ متر از رودخانه و ۵۰۰-۰ متری از گسل و در فاصله ۱۰۰۰-۵۰۰ متر از جاده را مورد تأیید قرار می‌دهد. چنین تغییراتی در توزیع زمین‌لغزش ناشی از تبعیت غیرخطی این رخداد ژئومورفولوژیکی از عوامل اثرگذار است؛ وقوع زمین‌لغزش تابعی از برهمکنش بین عوامل است تا اثرگذاری آن‌ها به صورت مجرد و انتزاعی.

کلیدواژه‌ها: زمین لغزش، شاهرود، مدل آنتروپی شانون، الموت، طالقان.

۱- مقدمه

دامنه‌های پوشیده از مواد رسی یا خاک ضخیم، اگر کاملاً خیس و مرطوب گردد، به صورت توده‌ای از ناحیه بالای دامنه جدا شده و در طول دامنه، به صورت یک زبانه گلی و یا جریانی از مواد گل‌آلود جابه‌جا می‌شود (خیام، ۱۳۸۹). این‌گونه حرکات توده‌ای مواد روی دامنه به سه طبقه لغزشی، جریانی و خزشی تقسیم می‌شود. در لغزش کامل (ویژه) سرعت حرکت مواد در همه نقاط از بالا تا پایین یکسان و از نوع انتقالی است. در جریان کامل (خالص) سرعت حرکت مواد در بخش بالایی توده جریانی بیشتر از بخش زیرین و از نوع انتقالی است ولی در خزش (جابه‌جایی)، حرکت مواد به صورت قائم است (مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷). زمین لغزش از جمله حرکات دامنه‌ای است که تحت تأثیر عوامل مختلفی رخ می‌دهد؛ این رخداد ژئومورفولوژیکی در سطح جهان، موجب مرگ و میر سالانه هزاران نفر و خسارت‌های سنگین مالی و اقتصادی به مناطق مسکونی می‌شود (محمدخان، ۱۳۹۳). در تحلیل فضایی رخدادهای ژئومورفولوژیکی، عوامل متعددی نقش دارند؛ فرم‌ها به‌عنوان برون‌داد فرایندها نه تنها تحت تأثیر عوامل مختلف قرار دارند، بلکه به‌شدت متأثر از میانکنش‌های هر یک از آن‌ها هستند. برای درک اثرگذاری میانکنش‌ها در رخدادهای ژئومورفولوژیکی، نباید در شناسایی پدیده، تأثیر یک یا چند عنصر شناخته‌شده را بیشتر از سایر عناصر دانست؛ و اصل و اساس شناخت هر پدیده را به چگونگی ظهور آن قرار داد؛ در وقوع بسیاری از رخدادهای ژئومورفیک میانکنش‌های متعددی دخالت دارند که شناخت دقیق همه آن‌ها مقدور نیست؛ معمولاً محققان با هر تحقیق، سعی می‌کنند واقعیت پدیدار را به حقیقت نزدیک‌تر کنند.

از آنجاکه پیش‌بینی زمان وقوع زمین‌لغزش‌ها مشکل است، شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش و پهنه‌بندی این مناطق بر اساس پتانسیل خطر ناشی از بروز این پدیده، اهمیت خاصی دارد (مصفاوی و همکاران، ۱۳۸۸)؛ در همین راستا کنستانتین^۱ و همکاران (۲۰۱۱) به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری دو متغیره و شاخص آنتروپی در حوضه سیبکیو (رومانی) پرداختند. در این مطالعه لایه حساسیت به زمین‌لغزش، بر اساس پارامترهای اثرگذار بر وقوع آن (زاویه شیب، جهت شیب، انحناء، سنگ‌شناسی و کاربری زمین) تهیه گردید. لایه حساسیت به پنج طبقه تقسیم شد که مناطق با حساسیت زمین‌لغزش بسیار کم تا بسیار زیاد را نشان می‌دهد.

پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۲)، در ارزیابی حساسیت به زمین لغزش، پارامترهای مشتق شده از داده‌های سنجش از دور قسمت شرقی استان گلستان از شهرستان کلاله را با استفاده از آنتروپی شانون در ArcGIS، مورد مطالعه قرار دادند. برای اعتبارسنجی مدل، نتایج تجزیه و تحلیل‌ها را با مکان زمین لغزش‌های رخ داده در سطح زمین مقایسه شد. علاوه بر این، منحنی‌های ویژگی‌های عملیاتی گیرنده (ROC) برای نقشه‌های حساسیت زمین لغزش ترسیم شد و مساحت زیر مقادیر منحنی محاسبه شد. نتایج تأیید صحت ۸۲/۵ درصد را نشان داد. باتوجه به نتایج ارزیابی AUC (منطقه زیر منحنی)، نقشه تولید شده ویژگی‌های رضایت‌بخشی را نشان داد. شادمان رودپوشتی و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از روش ترکیبی توابع فازی و آنتروپی شانون مبتنی بر GIS به ارزیابی نقشه حساسیت زمین لغزش (LSM) در منطقه ایذه خوزستان پرداختند. عملکرد روش ترکیبی پیشنهادی نسبت به رویکردهای ارزیابی چندمعیاره با استفاده از یک طرح ذهنی، در مقایسه با استفاده از همان مجموعه داده‌ها، از طریق ارزیابی چندمعیاره فازی توسعه یافته، برتری داشت. ژائو و همکاران (۲۰۱۷) بر اساس آنتروپی شانون، فرآیند سلسله‌مراتب تحلیلی (AHP) و روش جامع فازی را در شهرستان ژنان از استان شانشی برای ارزیابی حساسیت زمین لغزش استفاده نمودند. نتایج نشان داد مدل پیشنهادی حساسیت به زمین لغزش می‌تواند به تهیه نقشه‌های حساس تر و دقیق تر کمک کند که نه تنها از اطلاعات حاصل از داده‌های اصلی بهره می‌برد، بلکه دانش یک متخصص و نظرات تصمیم‌گیرندگان را نیز منعکس می‌کند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه شور فدामी (استان فارس) با روش توصیفی - تحلیلی بر پایه آنتروپی به این نتیجه رسیدند که فرسایش زیادی در قسمت‌های مختلف آبخیز تحت تأثیر شیب ایجاد می‌شود و در بین سازندهای زمین‌شناسی، سازندهای سست کواترنری فرسایش بیشتری می‌یابد. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱)، خطر وقوع زمین لغزش را در تاقدیس نثار زاگرس شمال غربی با استفاده از مدل آنتروپی، روش‌های میدانی و کتابخانه‌ای پهنه‌بندی نمودند. نتایج دال بر این است که مدل آنتروپی کارایی مطلوبی در برآورد میزان خطر رخداد زمین لغزش دارد و ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، جهت شیب و لیتولوژی به ترتیب بیشترین نقش را در رخداد زمین لغزش دارند. فلاح و همکاران (۱۳۹۸) در پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین لغزش، در منطقه رودبار الموت شرقی استان قزوین، با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات در محیط ArcGIS دریافتند که هر دو مدل آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات در برآورد پهنه‌های خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد می‌تواند مناطق مستعد زمین لغزش را به خوبی شناسایی کند؛ مقدار شاخص احتمال تجربی این عملکرد ۸۶ درصد است؛ البته در برآورد پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد، مدل ارزش اطلاعات در مقایسه با مدل آنتروپی شانون از قابلیت بهتری برخوردار بود. دارابی شاهماری و همکاران (۱۳۹۸)، حساسیت زمین لغزش ارتفاعات شهرستان دالاهو را با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و شاخص آنتروپی برآورد نمودند. نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد شاخص مدل آنتروپی

(AUC=۰/۸۶) در برآورد حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه نسبت به مدل رگرسیون لجستیک (AUC=۰/۸۰) از صحت بیشتر و در نتیجه قابلیت اعتماد بالاتری برخوردار است. **روستایی و همکاران (۱۳۹۹)**، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون بررسی نمودند، در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASAR از سنجنده ENVISAT در سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۰۹ و بازدیدهای صحرایی ۱۷ پهنه لغزشی به صورت انتخابی شناسایی و نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید. عوامل مؤثر با استفاده از شاخص آنتروپی نشان داد که فاصله از رودخانه بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین لغزش حوضه و عوامل شاخص رطوبت، زمین‌شناسی و شاخص موقعیت توپوگرافی کمترین تأثیر را داشته‌اند. **فیض اله پور و همکاران (۱۴۰۰)**، خطر زمین لغزش را در حوضه آبریز طالقان با استفاده از مدل آنتروپی شانون پهنه‌بندی نمودند. عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش به عنوان متغیرهای مستقل و پهنه‌های لغزشی به عنوان متغیرهای وابسته در نظر گرفته شده است. پس از محاسبه شاخص آنتروپی شانون مشخص شد، ۸۶ درصد از مساحت زمین لغزش‌ها در سه رده خطر متوسط، پرخطر و خیلی پرخطر قرار دارند.

