

A Survey of Landslides in Central Zagros using Entropy Model Case Study (Aradal-Naghan Region)

Somayeh Sadat Shahzeidi ^{*1}, Mojgan Ghanbari ²

¹ Assistant Prof. of Physical Geography (Geo morphology), University of Guilan, Rasht, Iran

² Mojgan Ghanbari, graduate of geography

Abstract

Today, cities around the world are exposed to natural hazards for many reasons. These risks come with many injuries that require immediate and preventive actions. The occurrence of landslides and hazards has made it necessary to identify and prioritize these sensitive areas. Ardal-Naghan region is located in the southwest of Chaharmahal-Bakhtiari province. The method of this research is descriptive-analytic. In the descriptive section, using the documentary studies and in the analytical section, identifying the effective parameters in the zoning of geomorphic hazards and integrating it with spatial analysis in the GIS of the vulnerable zones in the study area were determined. In this study, firstly, effective factors in hazard zonation were identified. After examining satellite images, geological maps and field studies, effective factors were studied using entropy model. The aim of this research is to determine the zoning of landslide hazard in Ardal-Naghan region using the entropy model in landslide occurrence by identifying effective factors such as slope, direction, distance from fault, distance from the waterway, elevation, geology and so on. According to the entropy model, the results show that 23 percent of landslides are in low-risk area, 25 percent are in moderate risk, and 52 percent of landslides are in high-risk area. This shows that in landslide zoning, the regional entropy model possesses the accuracy and validity.

Key words: Landslide, Entropy Model, Geomorphology, Ardal – Naghan.

بررسی زمین‌لغزش‌های زاگرس میانی با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: منطقه اردل - ناغان)

سمیه سادات شاه زیدی^{*}، استادیار، جغرافیای طبیعی، ژئومورفولوژی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

مژگان قنبری عدیوی، دانش آموخته جغرافیا

وصول: ۱۳۹۵/۰۸/۲۷ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۲۲، صص ۶۸-۵۱

چکیده

امروزه شهرها در نقاط مختلف دنیا به دلایل متعدد در معرض آسیب ناشی از مخاطرات طبیعی قرار دارند. این مخاطرات آسیب‌های بسیاری می‌رسانند که نیازمند اقدامات فوری و پیشگیرانه است. وقوع زمین‌لغزش و مخاطرات آن، شناسایی و اولویت‌بندی این مناطق حساس را ضرورت بخشیده است. منطقه اردل - ناغان از جمله این مناطق است که در جنوب غربی استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد. روش انجام این پژوهش توصیفی - تحلیلی است که در بخش توصیفی با استفاده از مطالعات اسنادی و در بخش تحلیلی با شناسایی عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفیک و تلفیق آن با تحلیل‌های فضایی در سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، پهنه‌های آسیب‌پذیر در محدوده مدنظر مشخص شد. در این پژوهش نخست عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی مخاطرات شناسایی و پس از بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی و مطالعات میدانی عوامل مؤثر با استفاده از مدل آنتروپی ارزیابی شد. هدف پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه اردل - ناغان با استفاده از مدل آنتروپی در وقوع زمین‌لغزش‌ها با شناسایی عوامل مؤثر نظیر شیب، جهت شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، طبقات ارتفاعی و زمین‌شناسی است. با توجه به مدل آنتروپی نتایج نشان می‌دهد ۲۳ درصد از زمین‌لغزش‌ها در محدوده کم‌خطر، ۲۵ درصد در محدوده با خطر متوسط و ۵۲ درصد از زمین‌لغزش‌ها در منطقه پرخطر واقع می‌شود که با مدل آنتروپی مشخص شد و این مسئله نشان می‌دهد در پهنه‌بندی لغزش‌های منطقه‌ای، مدل آنتروپی دقت و روایی لازم را دارد.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لغزش، مدل آنتروپی، ژئومورفولوژی، منطقه اردل - ناغان.

مقدمه

کوتاه‌مدت سیستم‌های طبیعی را بر هم می‌زنند و شرایط مناسبی را برای فعالیت‌های فرسایشی فراهم می‌کنند؛ فرم ژئومورفیک، دامنه‌ها را همواره دستخوش تغییرات و تحولات زیادی قرار می‌دهد؛ بنابراین شناخت و تحلیل لغزش‌های دیرینه و جدید به‌منزله فرایندی در تحول دامنه‌ها بسیار ضروری است. دوم اینکه این پدیده خطرات طبیعی بزرگی را مانند تخریب روستاها و شهرها، جاده‌ها و زمین‌های کشاورزی ایجاد می‌کند، اما در بعضی از لغزش‌های قدیمی آثار مدنیت گذشته و حتی مدنیت‌های ناپایدار فصلی جدید دیده می‌شود؛ بنابراین شناخت و بررسی این پدیده از جنبه‌های مختلف برای برنامه‌ریزی در آمایش سرزمین و مدیریت محیط و کاربری زمین بسیار مؤثر است (انتظاری، ۱۳۹۰: ۳).

پیشینه پژوهش

در این راستا مطالعات بسیاری صورت گرفته است که در زیر به بعضی از آنها اشاره می‌شود: پورقاسمی و همکاران (۲۰۱۲) مناطق حساس به زمین‌لغزش را با استفاده از شاخص‌های آنتروپی و مدل احتمالات شرطی در جی‌آی‌اس در منطقه صفارود بررسی کردند. مکان لغزش‌ها با استفاده از عکس‌های هوایی و مطالعات میدانی محاسبه شد. لایه‌هایی مثل توپوگرافی زمین‌شناسی و فاکتورهای خاک ایجاد و سپس شاخص‌های آنتروپی (IOE) و مدل احتمالات شرطی (CP) روی منطقه اعمال شد. نتایج نشان داد شاخص IOE کمی بهتر از مدل CP در شناسایی مناطق حساس به زمین‌لغزش بوده است (Pourghasemi et al, 2012: 71).

مطالعات ژئومورفولوژیک نشان می‌دهد بین عوامل محیطی و لندفرم‌های زمین ارتباط وجود دارد. این ارتباط به حدی است که دانشمندان علوم جغرافیایی پدیده‌های سطح زمین را حاصل دو نیروی شکل‌زای بیرونی و درونی می‌دانند (زمردیان، ۱۳۸۱: ۱۶). بیشتر پدیده‌های سطح زمین ناشی از فرایندهایی است که موجودیت خود را مدیون دوران گذشته به‌ویژه دوران چهارم هستند. مخاطرات طبیعی توجه پژوهشگران علوم مختلف مانند اقلیم‌شناسی، جغرافیا و زمین‌شناسی و... را به خود جلب کرده است و همه آنها سعی دارند علل این پدیده و تأثیراتی را تحلیل کنند که چنین تغییراتی بر سطح کره زمین می‌گذارد. در این میان به‌ویژه جغرافی‌دانان با دیدگاه و معرفت‌شناسی خاصی به این پدیده می‌اندیشند (نعمت‌اللهی، ۱۳۸۲: ۱).

پدیده زمین‌لغزش از انواع حرکات دامنه‌ای است. این پدیده سبب جابه‌جایی توده‌ای از مواد در دامنه‌ها می‌شود که در ادوار مختلف زمین‌شناسی صورت گرفته است. همچنین یکی از بلاای طبیعی محسوب می‌شود که به دلیل ایجاد خطرات در مرکز توجه قرار گرفته است. در دهه‌های اخیر رشد سریع جمعیت و گسترش شهرها به طرف نواحی با شیب بیشتر و کوهستانی از یک سو و دخالت هرچه بیشتر بشر در طبیعت از سوی دیگر به‌صورت نگران‌کننده‌ای سبب افزایش تعداد وقوع زمین‌لغزش‌ها و میزان خسارات و تلفات این پدیده شده است.

به‌طورکلی مطالعه لغزش‌ها از جنبه‌های مختلف اهمیت دارد؛ اول اینکه عوامل مناسبی برای تغییرات محیطی‌اند و به‌مثابه فرایندی ژئومورفیک در

- چالوس، بار ترافیکی این مسیر را کاهش و احتمال وقوع زمین‌لغزش را روی این جاده‌ها به دلیل عبور از میان رشته‌کوه‌های البرز افزایش می‌دهد. در این پژوهش برای تعیین خطر زمین‌لغزش روی دامنه‌های کناری جاده چالوس و بزرگراه و در حوضه رودخانه چالوس، عواملی از قبیل توپوگرافی، زمین‌شناسی، گسل‌ها، هیدرولوژی و پوشش گیاهی و برای تعیین خطر روی جاده و بزرگراه، عواملی مانند آزمون شیب بیشینه، فاصله جاده از خاکریزهای کناری و مساحت مؤثر دامنه‌ها در نظر گرفته شد. براساس نتایج به‌دست‌آمده از کل طول جاده در منطقه مدنظر که ۶۶ کیلومتر است، ۱۶ درصد خطر بسیار زیاد و ۴۲ درصد خطر زیاد برای وقوع زمین‌لغزش دارد؛ همچنین از ۱۷ کیلومتر طول بزرگراه در حال ساخت، ۱۲ درصد خطر بسیار زیاد و ۳۳ درصد خطر زیاد برای وقوع زمین‌لغزش دارد (متشرعی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۴۷).

سوری و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهش «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه کسمت با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی» با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی، نقاط مستعد لغزش را شناسایی و نقشه پراکنش زمین‌لغزش را تهیه کردند؛ سپس تأثیر هر یک از عوامل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، جاده و آبراهه را بر ناپایداری شیب‌ها در منطقه تعیین کردند (سوری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۱).

فعله‌گری و همکاران (۱۳۹۲) نقش عوامل انسانی را در ناپایداری دامنه‌ها در جنوب شرقی ایلام به مساحت ۱۸۳۶۰ هکتار با استفاده از مدل پایداری دامنه‌ها (FS) ارزیابی کردند و با بررسی دامنه‌ها و تعیین ضریب پایداری آنها دریافتند جاده‌سازی در

مقیم و همکاران (۱۳۹۱) در منطقه زاگرس شمال غربی در طاق‌دیس نثار، مناطق مستعد رخداد زمین‌لغزش را با مدل آنتروپی بررسی کردند. آنها با توجه به شناخت و بررسی میزان تأثیر عوامل لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب و جهت شیب در وقوع زمین‌لغزش که نقش مهمی را در منطقه بر عهده داشتند، به پهنه‌بندی رخداد زمین‌لغزش و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اقدام و در نهایت راهکارهایی مناسب را برای مدیریت بهینه منطقه از نظر وقوع زمین‌لغزش ارائه کردند (مقیم و همکاران، ۱۳۹۱: ۷۷).

پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش «پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بیزین در بخشی از منطقه گلستان» با بهره‌گیری از نقاط لغزشی بانک اطلاعات زمین‌لغزش کشور، نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های منطقه را تهیه و با استفاده از نظریه احتمالات بیزین، ارتباط هر یک از عوامل (شیب، درجه شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی و...) و نقاط لغزشی موجود را تعیین و وزن طبقه‌های هر عامل را مشخص کردند؛ سپس نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با ۱۴ رویکرد مدل‌سازی با نظریه بیزین برای منطقه تهیه شد و در نهایت دقت مدل احتمالاتی تهیه‌شده با رویکرد دوم مدل‌سازی (حذف عامل جهت شیب از تحلیل‌ها) در منطقه مطالعه‌شده ۷۱ درصد (خوب) برآورد شد (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰۹).