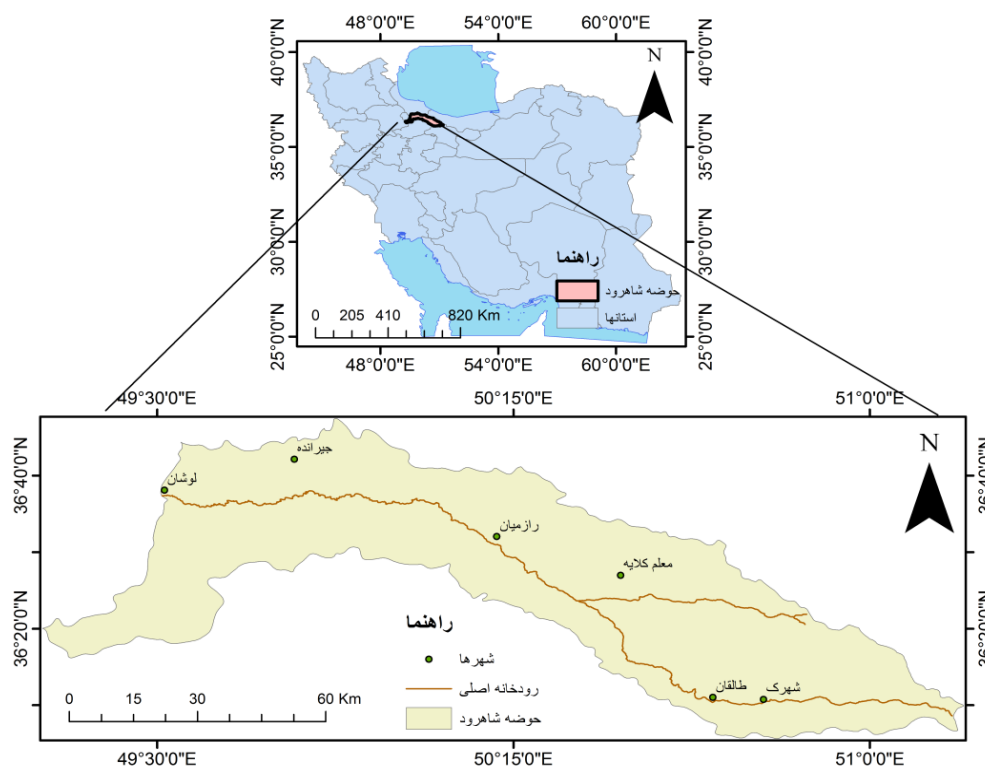
وقوع هر رخدادی در طبیعت به علل و عوامل متعددی وابسته است؛ محققان سعی می‌کنند باتوجه به فضای وقوع هر رخداد، شرایط وقوع رخداد را شناسایی و رفتار آینده عوامل اثرگذار طبیعی را در ارتباط با وقوع آن رخداد پیش‌بینی نمایند؛ غافل از اینکه هیچ معرفت قطعی و ثابتی در مورد رخداد پدیده‌ها وجود ندارد؛ واقعیت فقط بر حسب فهم تأویل و دریافت محقق، دست‌یافتنی می‌شود و به قول ویتگنشتاین محقق آزاد است تا تصوراتش را بر پدیدار تحمیل نماید (**راس، ۱۳۸۹**). در چنین صورتی محقق بیشتر تمایل دارد به چیزهایی توجه کند که در نگاه اول یا حتی دقیق ولی سطحی‌نگر، ذهنش را درگیر می‌کند (**رولف، ۱۳۹۴**) فرایندها تحت تأثیر شرایط خاصی تجلی می‌یابند و در شرایط مختلف محیطی، از فرایند واحد، فرم‌های متفاوتی پدیدار می‌شود؛ به گونه‌ای که تحلیل شرایط برخاسته از رخداد از خود فرایند مهم‌تر می‌گردد که معمولاً در ساختارشناسی رخداد واجد اهمیت است و در غالب تحقیقات علمی مورد غفلت واقع می‌شود. نگاه انتزاعی و مجرد محقق علوم زمین به رخداد، منجر به جدایی پدیدار از شرایط محیطی گردیده و با تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر رخداد، نتیجه‌ای گرفته می‌شود فارغ از وابستگی‌های فضایی- زمانی رخداد؛ و اینگونه تحلیل می‌شود که پدیدار در هر مکان و زمان در صورت فراهم بودن عوامل، به وقوع می‌پیوندد غافل از اینکه همه عوامل مطرح شده در چنین مواردی فقط شروط لازم برای وقوع رخداد را فراهم می‌آورند نه شروط کافی و تامه را. در این روش چنین انگاشته می‌شد که اجزاء به گونه‌ای پیشگویی پذیر و بر پایه‌ی علیت فاعلی رفتار می‌کنند و اهمیت میانکنش بین اجزاء نادیده گرفته می‌شود؛ در صورتی که سرشت هر جزء، میانکنش بین اجزا را در پی دارد. برای پهنه بندی سطوح ارضی از نظر وقوع زمین لغزش، غالباً از عواملی همچون زاویه شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، ارتفاع، فاصله از گسل و کاربری زمین استفاده شده است؛ متغیرهای وابسته به

هریک از عوامل، با توجه به توزیع فضایی زمین لغزش‌ها، اولویت بندی می‌شوند. در بسیاری از موارد، مبنای امتیازدهی به متغیرهای عوامل مؤثر بر زمین لغزش، این تصور را بوجود می‌آورد که با تناسب افزایش یا کاهش متغیر وابسته به عوامل، مقدار اثرگذاری نیز کاهش یا افزایش می‌یابد؛ در صورتی که در عمل امکان امتیاز یک متغیر در بعضی از مقادیر عامل، روند صعودی داشته باشد و در برخی مقادیر دیگر، سیر نزولی به خود بگیرد؛ چه بسا این روند، در بازه‌های مختلف متغیر، چندین بار دستخوش تغییر شود. این مقاله، با توجه به عملکرد شاخص آنتروپی شانون، در پهنه بندی سطوح ارضی حوضه شاهرود در مقابل خطر زمین لغزش قصد دارد اثرگذاری عوامل اثرگذار را در متغیرهای مختلف وابسته با آن مورد بررسی قرار دهد. این بررسی شرایطی را فراهم می‌آورد تا بتوان به عوامل مؤثر در زمین لغزش در حوضه شاهرود به گونه‌ای توجه کرد که تا کنون منجر به وقوع زمین لغزش شده‌اند تا نگاه یک جانبه و تئوریک.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

رودخانه شاهرود با مساحت ۴۸۴۵ کیلومتر مربع و طول ۱۲۵ کیلومتر به‌عنوان یکی از شاخه‌های اصلی سفیدرود از به هم پیوستن دو رودخانه الموت و طالقان (در شرق حوضه با طول ۴۹ و ۸۰ کیلومتر)، در ۱۱ کیلومتری جنوب آبادی شهرک، در محلی به نام شیرکوه تشکیل شده است (قهرمانی و ثروتی، ۱۳۸۷؛ پاسبان و همکاران، ۱۳۹۶). سفیدرود از به هم پیوستن شاهرود و قزل‌اوزن در نزدیکی سد منجیل به وجود می‌آید. حوضه شاهرود که بخش اصلی آن در استان قزوین واقع شده، استان‌های البرز، زنجان، گیلان و مازندران را نیز در برمی‌گیرد. حوضه شاهرود با وسعت ۴۸۷۱ کیلومتر مربع، در عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۱ دقیقه طول شرقی گسترده شده است (شرکت آب منطقه‌ای استان قزوین) (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه شاهرود

طول این رودخانه از سرچشمه طالقان رود تا خروجی حوضه شاهرود، ۲۰۴ کیلومتر و از سرچشمه الموت رود تا خروجی حوضه شاهرود، ۱۵۷/۵ کیلومتر می باشد. این حوضه کوهستانی با دینامیک بالای فرسایش رودخانه‌ای و آبی، سالانه مقدار زیادی رسوب از سطح حوضه منفک گشته و به نواحی پایین دست حمل و نهایتاً در مخزن سد سفید رود و در سطح اراضی انباشته می شود (قهرمانی و ثروتی، ۱۳۸۷: ۴۶). ارتفاع وزنی حوضه ۲۳۰۹ متر و از نظر توپوگرافی منطقه کوهستانی و ناهموار است (خسروی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۴۳). حوضه شاهرود به دو بخش الموت شرقی (به مرکز معلم کلایه) و الموت غربی (به مرکز رازمیان) تقسیم می شود. واحدهای زمین شناسی حوضه آبریز مورد نظر در بخش شرقی و بالادست، عمدتاً آوارهای میوسن، در بخش میانی ترکیبی از واحدهای آتشفشانی ائوسن و برخی سازندهای مزوزوییک و در پایین دست حوضه، واحدهای آتشفشانی ائوسن می باشد (آنلز و همکاران، ۱۹۷۵).