متشرعی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی خطر وقوع زمین‌لغزش را روی جاده توریستی تهران-چالوس پهنه‌بندی کردند که یکی از مهم‌ترین راه‌های ارتباطی میان استان‌های تهران، البرز و شرق استان مازندران است. احداث بزرگراه در حال ساخت تهران

شاه‌زیدی و جعفری (۱۳۹۷) مخاطرات ژئومورفیک مناطق شمال کشور را با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ استان گیلان تحلیل و پهنه‌بندی کردند. در این پژوهش عوامل مؤثر بر پهنه‌بندی مخاطرات شناسایی و سپس به‌منظور سنجش میزان اهمیت هریک از آنها پرسش‌نامه‌ای تدوین شد تا با روش ANP و بر مبنای نظرات کارشناسان در زمینه هریک از عوامل شناسایی‌شده، اهداف پژوهش به دست آید. پس از اخذ نظرات و با استفاده از روش منطق فازی، هریک از معیارها ارزش‌گذاری و ضرایب اهمیت آنها تعیین شد و بر اساس نتایج با استفاده از نرم‌افزار جی.آی.اس ارزیابی فضایی صورت گرفت و پهنه‌های پرمخاطره مشخص شد. نتایج نشان داد به‌کارگیری منطق فازی همراه با تحلیل فضایی جی.آی.اس، ابزاری کارآمد در پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفیک است که به‌خوبی توانایی مدل تحلیلی پژوهش را به اثبات می‌رساند.

چانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸) تکامل ژئومورفولوژیکی زمین‌لغزش‌ها را در شمال تایوان بررسی کردند. آنها از روش‌های سنتی (استفاده از عکس‌های هوایی) و جدید- مدرن (تکنولوژی UAS^۲ و اطلاعات لیدار) برای بررسی زمین‌لغزش‌ها بهره بردند. نتایج نشان داد استفاده از تکنولوژی UAS و اطلاعات لیدار، تصاویر رقومی با رزولوشن زیاد Dtms و DSmsها و مدل‌های سه‌بعدی حقیقی برای بررسی زمین‌لغزش‌های منطقه ارائه می‌دهد و همچنین نحوه تکامل زمین‌لغزش‌های قدیمی و حجم آنها با

دامنه‌های با شیب بیش از ۱۵ درصد باعث کاهش پایداری دامنه‌ها می‌شود؛ از دیدگاه آنها با شناسایی دامنه‌های ناپایدار امکان مشخص کردن عملیات حفاظتی برای افزایش ضریب پایداری دامنه‌ها و افزایش پایداری دامنه‌ها تا ۲۰ درصد فراهم می‌شود (فعله‌گری و همکاران، ۱۳۹۲: ۲۲۷).

اکبر و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی خطر زمین‌لغزش را در منطقه مسکون جیرفت ارزیابی کردند. آنها برای این کار دو روش فازی و هیبریدی فازی اوزان شاهد را به کار بردند و در نهایت با توجه به ترسیم نقشه‌ها به این نتیجه دست یافتند که هر دو روش انطباق خوبی را به‌ویژه در مناطق پرخطر نشان می‌دهند و با زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه مطابقت دارند (روش هیبریدی با احتیاط بیشتر و با توجه به نقاط شاهد، مناطق مستعد لغزش را معرفی می‌کند و در نتیجه مناطق معرفی‌شده نسبت به روش فازی مساحت کمتری را در برمی‌گیرد). نقشه‌های حاصل از دو روش هیبریدی و فازی، به ترتیب حد آستانه‌های مینیمم و ماکزیمم، خطر لغزش را در منطقه نشان می‌دهند (اکبر و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۶۰۱).

مقیم و همکاران (۱۳۹۲) خطر زمین‌لغزش را در شهر رودبار با استفاده از مدل تحلیل شبکه ارزیابی و پهنه‌بندی و آثار زمین‌لغزش شهری را بر روند الگوی توسعه شهر رودبار بیان کردند. نتایج آنها با توجه به ترسیم نقشه نهایی زمین‌لغزش نشان‌دهنده سه محدوده به ترتیب با درجات کم‌خطر (۴ درصد)، خطر متوسط (۷۱ درصد) و خطر زیاد (۲۵ درصد) است که حاکی از فرایندهای مخاطره‌زا در محدوده شهری است (مقیم و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۳).

^۱ Chang et al

^۲ Unmanned Aircraft System

اطلاعاتی به صورت رستر تهیه و میزان آنها کمی گردید. با توجه به ویژگی‌های برداشت‌شده از زمین لغزش‌های منطقه اردل - ناغان، به هر لایه وزنی تعلق گرفت و پس از طبقه‌بندی لایه‌ها، ماتریس آنتروپی برای آنها تشکیل شد. شاخص آنتروپی گویای میزان بی‌نظمی در محیط است. برای استفاده از این مدل، نخست باید ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی به منزله معیاری برای ارزیابی آن به کار می‌رود و با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل عوامل (w_j)، میزان Hi، ضریب وقوع خطر زمین لغزش، به دست می‌آید (مقیم و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۱).

آنتروپی ریشه یونانی دارد. این اصطلاح مرکب از انرژی (En) و (tropos) به معنای تغییر شکل یا تکامل است (Jaynes, 1980: 583). آنتروپی، رفتار پراکندگی و پخش انرژی در یک سیستم است که افزایش یا کاهش می‌یابد و معیار سنجش بی‌نظمی در یک مجموعه یا سیستم دانسته می‌شود (Luna et al, 1963: 327; Bass, 2007: 1); بنابراین آنتروپی یعنی بی‌نظمی و مقدار آن، میزان اختلال و بی‌نظمی را در یک محیط یا سیستم نشان می‌دهد و روند آن را پیش‌بینی می‌کند (Bednarik et al, 2010: 167) یا کمیتی از بی‌نظمی بین علل و نتایج است (wan, 2009: 238).

خطرات و بلایای طبیعی، یکی از مفاهیم جغرافیایی است و مخاطرات طبیعی آن دسته از عناصر محیط طبیعی است که برای هویت‌های انسانی بسیار پرتنش است و عناصر زیان‌آور موجود در محیط فیزیکی برای او محسوب می‌شود (Rosenfeld, 2004: 108; Ayala, 2002: 423). مخاطرات ژئومورفولوژی غالباً اتفاقات محتمل، بزرگ و پویایی‌اند که در زمان و

توجه به ویژگی‌ها و شرایط منطقه ارائه می‌شود (Chang et al, 2018: 709-725).

در پژوهشی دیگر مشخص شد منطقه پشتکوه فریدون‌شهر نیز از مخاطرات طبیعی در امان نبوده است. در مطالعات میدانی و اسنادی و رصد نقشه‌های توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای شناخت عوامل مخاطره‌زا بررسی، تأیید و سعی شد با روش‌های نوین در نرم‌افزار جی.آی.اس موضوع بررسی شود. در این منطقه میزان تأثیر هر یک از عوامل شش‌گانه در رخداد زمین لغزش تعیین شد.

روش‌شناسی پژوهش

این مقاله نتیجه پژوهشی کاربردی است و به روش توصیفی - تحلیلی صورت گرفته است؛ در پژوهش حاضر با توجه به مطالعات اسنادی و میدانی، نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ و ۱/۲۵۰۰۰۰ و مدل رقومی ارتفاعی^۱ (۹۰ متری) منطقه اردل - ناغان بررسی، سپس با استفاده از نرم‌افزار گوگل‌ارث زمین لغزش‌های منطقه مدنظر شناسایی و در ادامه با بازدیدهای میدانی لغزش‌های رخ داده کنترل، برداشت بعضی از زمین لغزش‌ها با جی‌پی‌اس انجام و پس از آن لایه‌های اطلاعاتی تهیه شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌های لازم نرم‌افزار جی.آی.اس به کار رفت. با بررسی و شناسایی زمین لغزش‌ها در منطقه، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی به‌منزله عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش مشخص شد. لایه‌های

^۱ Digital Elevation Model (DEM)

V_j ، درجه انحراف عدم اطمینان است و برای محاسبه وزن نهایی تمام عوامل (w_j) موجود از رابطه ۵ استفاده می‌شود.

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

پس از محاسبه وزن کل (w_j)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در منطقه اردل- ناغان با استفاده از رابطه ۶ ارزیابی می‌شود.

$$H_i = \sum_{i=1}^n w_j \times r_{i,j} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه H_i ، ضریب رخداد خطر زمین‌لغزش، w_j ، وزن نهایی تمام عوامل و $r_{i,j}$ ، وزن هریک از عوامل است. تعداد لغزش‌ها در منطقه اردل - ناغان ۱۵۰ لغزش برآورد شده که با توجه به رابطه $K = (\ln m) - 1$ مقدار k ، ۰/۱۹۹۵۷۵ به دست آمده است.

محدوده پژوهش

شهرستان اردل - ناغان در جنوب غربی استان چهارمحال و بختیاری قرار دارد و موقعیت آن ۵۰ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۱۴ دقیقه عرض جغرافیایی است. مساحت شهرستان ۲۶۷۰ کیلومتر مربع است و با نرم‌افزار جی. آی. اس به دست آمده که حدود یک‌پنجم خاک استان را دربرگرفته است و در ارتفاع ۱۹۸۰ متری از سطح دریا قرار دارد. این شهرستان از شمال به شهرستان فارس، از جنوب به شهرستان ایذه، از شرق به شهرستان لردگان و از غرب به بخش شوراب شهرستان فارس منتهی می‌شود (شکل ۱).

مکان مشخص رخ می‌دهند (Panizze, 2004: 318). برای اجرای مدل آنتروپی نخست در محیط جی. آی. اس لایه‌های اطلاعاتی برای محدوده پژوهش تهیه و با بررسی زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه عوامل تأثیرگذار مثل زمین‌شناسی طبقات ارتفاعی، فاصله از آبراهه، شیب، جهت شیب و فاصله از گسل در وقوع زمین‌لغزش مشخص و لایه‌های اطلاعاتی یادشده به صورت رستر آماده و کمی شد. با توجه به ویژگی‌های برداشت‌شده از زمین‌لغزش‌های منطقه و نظر کارشناسی به هر لایه بر مبنای اهمیت آن در وقوع یا تشدید لغزش امتیازی بین عدد ۱- ۹ داده شد و پس از طبقه‌بندی لایه‌ها ماتریس آنتروپی تشکیل شد. با محاسبه این مدل، وزن نهایی تمام عوامل (w_j) و ضریب رخداد خطر زمین‌لغزش (H_i) به دست می‌آید و به پهنه‌بندی منطقه اقدام می‌شود. مدل آنتروپی به صورت روابط زیر بیان می‌شود (zongji et al, 2010: 1336) در این روابط E_j ارزش آنتروپی، $p_{i,j}$ ماتریس تصمیم‌گیری و $r_{i,j}$ مقدار وزن هریک از لایه‌هاست.