۲-۲- روش انجام پژوهش

در این مقاله که نتیجه یک پژوهش کاربردی است سطوح ارضی حوضه شاهرود با کمک روش‌های کتابخانه‌ای، بازدیدهای میدانی و مدل‌سازی، در مقابل رخداد زمین‌لغزش به بهترین شکل ممکن پهنه بندی شده است. نقشه‌های

توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و تصاویر گوگل ارث منطقه، به‌عنوان ابزار اصلی، کمک زیادی به شناسایی مقدار اثرگذاری عوامل مؤثر در زمین‌لغزش نمود. با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.3، توزیع فضایی ۱۸۳ زمین‌لغزش حوضه شاهرود، استخراج شده از سایت علوم زمین، با توجه به عوامل خطی گسل، آبراهه، جاده و عوامل سطحی لیتولوژی، شیب، جهت شیب، مقدار بارش و ارتفاع، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز (شیب، جهت شیب، لیتولوژی، طبقات ارتفاعی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل و بارش) به‌عنوان عوامل اثرگذار بر وقوع زمین‌لغزش، در محیط ArcGIS10.3 تهیه شد؛ مدت بارش و نوع آن، برف یا باران، از عوامل تأثیرگذار بر روی حرکات دامنه‌ای است. دوره بارشی بر اساس دوره ۳۰ ساله از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ از سازمان وزارت نیرو (شرکت مدیریت منابع آب ایران)، دفتر مطالعات پایه منابع آب اخذ و مورد استفاده قرار گرفت. سپس موقعیت مکانی ۱۸۳ زمین‌لغزش، در هرکدام از لایه‌های استخراجی به‌صورت جداگانه بررسی و مقر آن‌ها شناسایی و استخراج گردید؛ نتایج توزیع مکانی زمین‌لغزش‌ها، امتیازدهی به عوامل مختلف را بر اساس اثرگذاری آن‌ها در بازه‌های متفاوت به همراه داشت؛ با امتیاز دهی به عوامل مختلف اثرگذار در متغیرهای مختلف و پردازش آن‌ها، در نرم‌افزار ArcGIS10.3، از لایه وکتوری به لایه رستری تبدیل گردیدند. برای داده‌های استخراجی از لایه‌های مختلف، بر اساس منابع اسنادی امتیاز داده شد و بعد از طبقه‌بندی لایه‌ها، ماتریس آنتروپی شانون برای آن‌ها تنظیم گردید. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که مدل آنتروپی می‌تواند به‌عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود (مقیم و همکاران، ۱۳۹۱). با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش (هشت عامل) W_j ، میزان H_j ، به‌عنوان ضریب وقوع خطر زمین‌لغزش به دست آمد و رخداد زمین‌لغزش حوضه شاهرود، بر اساس مدل شانون پهنه‌بندی گردید. مراحل روش تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) به ترتیب ذیل می‌باشد:

تشکیل ماتریس تصمیم (ستون‌ها عوامل مؤثر در زمین‌لغزش، سطرها تعداد زمین‌لغزش) و محاسبه وزن معیارها بر اساس روابط (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵):

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum x_{ij}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

نرمال‌سازی ماتریس تصمیم (رابطه ۲):

$$E_j = -h \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln r_{ij} \quad j=1 \dots \quad (\text{رابطه ۲})$$

محاسبه آنتروپی هر شاخص (رابطه ۳):

$$h = \frac{1}{\ln(m)} \quad (\text{رابطه ۳})$$

محاسبه انحراف شاخص (رابطه ۴):

$$d_j = 1 - E_j \quad (\text{رابطه ۴})$$

محاسبه وزن معیارها (رابطه ۵):

$$W_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^m (1 - e_j)} \quad (\text{رابطه ۵})$$

پس از محاسبه وزن کلی (W_j)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از رابطه زیر ارزیابی می‌شود (رابطه ۶).

$$H_j = \sum_{i=1}^m W_j \times X_{ij} \quad (\text{رابطه ۶})$$

در رابطه ۶ (H_j) ضریب رخداد زمین‌لغزش، (W_j) وزن نهایی تمام عوامل، (X_{ij}) وزن هر یک از عوامل است (شاه زیدی، ۱۳۹۸: ۴۳).

۳- نتایج و بحث

بررسی مکانی عوامل اثرگذار بر زمین‌لغزش با استفاده از لایه زمین‌لغزش‌های شناخته شده، لازمه کاربرد مدل آنتروپی شانون است؛ به این منظور ابتدا توزیع زمین‌لغزش‌های حوضه شاهرود، در لایه‌ی مربوط به هر یک از عوامل اثرگذار بر زمین‌لغزش بررسی شده است؛ بررسی لایه نوع لیتولوژی در رخداد زمین‌لغزش‌های حوضه شاهرود، دال بر این است که ۴۰/۹۳، ۲۴/۰۴، ۱۲/۰۲ و ۱۱/۴۷ درصد از زمین‌لغزش‌ها به ترتیب در لیتولوژی مارن، بازالت، ماسه سنگ، توف سبز و آندزیت، و مجموعاً ۱۰/۸۹ درصد رسوبات آبرفتی، گابرو، کنگلومرا، گچ، سنگ آهک و دیوریت، رخ داده است (جدول ۱). هم‌جواری لیتولوژی مارن و کنگلومرا، به علت حساسیت مارن، شرایط وقوع زمین‌لغزش را بسیار مساعد نموده است؛ به‌گونه‌ای که اکثر زمین‌لغزش‌های رخ داده در لیتولوژی مارن در مجاورت کنگلومرا بوده است (شکل ۵ الف).

جدول ۱- رخداد زمین‌لغزش با توجه به لیتولوژی در حوضه شاهرود

لیتولوژی	مارن، کنگلومرا	بازالت	ماسه سنگ	توف سبز	آندزیت	رسوبات آبرفتی	گابرو	کنگلومرا	گچ	سنگ آهک	دیوریت
تعداد لغزش	۷۵	۴۴	۲۲	۲۱	۷	۵	۱	۳	۲	۲	۱
درصد لغزش	۴۰/۹۳	۲۴/۰۴	۱۲/۰۲	۱۱/۴۷	۳/۸۲	۲/۸۳	۰/۵۴	۱/۶۳	۱/۰۹	۰/۵۴	۰/۵۴

جهت شیب به علت اثرگذاری بر زاویه ارتفاع خورشیدی و در نتیجه مقدار جذب انرژی خورشید، نگهداری رطوبت خاک و حفظ پوشش گیاهی (معیری و همکاران، ۲۰۱۱)، به طور غیرمستقیم بر وقوع زمین لغزش اثر می‌گذارد. سطوح ارضی با شیب رو به شمال، به دلیل بهره‌مندی کمتر از نور خورشید، دمای پایین‌تر، تبخیر کمتر و رطوبت بیشتر خاک (احمدی، ۱۳۹۱) شرایط وقوع زمین لغزش را مساعدتر می‌نمایند. برای بررسی اثرگذاری جهت شیب بر زمین لغزش، سطوح ارضی از نظر جهت شیب در ۸ گروه شمالی (۰-۲۲/۵، ۰-۳۳۷/۵)، شمال شرقی (۲۲/۵-۶۷/۵)، شرقی (۶۷/۵-۱۱۲/۵)، جنوب شرقی (۱۱۲/۵-۱۵۷/۵)، جنوبی (۱۵۷/۵-۲۰۲/۵)، جنوب غربی (۲۰۲/۵-۲۴۷/۵)، غربی (۲۴۷/۵-۲۹۲/۵) و شمال غربی (۲۹۲/۵-۳۳۷/۵) درجه آزیموت) تقسیم گردید (شکل ۲ و ۵ ب) و تکرار زمین لغزش‌ها در جهات مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. جهات اکثر زمین لغزش‌های رخ داده در لیتولوژی‌های یکسان، تقریباً وضعیت قرینه‌ای با یکدیگر داشته‌اند، برای مثال تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در لیتولوژی مارن، در شرق و غرب حوضه طالقان مساوی است (جدول ۲).



شکل ۲- رخداد زمین لغزش در سطوح ارضی با جهت‌های شیب مختلف (N شمال، S جنوب، E شرق و W غرب)

میانگین ارتفاع وزنی حوضه ۲۳۰۸/۸ است. توزیع زمین لغزش‌های رخ داده حوضه شاهرود، در ۹ طبقه ارتفاعی بررسی گردید (شکل ۵ پ)؛ ۸۸ درصد زمین لغزش‌ها در محدوده ارتفاعی ۲۱۶۹-۸۶۳ رخ داده است (جدول ۳).