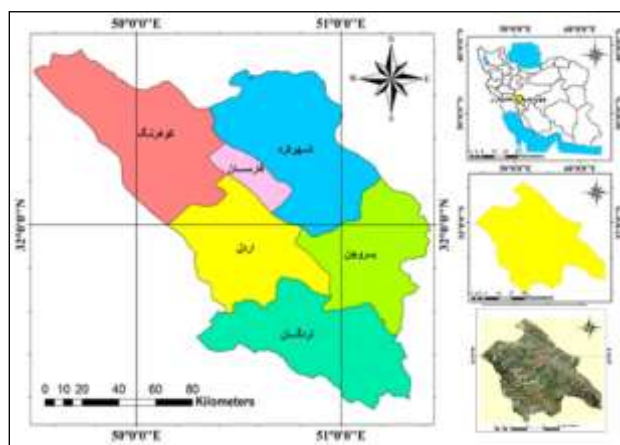
$$E_j = -K \sum_{i=1}^n p_{i,j} \ln p_{i,j} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$p_{i,j} = \frac{r_{i,j}}{\sum_{i=1}^m r_{i,j}} \quad \text{رابطه (۲)}$$

M ، تعداد زمین‌لغزه‌ها و K ، ضریب ثابت است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و به دست آوردن مقدار E_j ، مقدار V_j از رابطه ۴ به دست آمد.

$$k = (\ln m)^{-1} \quad \text{رابطه (۳)}$$

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



شکل ۱. نقشه محدوده اردل - ناغان (تهیه و ترسیم: نویسندگان)

زمین‌شناختی و تحلیل ساختاری منطقه

مطالعات زمین‌شناختی یک منطقه اهمیت زیادی دارد. شناخت این ویژگی‌ها پژوهشگر را در ارزیابی فرسایش، نفوذپذیری، مقاومت، رسوب‌زایی و ... یاری می‌دهد. این بررسی‌ها جنبه دیگری از نقش ساختمان زمین را در ترسیم چهره ناهمواری‌ها نشان می‌دهد. بر این اساس با مطالعه روابط موجود، شیب، وجه شیب، انحنا، اقلیم، خاک و کاربری زمین‌ها، نتایج مطلوبی به دست می‌آید. پدیده زمین‌لغزش در رسوب‌های ریزدانه، سست و شکل‌پذیر مانند رس و مارن از پدیده‌های شناخته‌شده است؛ لیکن لغزش لایه‌های زمین‌شناسی یا چینه‌ای با سطح مقطع پلاننش از فرایندهای دامنه‌ای است که در قلمرو زاگرس اتفاق می‌افتد و تقریباً از پدیده‌های خاص زاگرس میانی به شمار می‌آید؛ یعنی نوع لغزش که در آن عمل لغزش در سطح چینه‌شناسی سری رسوب‌ها و موازی با شیب دامنه صورت می‌گیرد. تناوب لایه‌های سخت آهک در رو و مارن در زیر، شیب زیاد ساختمانی، دخالت تکتونیک و بالاخره نیروی ثقل از عوامل مؤثر در وقوع این پدیده محسوب می‌شود. آب حاصل از بارش

باران یا ذوب برف از راه درز و شکاف لایه‌های آهک رویی نفوذ می‌کند و به لایه‌های نفوذناپذیر مارن و شیل در زیر می‌رسد. لایه‌های سست مارن یا شیل با جذب آب به حالت خمیری و لغزنده درمی‌آیند و این امر موجب ناپایداری لایه‌های آهک رویی می‌شود. در مکان‌هایی که شیب دامنه زیاد باشد یا در فرسایش کناری رود پی دامنه‌ها خالی شود یا آنکه تکان ناشی از زلزله به وقوع بپیوندد، لایه‌های آهک در اثر نیروی ثقل به طرف پایین حرکت خواهند کرد که نمونه آن بارها در زاگرس میانی اتفاق افتاده است (علایی طالقانی، ۱۳۸۱: ۱۳۹).

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در بیشتر روش‌های خطر زمین‌لغزش به کار می‌رود، اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی و واحدهای لیتولوژی است. لیتولوژی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ناپایداری شیب و به‌طور کلی بیان‌کننده ساخت، بافت و مقاومت و دوام نسبی یک توده سنگ است. ویژگی و جنس سنگ‌ها نقش زیادی در پایداری و ناپایداری دامنه‌ها دارد. منطقه اردل - ناغان مربوط به سنگ‌هایی از دوران سوم و چهارم زمین‌شناسی است و همان‌طور که در شکل (۲) نشان

داده و بیشتر لغزش‌های منطقه در دوران چهارم زمین‌شناسی اتفاق افتاده است.

داده شده است، بیشترین مساحت منطقه را سنگ آهک و آهک با لایه‌های شیل، مارن و ماسه‌سنگ تشکیل

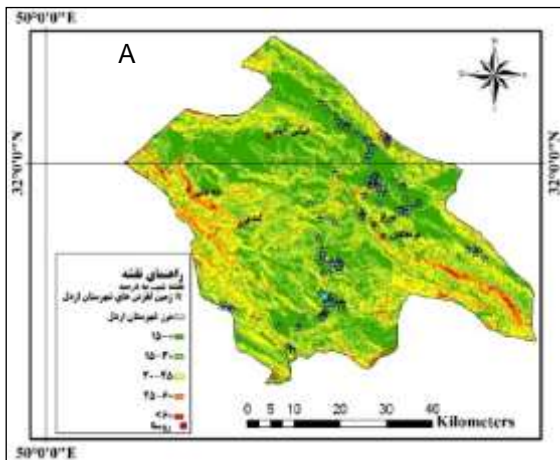


شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه پژوهش (تهیه و ترسیم: نویسندگان)