جدول ۲- رخ داد زمین لغزش با توجه به جهت های شیب در حوضه شاهرود

لیتولوژی	شمال	شمال شرق	شرق	جنوب شرق	جنوب	جنوب غرب	غرب	شمال غرب
مارن-شاهرود	۵	۹	۵	۵	۴	۱۲	۱۰	۸
مارن-طالقان	۳	-	۵	۲	۱	-	۵	۱
بازالت	۴	۷	۵	۴	۶	۴	۱۰	۴
ماسه سنگ	۲	۵	۴	۲	۳	۱	-	۵
توف سبز	۲	-	۳	۸	۱	۲	۱	۴
آندزیت	۱	۱	-	۱	-	۲	۱	۱
رسوبات آبرفتی	-	۱	-	-	۱	-	۳	-
گابرو	-	-	-	۱	-	-	-	-
کنگلوما	-	۱	-	۱	-	-	۱	-
گچ	۱	-	-	۱	-	-	-	-
سنگ آهک	-	۱	۱	-	-	-	-	-
دیوریت	-	-	۱	-	-	-	-	-
جمع کل	۱۸	۲۵	۲۴	۲۵	۱۶	۲۱	۳۱	۲۳

جدول ۳- رخ داد زمین لغزش در طبقات ارتفاعی حوضه شاهرود

رتبه مساحت	درصد مساحت	مساحت	تعداد لغزش	درصد لغزش	تعداد لغزش	طبقات ارتفاع
۸	۶۵	۳۱۶۰۹	۷	۱/۰۹	۲	۳۱۹_۸۶۳
۵	۱۱/۹۹	۵۸۳/۳۷	۴	۱۹/۱۲	۳۵	۸۶۳_۱۲۳۲
۲	۱۵/۳۲	۷۴۵/۵۱	۳	۲۱/۸۶	۴۰	۱۲۳۲_۱۵۶۳
۳	۱۴/۹	۷۲۴/۶۷	۲	۲۲/۹۵	۴۲	۱۵۶۳_۱۸۶۷
۱	۱۶/۱۲	۷۸۴/۲۹	۱	۲۴/۰۴	۴۴	۱۸۶۷_۲۱۶۹
۴	۱۲/۰۴	۵۸۵/۵۲	۵	۸/۷۴	۱۶	۲۱۶۹_۲۵۰۷
۶	۱۰/۷۲	۵۲۱/۳۲	۶	۱/۶۴	۳	۲۵۰۷_۲۸۸۴
۷	۸/۵۲	۴۱۴/۰۶	۸	۰/۵۵	۱	۲۸۸۴_۳۳۲۱
۹	۳/۹	۱۸۹/۵۹	-	-	-	۳۳۲۱_۴۳۲۱

تعداد زمین لغزش های رخ داده به تفکیک لیتولوژی هایی که تعداد قابل ملاحظه ای زمین لغزش در آنها رخ داده بود، در طبقات شیبی مختلف و مجموع زمین لغزش در هر طبقه شیبی به تعداد و درصد مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین زمین لغزش در سطوح ارضی با شیب بین ۱۰ تا ۲۰ درصد به وقوع پیوسته است و کمترین زمین لغزش در سطوح ارضی با شیب ۶۰-۴۰ درصد اتفاق افتاده است. در اغلب لیتولوژی ها، تراکم زمین لغزش ها در سطوح

ارضی در محدوده شیب ۲۰-۱۰ درصد رخ داده‌اند؛ فقط در جنس بازالت تراکم زمین لغزش در شیب ۴۰-۲۰ درصد است (شکل ۵ ج).

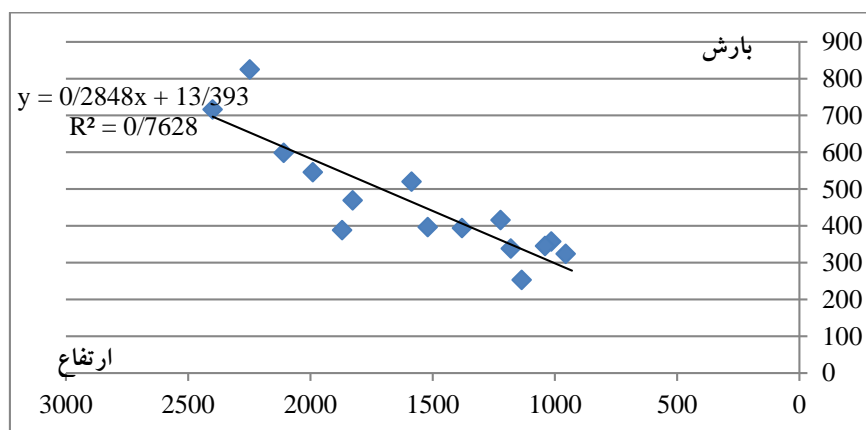
جدول ۴- رخ داد زمین لغزش به تفکیک لیتولوژی‌های غالب در طبقات شیب حوضه شاهرود

طبقات شیب	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۴۰	۴۰-۶۰	>۶۰
مارن و کنگلومرا	۷	۱۷	۳۷	۱۳	۱	-
بازالت	۴	۵	۱۵	۱۹	-	-
ماسه سنگ	-	۳	۱۳	۸	-	-
توف سبز	۱	۲	۱۳	۵	-	-
زمین لغزش	۱۴	۳۱	۸۹	۴۸	۱	-
درصد زمین لغزش (%)	۷/۶۵	۱۶/۹۴	۴۸/۶۳	۲۶/۲۳	۰/۵۵	-

ارتفاع، نقش حیاتی در تغییر فضای هیدرولوژیکی (رطوبت خاک، جریان آب‌های زیرزمینی) و ثبات شیب دارد (قنواتی، ۱۳۹۸)؛ برای بررسی اثر بارش بر رخداد زمین لغزش، در نرم‌افزار اکسل بین ارتفاع و میزان بارش ایستگاه‌ها، رابطه رگرسیونی برآورد گردید (شکل ۳). با استفاده از رابطه (۷) با ضریب تبیین ($R^2=0.7628$) و DEM منطقه در نرم‌افزار ArcGIS10.3 ارتفاع لایه بارشی منطقه استخراج گردید (شکل ۵ ت).

$$y=0.2848x+13.393$$

رابطه (۷)



شکل ۳- نمودار ترسیمی رگرسیونی در اکسل (رابطه ارتفاع و بارش)

برای بررسی اثرگذاری تغییرات بارش بر زمین لغزش، سطوح ارضی حوضه شاهرود با استفاده از طبقه‌بندی لیتنی اسکلی، پهنه‌بندی گردید (جدول ۵).

بررسی توزیع زمین لغزش‌ها در واحد سطح اقلیم‌های مختلف بارشی، دال بر این است در محدوده اقلیمی معتدل نیمه‌خشک و معتدل با بارش ۶۸۵-۴۵۰ میلیمتر بیشترین زمین لغزش رخ داده است (به ترتیب ۶۰ و ۴۰ زمین لغزش)؛ دقت در توزیع زمین لغزش در واحد سطح (کیلومتر مربع)، دال بر آن است که در هر ۱۴ کیلومترمربع از اقلیم نیمه‌خشک (بارش ۳۱۵-۲۵۰ میلیمتر)، سپس در هر ۱۶ کیلومترمربع از اقلیم معتدل (بارش ۵۶۵-۴۵۰ میلیمتر) و بالاخره در سطوح ارضی با اقلیم معتدل نیمه‌خشک در هر ۱۹ کیلومترمربع یک زمین لغزش رخ داده است.

جدول ۵- طبقات بارش بر اساس طبقه‌بندی لیتین اسکی (داودی، ۱۳۹۲)

نام عنصر	نام طبقه	محدوده طبقه اصلی	محدوده طبقه فرعی	تعریف	زمین لغزش	مساحت	تراکم	درصد مساحت
بارش به میلیمتر	خشک	P<250	۰-۸۰	خیلی خشک	-	-	-	-
			۸۰-۱۷۰	خشک	-	۷۲/۱۴	-	۱/۴۸
			۱۷۰-۲۵۰	خشک ضعیف	۱	۲۰۶/۲۴	۲۰۶/۲۴	۴/۲۴
	نیمه‌خشک	250≤P<450	۲۵۰-۳۱۵	نیمه‌خشک نسبتاً خشک	۱۸	۳۲۴/۳۶	۱۸	۶/۶۷
			۳۱۵-۳۸۵	نیمه‌خشک	۳۰	۴۳۳/۶	۱۴	۸/۹۱
			۳۸۵-۴۵۰	نیمه‌خشک معتدل	۲۷	۵۳۵/۴۲	۱۹	۱۱/۰۱
	معتدل	450≤P<800	۴۵۰-۵۶۵	معتدل نیمه‌خشک	۶۰	۹۸۳/۳۹	۱۶	۲۰/۲۲
			۵۶۵-۶۸۵	معتدل	۴۰	۹۶۱/۷۸	۲۴	۱۹/۷۷
			۶۸۵-۸۰۰	معتدل نیمه مرطوب	۵	۵۸۳/۴۷	۱۰۷	۱۱/۹۹
	نیمه مرطوب	800≤P<1350	۸۰۰-۹۸۰	نیمه مرطوب خفیف	۲	۶۱۳/۵	۳۰۶	۱۲/۶
			۹۸۰-۱۱۶۵	نیمه مرطوب	-	۱۴۸/۴۷	-	۳/۰۵
			۱۱۶۵-۱۳۵۰	نیمه مرطوب نسبتاً مرطوب	-	۲/۰۶	-	۰/۰۴

جاده یکی از عوامل تحریک‌کننده دامنه‌ها برای رخداد زمین لغزش، توسط انسان احداث می‌شود که هم به‌صورت جاده و ریل آهن قابل بررسی است. فاصله زمین لغزش‌ها نسبت به جاده در ۷ طبقه، ۰-۱۰۰، ۱۰۰-۲۰۰، ۲۰۰-۳۰۰، ۳۰۰-۴۰۰، ۴۰۰-۵۰۰، ۵۰۰-۱۰۰۰ و ۱۰۰۰ متر یا بیشتر قرار گرفت (جدول ۶ و شکل ۵ ث).