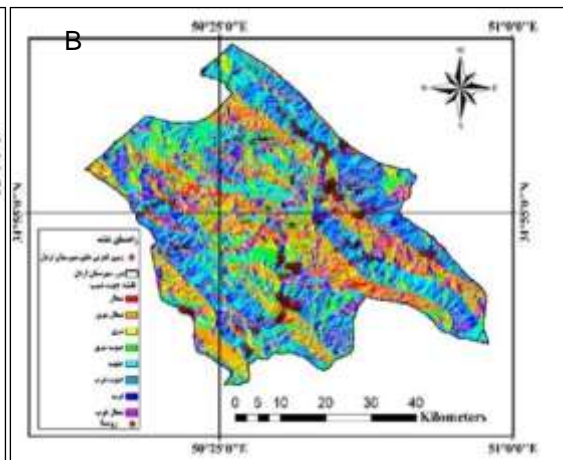
برای اجرای مدل، لایه‌های اطلاعاتی به صورت رستر درآمدند و طبقه‌بندی شدند؛ سپس این لایه‌ها به‌مثابه داده‌های اصلی برای تشکیل ماتریس آنتروپی به کار رفتند (نقشه‌های ۳ تا ۸).

یافته‌های پژوهش

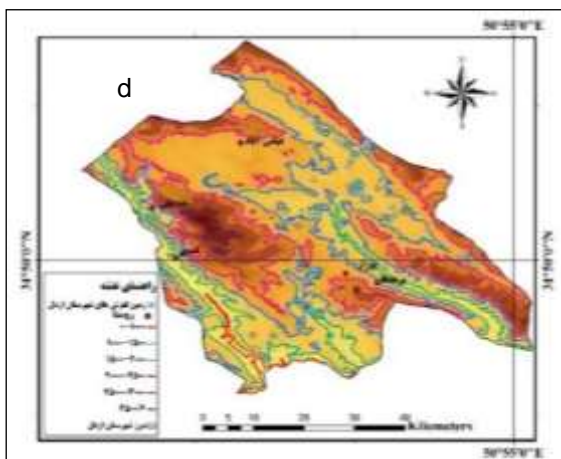
با توجه به برداشت‌های انجام‌گرفته طی بازدیدهای میدانی، بررسی عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای از منطقه و شناسایی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش، به هریک از عوامل مطالعه‌شده وزن داده شده است که



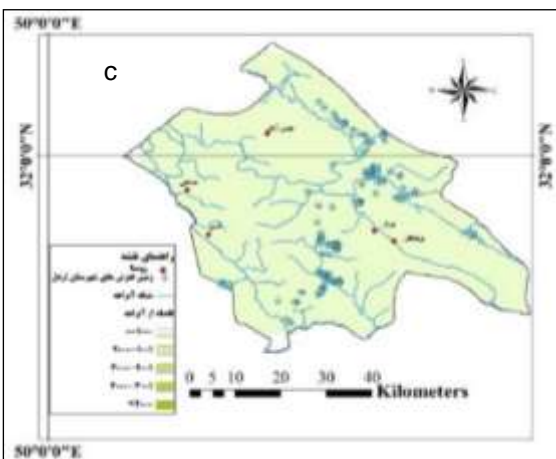
شکل ۴. نقشه شیب به درصد



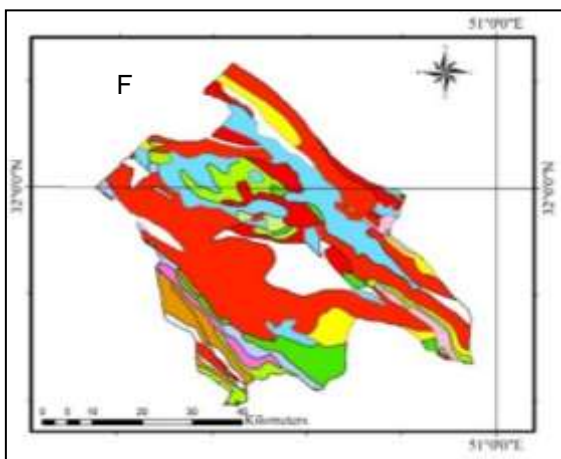
شکل ۳. نقشه جهت شیب



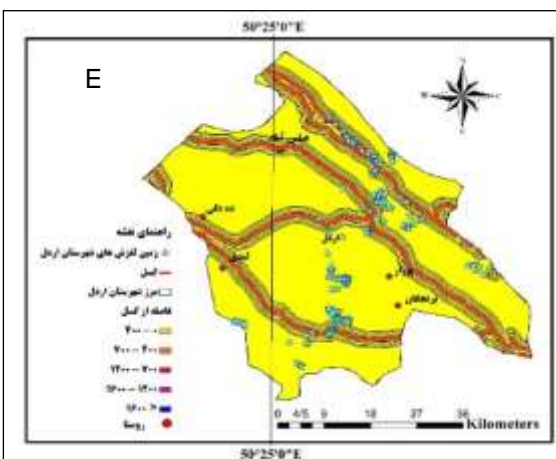
شکل ۶. نقشه طبقات ارتفاعی



شکل ۵. نقشه فاصله از آبراهه



شکل ۸. زمین شناسی



شکل ۷. نقشه فاصله از گسل

تهیه و ترسیم: نویسندگان، ۱۳۹۳

جدول ۱. امتیاز اختصاص یافته به هریک از عوامل شش گانه (تهیه: نویسندگان، ۱۳۹۳)