جدول ۶- رخداد زمین لغزش با توجه به فاصله از جاده در حوضه شاهرود

فاصله از جاده	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	>۱۰۰۰
تعداد لغزش	۳۰	۲۵	۱۵	۲۴	۱۴	۴۱	۳۴
درصد لغزش	٪۱۶	٪۱۴	٪۸	٪۱۳	٪۸	٪۲۲	٪۱۹

گسل نیز منجر به اختلاف ارتفاع می‌شود؛ هرچقدر اختلاف ارتفاع ناشی از گسل بیشتر و فاصله از گسل کمتر باشد، تأثیر آن بیشتر خواهد شد؛ باتوجه به ایجاد شکستگی در لایه‌ها، وجود گسیختگی و خرد شدن توده‌های سنگی، سیستمی از درزه‌ها و شکاف‌ها در مسیر گسل ایجاد می‌شود و در نتیجه با افزایش نفوذ آب به داخل زمین، مقاومت برشی دامنه کاهش می‌یابد و بستر مناسب برای لغزش فراهم می‌گردد (صفاری، ۱۳۹۵). برای بررسی اثرگذاری گسل بر زمین لغزش، بافرهایی با فواصل ۵۰۰ متری از گسل‌های منطقه استخراج و تحلیل گردید. به دلیل اثر کمتر فاصله از گسل بر زمین لغزش‌های حوضه شاهرود، نسبت به اثرگذاری فاصله از دو عامل خطی قبلی، فاصله از گسل با اختلاف ۵۰۰ متری طبقه‌بندی و ارزیابی گردید. از اعداد جدول (۷) برمی‌آید که هرچند در تعداد زمین لغزش‌های رخ داده تا فاصله ۱۵۰۰ متری از گسل کاهش قابل‌تأملی دیده می‌شود ولی از فاصله ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متری افزایش و از فاصله به بعد تغییرات چندان قابل‌توجه‌ای در تعداد زمین لغزش‌ها دیده نمی‌شود (شکل ۵ ح).

جدول ۷- رخ داد زمین لغزش باتوجه به فاصله از گسل در حوضه شاهرود

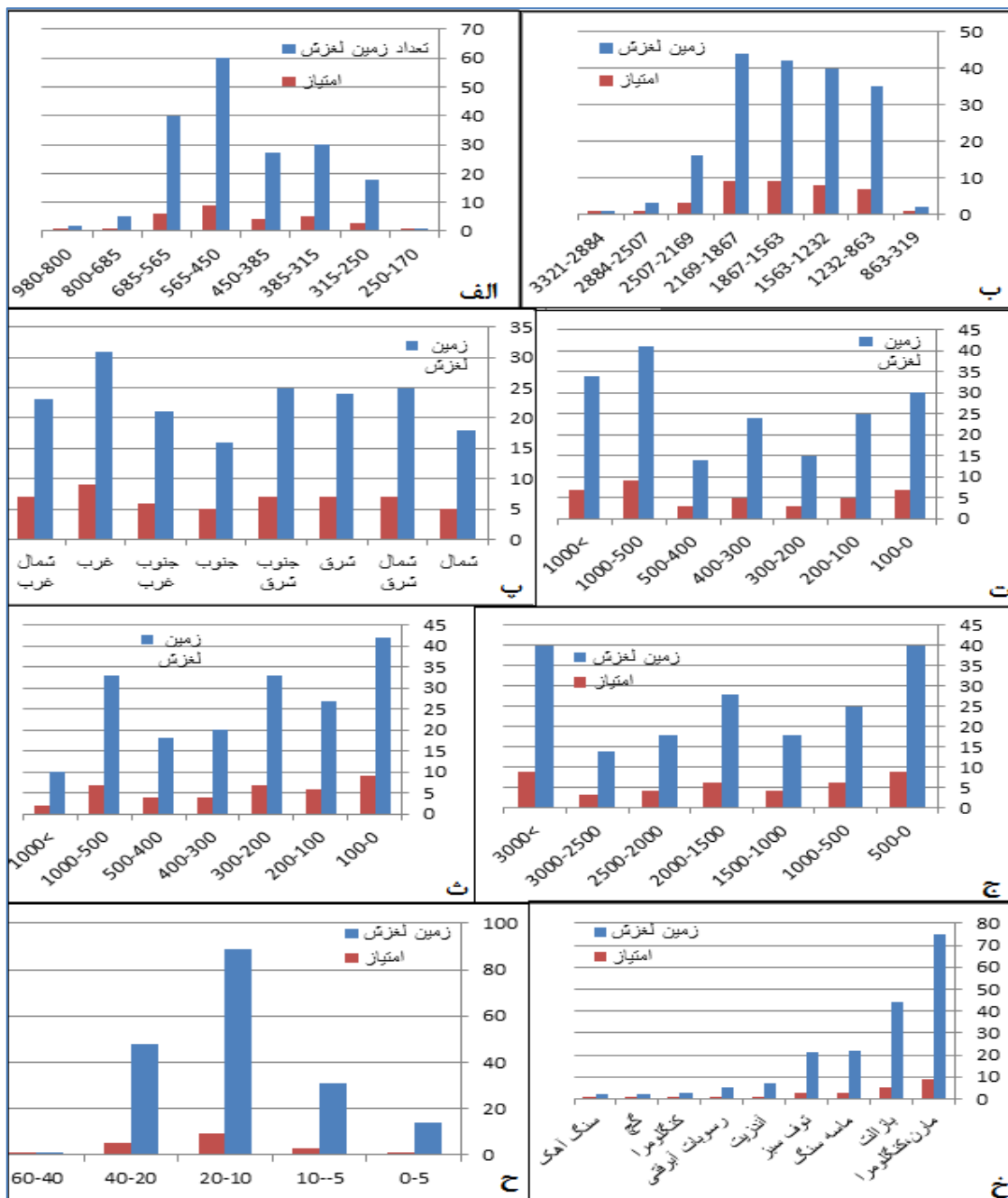
فاصله از گسل	۰-۵۰۰	۱۰۰۰-۵۰۰	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۲۵۰۰-۲۰۰۰	۳۰۰۰-۲۵۰۰	>۳۰۰۰
تعداد لغزش	۴۰	۲۵	۱۸	۲۸	۱۸	۱۴	۴۰
درصد لغزش	٪۲۲	٪۱۴	٪۱۰	٪۱۵	٪۱۰	٪۸	٪۲۲

رودخانه نقش منفی در پایداری یک دامنه از طریق برش فرسایش، اشباع دامنه‌ها و افزایش نفوذ آب دارد (قنواتی، ۱۳۹۸). فواصل از رودخانه در ۷ طبقه کلاسه‌بندی شد (جدول ۸). هرچقدر فاصله از رودخانه کمتر و شرایط شیب و جنس زمین مساعدتر باشد، بستر ایجاد زمین لغزش، مساعدتر می‌گردد (شکل ۵ خ).

جدول ۸- رخداد زمین لغزش باتوجه به فاصله از رودخانه در حوضه شاهرود

فاصله از رودخانه	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-۴۰۰	۴۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	>۱۰۰۰
تعداد لغزش	۴۲	۲۷	۳۳	۲۰	۱۸	۳۳	۱۰
درصد لغزش	٪۲۳	٪۱۵	٪۱۸	٪۱۱	٪۱۰	٪۱۸	٪۵

با استفاده از یافته‌های ناشی از ارزیابی عوامل مختلف، به هر بازه از متغیرهای وابسته به عوامل مختلف اثرگذار (شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه، فاصله از گسل، بارش و نوع لیتولوژی)، امتیازی بین ۱ تا ۹ داده شد (شکل ۴)؛ و با توجه به امتیازهای اختصاص داده شده به هر عامل، لایه‌های اطلاعاتی زمین لغزش برای اجراء در مدل آنتروپی شانون استخراج گردید (برای بعضی از عوامل که لایه به صورت وکتوری بود به رستر تبدیل گردید) (شکل ۵).