شیب	امتیاز	جهت شیب	امتیاز	طبقات ارتفاعی (متر)	امتیاز	فاصله از گسل (متر)	امتیاز	شیب
۰-۱۵	۷	شمال	۳	۱۰۰۰	۹	۰-۴۰۰	۳	۰-۱۵
۱۵-۳۰	۹	شمال شرق	۵	۱۵۰۰	۴	۴۰۰-۷۰۰	۹	۱۵-۳۰
۳۰-۴۵	۶	شرق	۵	۲۰۰۰	۳	۷۰۰-۱۲۰۰	۹	۳۰-۴۵
۴۵-۶۰	۵	جنوب شرق	۶	۲۵۰۰	۷	۱۲۰۰-۱۶۰۰	۷	۴۵-۶۰
>۶۰	۳	جنوب	۷	۳۰۰۰	۴	>۱۶۰۰	۵	>۶۰
		جنوب غرب	۷	۳۵۰۰	۵			
		غرب	۸					
		شمال غرب	۹					

ادامهٔ جدول ۱. امتیاز اختصاص یافته به هریک از عوامل شش‌گانه (تهیه: نویسندگان، ۱۳۹۳)

امتیاز	فاصله از آبراهه (متر)	امتیاز	زمین‌شناسی	امتیاز	زمین‌شناسی	امتیاز	زمین‌شناسی
۱	۰-۱۰۰۰	۸	Qf	۳	Kb	۰	CP
۳	۱۰۰۱-۲۰۰۰	۰	Qt2	۷	Kg	۰	E
۵	۲۰۰۱-۳۰۰۰	۹	SPh	۰	Kt	۵	EE
۷	۳۰۰۱-۴۰۰۰	۰	Tr	۳	Ma	۰	EK
۹	>۴۰۰۱			۱	Mgs	۵	Ekn
				۰	N	۰	EI
				۱	OMa	۰	Ep
				۰	PC	۰	Jkk
				۳	Plb	۵	JKk

در این مطالعه از داده‌های مربوط به ۱۵۰ لغزش در این منطقه - ناغان استفاده شده است. در همین راستا برای شش عامل تأثیرگذار مشترک در هر ۱۵۰ زمین‌لغزش منطقه، ماتریس آنتروپی تشکیل شد (جدول ۲).

جدول ۲. ماتریس آنتروپی برای عوامل شش‌گانه (تهیه: نویسندگان، ۱۳۹۳)

زمین‌شناسی	فاصله از آبراهه (متر)	فاصله از گسل (متر)	توپوگرافی (متر)	وجه شیب	شیب برحسب درصد	زمین لغزش
کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام	۱۵۰۰	۵۵۰	۳۵۰۰	شمال غرب	۷/۵	۱
سازندهای سورمه، انیدریت هیث،		۱۶۰۰			۲۲/۵	۲
فحلیان، گدوان و داریان	۲۵۰۰	۵۵۰	۲۷۵۰	جنوب غرب	۵۲/۵	۳
سازند آقاجاری		۱۴۰۰			۷/۵	۴
		۵۵۰			۲۲/۵	۵
سازند پاپده	۱۵۰۰	۹۵۰		شمال شرق	۳۷/۵	۶
		۱۴۰۰	۳۵۰۰	جنوب شرق	۲۲/۵	۷
سازند آقاجاری				شرق	۷/۵	۸
				شمال شرق		۹
سازند گورپی	۲۵۰۰	۹۵۰		غرب		۱۰
			۲۷۵۰		۲۲/۵	۱۱
			۲۷۵۰	شمال شرق		۱۲
	۱۵۰۰		۱۷۵۰	شمال غرب	۷/۵	۱۳
ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های		۵۵۰	۲۷۵۰	شمال	۳۷/۵	۱۴
کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع			۳۵۰۰	جنوب		۱۵
	۵۰۰	۱۶۰۰	۳۵۰۰	جنوب شرق	۲۲/۵	۱۶
			۲۷۵۰	جنوب	۳۷/۵	۱۷

زمین‌شناسی	فاصله از آبراهه (متر)	فاصله از گسل (متر)	توپوگرافی (متر)	وجه شیب	شیب برحسب درصد	زمین لغزش
			۳۵۰۰			۱۹
		۱۴۰۰	۳۵۰۰		۲۲/۵	۲۰
		۹۵۰	۱۲۵۰	جنوب شرق	۳۷/۵	۲۱
		۵۵۰	۲۷۵۰		۲۲/۵	۲۲
	۱۵۰۰	۲۰۰	۲۷۵۰	غرب		۲۳
		۵۵۰	۲۲۵۰	جنوب	۵۲/۵	۲۴
سازند تارپور		۹۵۰	۲۷۵۰	غرب		۲۵
		۱۴۰۰	۲۲۵۰	شمال شرق	۷/۵	۲۶
سازند دالان		۱۶۰۰	۲۷۵۰	جنوب شرق	۳۷/۵	۲۷
	۵۰۰	۱۴۰۰		شمال شرق	۲۲/۵	۲۸
		۹۵۰	۳۵۰۰	جنوب		۲۹
کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام		۵۵۰	۲۲۵۰	جنوب غرب	۳۷/۵	۳۰
	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۲۷۵۰			۳۱
		۱۴۰۰		شرق	۶۰	۳۲
ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع		۹۵۰	۲۲۵۰		۳۷/۵	۳۳
		۵۵۰		جنوب شرق	۲۲/۵	۳۴
	۲۵۰۰	۹۵۰				۳۵
سازند پاپده				جنوب	۷/۵	
		۱۶۰۰	۲۷۵۰			۳۶
		۱۴۰۰	۱۷۵۰	جنوب شرق	۳۷/۵	۳۷
سازند بختیاری		۲۰۰		جنوب غرب	۳۷/۵	۳۸
			۲۲۵۰	شمال شرق	۲۲/۵	۳۹
	۵۰۰	۵۵۰	۱۷۵۰	شرق	۳۷/۵	۴۰
			۲۲۵۰	جنوب شرق	۷/۵	۴۱
کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام		۹۵۰	۲۲۵۰	شمال غرب	۵۲/۵	۴۲
		۵۵۰		جنوب	۳۷/۵	۴۳
			۲۷۵۰	شمال غرب	۲۲/۵	۴۴
	۱۵۰۰	۲۰۰		جنوب	۷/۵	۴۵
		۱۴۰۰	۲۲۵۰		۲۲/۵	۴۶
		۹۵۰	۳۵۰۰	شمال غرب	۳۷/۵	۴۷
				غرب	۲۲/۵	۴۸
		۲۰۰	۲۷۵۰	جنوب	۳۷/۵	۴۹
سازند گورپی		۵۵۰	۱۷۵۰	جنوب	۲۲/۵	۵۰
	۲۵۰۰	۹۵۰	۲۲۵۰	جنوب شرق		۵۱
		۱۴۰۰	۱۲۵۰	جنوب	۶۰	۵۲
		۲۰۰				۵۳
		۵۵۰	۲۷۵۰	شمال غرب	۳۷/۵	۵۴