شکل ۴- امتیاز اختصاص یافته به هر یک از عوامل هشت گانه مؤثر در زمین لغزش حوضه شاهرود. الف) بارش. ب) ارتفاع. پ) جهت های جغرافیایی. ت) فاصله از جاده. ث) فاصله از رودخانه. ج) فاصله از گسل. ح) طبقات شیب. خ) لیتولوژی.

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه، مقدار P_{ij} با استفاده از رابطه (۱) و مقدار K از رابطه (۳) به دست آمده است و برای محاسبه E_j برای هر عامل از رابطه (۲) استفاده شده است (جدول ۹). در رابطه (۲)، (E_j) از توزیع احتمال (P_i) بر اساس سازوکار آماری محاسبه شده و مقدار آن در صورت تساوی (P_i) ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (اصغریور، ۱۳۸۵). در گام بعدی عدم اطمینان یا درجه انحراف هر معیار (D_j) که از کسر مقدار (E_j) از عدد ۱ حاصل می شود (رابطه ۴) برآورد گردید. سرانجام با استفاده از رابطه (۶) وزن هر یک از عوامل زمین لغزش در ماتریس آنتروپی (W_j) محاسبه گردید (محمدخان، ۱۳۹۳). عواملی که بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین لغزش داشته اند به ترتیب مربوط به لیتولوژی (۲۵/۹) و شیب (۲۰/۱) است. همان طور که از جدول (۱۰) بر می آید لیتولوژی مارن و کنگلومرا بیشترین تأثیر را بر وقوع زمین لغزش ها داشته است. عوامل دیگر به تنهایی در رخداد زمین لغزش مؤثر نیستند و در ترکیب با عوامل دیگر و با برهمکنش با هم منجر به وقوع زمین لغزش شده اند.

جدول ۹- شاخص های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در زمین لغزش

شاخص ها	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از رود	فاصله از گسل	بارش	لیتولوژی
E_j	۰/۹۷۷۰۲۶	۰/۹۹۶۸۶۵	۰/۹۹۰۶۰۲	۰/۹۸۹۷۱۹	۰/۹۸۹۷۲۴	۰/۹۸۹۱۹۴	۰/۹۸۳۵۸۸	۰/۹۷۰۹۳۴
D_j	۰/۰۲۲۹۷۴	۰/۰۰۳۱۳۵	۰/۰۰۹۳۹۸	۰/۰۱۰۲۸۱	۰/۰۱۰۲۷۶	۰/۰۱۰۸۱	۰/۰۱۶۴۱۲	۰/۰۲۹۰۶۶
W_j	۰/۲۰۴۴۸۹	۰/۰۲۷۹	۰/۰۸۳۶۵۵	۰/۰۹۱۵۰۸	۰/۰۹۱۴۶۵	۰/۰۹۶۱۸۵	۰/۱۴۶۰۸	۰/۲۵۸۷۱۸

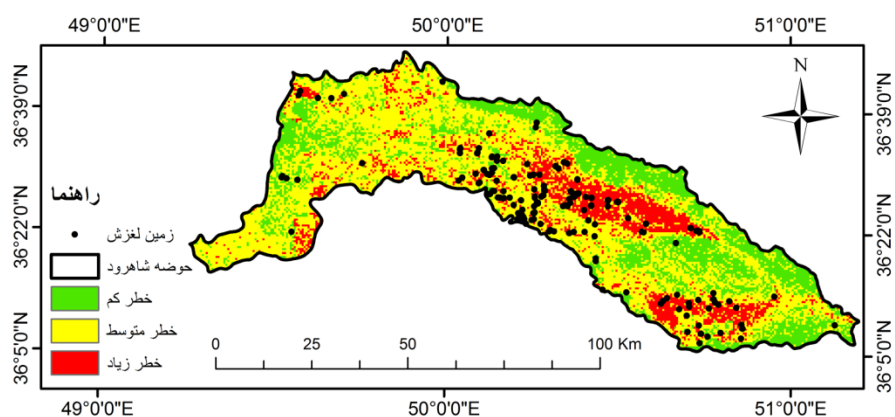
جدول ۱۰- درصد تأثیر عوامل مؤثر در زمین لغزش ها

عوامل مؤثر	شیب	جهت شیب	ارتفاع	فاصله از جاده	فاصله از رود	فاصله از گسل	بارش	لیتولوژی
درصد تأثیر	۲۰/۱	۲/۸	۸/۴	۹/۲	۹/۲	۹/۷	۱۴/۷	۲۵/۹

بعد از امتیازدهی و استخراج لایه های رستری، امتیاز داده شده از طریق رابطه (۸) بر روی لایه ها در ArcGIS اعمال گردید و نقشه نهایی خطر زمین لغزش حوضه شاهرود استخراج گردید (شکل ۶).

$$H_j = (S \times 2) + (L \times 26) + (E \times 08) + (DR \times 09) + (A \times 02) + (R \times 15) + (Df \times 09) + (Dr \times 09) \quad (8)$$

در رابطه (۸)، S : شیب، L : لیتولوژی، E : ارتفاع، DR : فاصله از رودخانه، A : جهت جغرافیایی، R : بارش، Df : فاصله از گسل، Dr : فاصله از جاده می باشد.



شکل ۶- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه شاهرود

بر اساس شکل (۶) وضعیت سطوح ارضی در پهنه‌های مختلف از نظر خطر زمین‌لغزش مشخص گردید و توزیع سطوح حوضه شاهرود از این نظر برآورد شد (جدول ۱۱).

جدول ۱۱- مساحت و درصد پهنه‌های خطر زمین‌لغزش حوضه شاهرود

منطقه	مساحت (کیلومترمربع)	درصد مساحت	تعداد زمین‌لغزش	درصد زمین‌لغزش
کم‌خطر	۲۶۳/۴۷	۵/۴۴	۴	۲/۱۹
خطر متوسط	۲۵۵۳/۸	۵۲/۷۶	۴۲	۲۲/۹۵
پرخطر	۲۰۲۲/۸۵	۴۱/۷۹	۱۳۷	۷۴/۸۶
مجموع	۴۸۴۰/۱۳	۱۰۰	۱۸۳	۱۰۰

بر اساس جدول (۱۱) که خلاصه‌ای از کاربرد مدل آن‌تروپی شانون در پهنه‌بندی سطوح ارضی حوضه شاهرود از نظر زمین‌لغزش است، پهنه‌های پرخطر ۴۱/۷۹٪ و متوسط ۵۲/۷۶٪ از مساحت حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. ترکیب لایه‌های هشت‌گانه اثرگذار، مورفولوژی منطقه و توزیع زمین‌لغزش‌های رخ داده در حوضه شاهرود دال بر تراکم پهنه‌های خطر و زمین‌لغزش در دو قسمت مختلف حوضه است: یکی در مرکز زیرحوضه طالقان جایی که گسترش حوضه به‌گونه‌ای بوده که در گذشته طبق یافته‌های (صمدزاده، ۱۳۹۸) به‌صورت حوضه آبریز بسته بوده و دریاچه طالقان نام داشته و در شرایط کنونی نیز با احداث سد طالقان نقش دریاچه سد را اعمال می‌نماید و دیگری بعد از پیوستن حوضه الموت با طالقان و شکل‌گیری رودخانه شاهرود است که نقش زمین‌لغزش‌ها را در وحدت سرشاخه‌های اصلی و شکل‌گیری شاهرود نشان می‌دهد؛ چرا که در هر دو منطقه عرض حوضه‌ها گسترش پیدا می‌کند و حریم اثرگذاری رودخانه‌ها بیشتر شده است. تمرکز زمین‌لغزش در دامنه‌های جنوبی این مناطق بیشتر شده

و محل فرود خط الرأس ارتفاعات شمالی قزوین، شکل گرفته و ارتباط بین حوضه شاهرود با قزوین و دیگر ساکنان ایران مرکزی، از طریق چندین گردنه فراهم شده است. اثرگذاری بردارهای مختلف مؤثر بر زمین لغزش در حوضه شاهرود به گونه‌ای است که باتوجه به تراکم زمین لغزش‌های رخ داده و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش شانون، می‌توان چنین اذعان نمود که یکی از مهم‌ترین عوامل تغییردهنده لندفرم‌های حوضه، در طی کوترنری، زمین لغزش و حرکات دامنه‌ای بوده است.

۴- جمع بندی

زمین لغزش یکی از این رخدادهای ژئومورفولوژیکی است که شناخت دقیق آن مورد توجه محققان مختلف علوم زمین و بخصوص ژئومورفولوژیست‌ها است؛ عوامل متعددی زمین لغزش را تحت تأثیر قرار می‌دهند که باتوجه به بردار فضا - زمان، نقش علت لازمه و کامله، در هر موقعیت زمانی و مکانی، به یکی از آن‌ها بیشتر معطوف می‌شود. گسل، آبراهه، جاده لیتولوژی، شیب، جهت شیب، مقدار بارش و ارتفاع عواملی هستند که در وقوع زمین لغزش‌های حوضه شاهرود این مقاله مورد بررسی قرار گرفتند. توزیع زمین لغزش در لیتولوژی‌های مارن، کنگلومرا، ماسه سنگ، توف سبز و بازالت، دال بر این است که تراکم زمین لغزش‌ها بیشتر از میزان حساسیت لیتولوژی در مقابل فرسایش تبعیت می‌نماید؛ وقوع زمین لغزش در لیتولوژی‌های مقاوم‌تر، ناشی از میانگین عوامل دیگر اثرگذار با عامل لیتولوژی است. بیشترین زمین لغزش‌ها در مناطق پرخطر پهنه‌بندی شانون، در لیتولوژی‌های مارن، کنگلومرا و بازالت (۶۴/۹۷ درصد از زمین لغزش‌ها) رخ داده‌اند. مناطق پرخطر لیتولوژی مارن در حوضه طالقان در اطراف رودخانه اصلی و در حوضه شاهرود و الموت نیز علاوه بر اطراف رودخانه‌های اصلی، در قسمت آبگیر سرشاخه‌ها، از محل خروج از سینوزیته کوهستان تا محل ریزشگاه به رودخانه اصلی رخ داده‌اند. همچنین مناطق لیتولوژی بازالت در ادغام با مناطق پرخطر در حوضه طالقان، الموت و شاهرود، اغلب در مجاورت لیتولوژی مارن رخ داده‌اند. اکثر زمین لغزش‌ها در لیتولوژی بازالت در مکانی رخ داده‌اند که فرسایش قهقرایی مسلط در لیتولوژی‌های حساس در مقابل فرسایش، در مجاورت لیتولوژی بازالت، تغییر شیب شدیدی را به وجود آورده‌اند. علاوه بر آن قرارگیری یا هم‌جواری لیتولوژی مقاوم در مقابل فرسایش (کنگلومرا)، در بین یا مجاورت لیتولوژی‌های آسیب پذیرتر (مارن سیلتستون)، شرایط وقوع زمین لغزش را بسیار مساعدتر نموده است؛ زمین لغزش‌های بزرگی همچون معلم کلایه در چنین شرایطی رخ داده است. در اثرگذاری شیب به‌عنوان یک عامل در وقوع زمین لغزش، این گونه تصور می‌شود که با افزایش شیب سطوح ارضی، احتمال وقوع زمین لغزش نیز بیشتر می‌شود؛ در صورتی که بررسی‌های انجام شده نشان داد که هرچند افزایش شیب می‌تواند یکی از عوامل اثرگذار بر زمین لغزش باشد ولی تراکم زمین لغزش‌ها در شیب بین ۲۰-۱۰ درصد بیشتر از سایر شیب‌هاست؛ چرا که لیتولوژی‌های حساس در مقابل فرسایش اکثراً در چنین شیبی قرار گرفته یا در طی زمان چنین شیبی پیدا کرده‌اند؛ استثناء اثرگذاری شیب در لیتولوژی بازالت دیده می‌شود که زمین لغزش‌های این نوع از

سنگ بیشتر در شیب ۴۰-۲۰ درصد رخ داده است؛ انطباق پهنه‌بندی شیب و مناطق خطر زمین‌لغزش حوضه شاهرود، دال بر این است که تمرکز مناطق پرخطر در شیب‌های ۴۰-۱۰ درصد اتفاق افتاده است؛ ۷۴/۸۶ درصد زمین‌لغزش‌ها در این طبقه از شیب اتفاق افتاده است. نزدیکی به جاده یکی از عوامل اثرگذار بر زمین‌لغزش محسوب می‌شود؛ بررسی‌های به عمل آمده نشان داد که علی‌رغم کاهش زمین‌لغزش‌ها با دور شدن از جاده ولی تراکم زمین‌لغزش‌ها در فاصله ۴۰۰-۵۰۰ متری، بیشتر از طبقه ماقبل خود است. بردار رودخانه با شستشوی دامنه‌ها، حمل رسوبات آبرفتی، حفر مسیر خود و پایین انداختن سطح اساس در رخدادهای زمین‌لغزش نقش مهمی دارد. در بررسی اثرگذاری رودخانه، مشخص گردید که تعداد زمین‌لغزش‌ها با فاصله از رودخانه کاهش می‌یابد ولی در فاصله ۳۰۰-۲۰۰ متری، زمین‌لغزش‌های بیشتری نسبت به طبقه ماقبل، رخ داده است. بیشترین زمین‌لغزش‌ها در طبقات بارشی نیمه‌خشک و معتدل (۶۸۵-۳۱۵ میلی‌متر)، رخ داده‌اند (۸۵/۷۹ درصد). بیشترین زمین‌لغزش در فاصله ۳۰۰-۲۰۰ متر از رودخانه (۵۵/۷۴ درصد)، در فاصله ۵۰۰-۰ متر از گسل و در فاصله ۱۰۰۰-۵۰۰ متر از جاده رخ داده‌اند. وقوع اکثر زمین‌لغزش‌ها در ارتفاع بین ۲۱۶۹-۸۶۲ متر، در حوضه‌ای که سطوح ارضی‌ای تا ارتفاع بیش از ۴۰۰۰ متر دارد دلیل دیگری بر اثرگذاری میانگنش عوامل اثرگذار است. میانگنش بین بردارهای شناخته شده و عوامل محیطی نادیده گرفته شده به گونه‌ای عمل کرده که بیشترین زمین‌لغزش‌ها در سطوح ارضی با بارش ۳۱۵-۲۵۰ و ۵۶۵-۴۵۰ میلی‌متر رخ دهد. با این که شیب‌هایی که در سطوح ارضی به سمت شمال دارند، باتوجه به زمان پاسخ طولانی‌تر در مقابل بارش، برای وقوع زمین‌لغزش مساعدتر هستند ولی باتوجه به برهمکنش با عوامل دیگر، زمین‌لغزش‌ها به ترتیب در جهات غربی، شمال‌غرب، جنوب غرب، شمال و جنوب، رخ داده‌اند. چنین تغییراتی در توزیعی زمین‌لغزش می‌تواند تبعیت غیرخطی این رخدادهای ژئومورفولوژیکی را از عوامل اثرگذار نمایان نماید و نشان دهد آنچه بیش از همه در وقوع زمین‌لغزش اهمیت دارد برهمکنش بین عوامل است تا اثرگذاری عوامل به صورت مجرد و انتزاعی. در نتیجه نباید بررسی اجزاء، محقق را از درک کل بازدارد چرا که معمولاً کل مجموعه ریاضی از اجزاء نیست و در سیستم‌های باز که معمولاً مورد توجه علوم زمین قرار دارند، در وقوع رخدادها، کل بیش از مجموع اجزاء، نقش ایفا می‌کند. مناطق پرخطر بیشتر در نزدیکی رودخانه‌های الموت و طالقان و شاهرود (پس از ادغام) اتفاق افتاده است. در حوضه طالقان این مناطق در سطوح ارضی وابسته به دامنه‌های شمالی تمرکز بیشتری دارند؛ در صورتی که در حوضه الموت، این مناطق در دامنه‌های جنوبی رودخانه الموت در نزدیکی روستاهای آوانک، زرشک رود سفلی، یالان، فیشان بیشتر می‌شود. در حوضه شاهرود این مناطق در دامنه‌های شمالی حوضه تمرکز بیشتری دارند تا در دامنه‌های جنوبی. باتوجه به جهات جغرافیایی هشت‌گانه بیشترین زمین‌لغزش‌ها در سطوح ارضی با جهت غربی اتفاق افتاده است که در ادغام با مناطق پرخطر در حوضه طالقان در نزدیکی روستاهای فشندک کرو، گلیرود، ارموت و کشرود و در حوضه الموت و شاهرود در نزدیکی روستاهای فیشان، امیران، میانخانی، حسن‌آباد، چرشدره، حسن‌آباد و سرخه

دوزدک رخ داده‌اند. بیشترین زمین‌لغزش‌ها در ارتفاع بین ۲۱۶۹-۸۲۳ متر رخ داده‌اند (۸۷/۹۷ درصد) و در انطباق با مناطق پرخطر در حوضه طالقان در نزدیکی روستاهای گلرود، میان بیشه، جزینان، دنبلید و کش رود واقع شده‌اند.

کتابنامه

- احمدی، حسن؛ ۱۳۹۱. ژئومورفولوژی کاربردی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران. چاپ هشتم. ۶۸۸ ص.
- احمدی، زهرا؛ ۱۳۹۳. معماری پایدار: الگوهای پایداری در معماری ایران. تهران: نشر اول و آخر. ۱۳۲ ص.
- اصغر پور، محمدجواد؛ ۱۳۸۵. تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره. چاپ چهارم. ۴۰۰ ص.
- پاسبان، عفت، خدابخش، سعید؛ غریب‌رضا، محمدرضا؛ ملکی، مه‌ری؛ رفیعی، بهروز؛ ۱۳۹۶. برآورد و واکاوی رواناب و انتقال رسوب و تأثیر آن بر سیستم رسوبی رودخانه‌های الموت و شاهرود (شمال استان قزوین). *دوفصلنامه رسوب شناسی کاربردی*. ۵(۹)، ۹۹-۱۱۵. <http://doi.org/10.22084/psj.2017.1958>
- خسروی، مریم؛ سلاجقه، علی؛ مهدوی، محمد؛ محسنی ساروی، محسن؛ ۱۳۹۱. پیش‌بینی سیل با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیره غیرخطی (مطالعه موردی: طالقان). *مرتع و آبخیزداری*. شماره ۶۵. دوره ۳. ۳۴۱-۳۴۹. <http://doi.org/10.22059/jrwm.2012.30022>
- دارابی شاه‌ماری، سحر؛ صفاری، امیر؛ ۱۳۹۸. برآورد حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل رگرسیون لجستیک و شاخص آنتروپی (مطالعه موردی: ارتفاعات شهرستان دالاهو). *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. سال ششم. شماره ۲. ص ۱۸۰-۱۶۵. <http://doi.org/10.29252/jsaeh.6.2.165>
- داودی، محمود؛ بای، ناصر؛ ابراهیمی، امید؛ ۱۳۹۲. طبقه‌بندی اقلیمی استان مازندران بر اساس روش لیتین اسکی. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*. دوره ۲۲. شماره ۸۸. ص ۱۰۰-۱۰۵. https://www.sepehr.org/article_25656.html
- دریو، ماکس؛ ۱۳۸۹. مبانی ژئومورفولوژی. ترجمه: مقصود خیام. انتشارات مینا. چاپ پنجم. ۳۹۲ ص.
- راس، کلی؛ ۱۳۸۹. *مبانی فلسفی و روانشناختی ادراک فضا*. مترجم: آرش ارباب جلفایی. نشر خاک. اصفهان. ۱۲۴ ص.
- روستایی، شهرام؛ مختاری کشکی، داود؛ اشرفی فینی، زهرا؛ ۱۳۹۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز طالقان با استفاده از شاخص آنتروپی شانون، *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*. سال ۲۴. شماره ۷۱. ص ۱۵۰-۱۲۵. <http://doi.org/10.22034/GP.2020.10631>
- رولف، دوبلی؛ ۱۳۹۴. *هنر شغاف اندیشیدن*. مترجم: عادل فردوسی پور، بهزاد توکلی و علی شهروز. تهران: نشر چشمه. ۳۲۵ ص.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰.
- سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ قزوین-رشت.
- سازمان وزارت نیرو (شرکت مدیریت منابع آب ایران)، دفتر مطالعات پایه منابع آب.
- شاه زیدی، سمیه سادات؛ حیاتی زاده، رؤیا؛ ۱۳۹۸. بررسی زمین‌لغزش‌های منطقه پشت کوه فریدون‌شهر با استفاده از مدل آنتروپی. *جغرافیا و توسعه*. شماره ۵۴. ص ۳۷-۵۰. <http://doi.org/10.22111/gdij.2019.4337>

- صفاری، امیر؛ هاشمی، معصومه؛ ۱۳۹۵. پهنه‌بندی حساسیت وقوع زمین‌لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). *فصلنامه جغرافیای طبیعی*. سال نهم. شماره ۳۴. ص ۶۲-۴۳.
- https://jopg.larestan.iau.ir/article_531681.html
- صمدزاده، رسول؛ ۱۳۹۸. ژئومورفولوژی ایران، انتشارات سمت (سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها). چاپ اول. ۴۸۶ ص.
- فلاح ززولی، محمد؛ وفایی نژاد، علیرضا؛ آل شیخ، علی اصغر؛ مدیری، مهدی؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات در محیط GIS، مطالعه موردی: بخش رودبار الموت شرقی استان قزوین. *فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*. دوره ۲۸. شماره ۱۱۲. ص ۱۳۶-۱۲۳.
- <https://doi.org/10.22131/sepehr.2020.38611>
- فیض‌اله پور، مهدی؛ منافی، مرضیه؛ خوش‌رفتار، رضا؛ خسروی، یونس؛ ۱۴۰۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبریز طالقان). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*. سال بیست و یکم. شماره ۶۲. ص ۹۵-۱۱۴.
- <http://doi.org/10.52547/jgs.21.62.95>
- قنوتی، عزت‌اله؛ احمدآبادی، علی؛ غلامی، معصومه؛ ۱۳۹۸. ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی و الگوریتم ماشین‌های پشتیبان بردار (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کن). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. سال هشتم. شماره ۱. ص ۱۶-۳۳.
- https://www.geomorphologyjournal.ir/article_91723.html
- قهرمانی، شهاب؛ ثروتی، محمدرضا؛ ۱۳۸۷. مطالعه ژئومورفولوژی و فرسایش در حوضه آبریز الموت رود، *جغرافیایی سرزمین*. دوره ۵. شماره ۱. ص ۴۵-۶۲.
- https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_5834.html
- محمدخان، شیرین؛ ویسی، عبدالکریم؛ باقری، کیوان؛ ۱۳۹۳. پتانسیل سنجی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه موردی: منطقه کوهستانی شیر پناه در جنوب غرب استان کرمانشاه. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*. سال یازدهم. شماره ۴۴. ص ۸۹-۱۰۲.
- https://sarzamin.srbiau.ac.ir/article_7991.html
- مصفايي، جمال؛ اونق، مجید؛ مصداقی، منصور؛ شریعت جعفری، محسن؛ ۱۳۸۸. مقایسه کارایی مدل‌های تجربی و آماری پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: آبخیز الموت رود). *مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌وخاک*. جلد شانزدهم. شماره چهارم. ص ۴۳-۶۱.
- https://jwsc.gau.ac.ir/article_542.html
- مقیمي، ابراهیم؛ باقری سید شکری، سجاد؛ صفرراد، طاهر؛ ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نسا زاکرس شمال غربی). *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. شماره ۷۹. ص ۷۷-۹۰.
- <http://doi.org/10.22059/JPHGR.2012.24735>
- مقیمي، ابراهیم؛ علوی‌پناه، سیدکاظم؛ 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. ص ۵۳-۷۵.
- https://jphgr.ut.ac.ir/article_26906.html
- مقیمي، ابراهیم؛ نگهبان، سعید؛ ۱۳۹۱. بررسی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز رودخانه‌ی شور فدामी (استان فارس) با استفاده از مدل آنتروپی. *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*. سال ۴۴. شماره ۳. ص ۱۶-۱.

<http://doi.org/10.22059/JPHGR.2012.29211>

- Annells, R. N., Arthurton, R. S., Bazley, R. A., & Davies, R. G., 1975. Explanatory text of the Qazvin and Rasht quadrangles map: Tehran. *Geological Survey of Iran*, Geological Quadrangles Nos, E3, E4.
- Constantin, M., Bednarik, M., Jurchescu, M. C., & Vlaicu, M., 2011. Landslide susceptibility assessment using the bivariate statistical analysis and the index of entropy in the Sibiciu Basin (Romania). *Environmental earth sciences*, 63(2), 397-406. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-010-0724-y>.
- Moayeri, M., Ramesht, M. H., Saif, A. Yamani, M., Jafari, G. H., 2011. The impact of mountainous skirts direction of Iran on differences in altitude of wither and ice equilibrium line of the Quaternary. – *Geography and Environmental Planning* 40(4): 1-12. https://gep.ui.ac.ir/article_18474_en.html?lang=en.
- Pasban, E., Khodabakhsh, S., Gharibreza, M., Maleki, M., Rafiei, B., 2017. Estimation and analysis of discharge, sediment transport and its effect on sedimentary processes of Alamut and Shahrud rivers (North of Qazvin Province). *Applied Sedimentology*, 5(9), 99-115. https://psj.basu.ac.ir/article_1958.html.
- Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., & Gokceoglu, C., 2012. Remote sensing data derived parameters and its use in landslide susceptibility assessment using Shannon's entropy and GIS. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 225, pp. 486-491). Trans Tech Publications Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.225.486>
- Shadman Roodposhti, M., Aryal, J., Shahabi, H., & Safarrad, T., 2016. Fuzzy shannon entropy: A hybrid gis-based landslide susceptibility mapping method. *Entropy*, 18(10), 343. <https://doi.org/10.3390/e18100343>.
- Zhao, H., Yao, L., Mei, G., Liu, T., & Ning, Y., 2017. A fuzzy comprehensive evaluation method based on AHP and entropy for a landslide susceptibility map. *Entropy*, 19(8), 396. <https://doi.org/10.3390/e19080396>.