زمین شناسی	فاصله از آبراهه (متر)	فاصله از گسل (متر)	توپوگرافی (متر)	وجه شیب	شیب برحسب درصد	زمین لغزش
		۹۵۰		جنوب شرق	۲۲/۵	۵۵
	۵۰۰	۱۴۰۰		جنوب		۵۶
کژدمی، سروک، سورگه و ایلام		۱۶۰۰			۳۷/۵	۵۷
	۱۵۰۰	۱۴۰۰	۱۷۵۰	غرب		۵۸
		۹۵۰	۲۲۵۰			۵۹
	۵۰۰	۵۵۰				۶۰
	۱۵۰۰	۱۶۰۰	۱۷۵۰	جنوب غرب	۲۲/۵	۶۱
ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های		۲۰۰	۲۷۵۰			۶۲
کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع		۱۴۰۰				۶۳
	۵۰۰	۵۵۰		شمال شرق		۶۴
			۲۲۵۰		۵۲/۵	۶۵
		۹۵۰		جنوب غرب		۶۶
	۱۵۰۰				۲۲/۵	۶۷
	۵۰۰	۱۴۰۰		غرب	۳۷/۵	۶۸
سازند پاپده	۵۰۰	۱۶۰۰	۲۷۵۰	جنوب شرق	۷/۵	۶۹
سازند پاپده		۹۵۰		شمال شرق		۷۰
		۱۶۰۰	۱۲۵۰	شرق	۳۷/۵	۷۱
کژدمی، سروک، سورگه و ایلام	۵۰۰	۱۴۰۰	۲۲۵۰	جنوب غرب	۲۲/۵	۷۲
ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های		۹۵۰	۱۲۵۰		۷/۵	۷۳
کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع		۲۲۵۰		غرب	۲۲/۵	۷۴
	۲۵۰۰	۲۰۰				۷۵
کژدمی، سروک، سورگه و ایلام		۹۵۰	۱۲۵۰	جنوب غرب	۷/۵	۷۶
		۵۵۰	۱۷۵۰	غرب	۲۲/۵	۷۷
		۲۰۰	۲۷۵۰			۷۸
ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های		۹۵۰		شمال شرق	۳۷/۵	۷۹
کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع		۵۵۰	۱۲۵۰	شرق		۸۰
					۲۲/۵	۸۱
		۲۰۰		شمال شرق		۸۲
	۵۰۰			شمال غرب	۲۲/۵	۸۳
			۲۷۵۰	شمال شرق		۸۴
کژدمی، سروک، سورگه و ایلام		۱۶۰۰		غرب	۷/۵	۸۵
				جنوب شرق		۸۶
			۱۷۵۰		۲۲/۵	۸۷
			۲۲۵۰			۸۸
ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های		۱۴۰۰	۳۵۰۰	جنوب	۷/۵	۸۹
کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع		۱۶۰۰			۵۲/۵	۹۰
		۱۴۰۰	۲۲۵۰		۲۲/۵	۹۱

زمین لغزش	شیب برحسب درصد	وجه شیب	توپوگرافی (متر)	فاصله از گسل (متر)	فاصله از آبراهه (متر)	زمین شناسی
۹۲	۳۷/۵		۲۷۵۰	۵۵۰		سنگ‌های تفکیک‌نشده ائوسن
۹۳		شمال غرب	۳۵۰۰	۵۵۰		
۹۴	۲۲/۵		۲۲۵۰		۲۵۰۰	ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع
۹۵	۳۷/۵	غرب		۱۶۰۰		
۹۶		شمال شرق	۱۷۵۰			
۹۷			۲۷۵۰			سازند آقاجاری
۹۸	۲۲/۵	شمال		۲۰۰		
۹۹		شمال شرق	۱۷۵۰	۱۶۰۰		کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
					۵۰۰	ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع
۱۰۰	۷/۵		۲۷۵۰	۱۴۰۰		
۱۰۱		غرب	۲۲۵۰			کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
۱۰۲	۳۷/۵		۲۷۵۰			
۱۰۳			۱۷۵۰			
۱۰۴	۷/۵				۳۵۰۰	
۱۰۵	۲۲/۵	جنوب غرب	۲۷۵۰	۱۶۰۰		سازند گورپی
۱۰۶		شمال شرق	۱۷۵۰		۱۵۰۰	
۱۰۷	۷/۵	جنوب شرق			۳۵۰۰	
۱۰۸		شمال شرق			۵۰۰	
۱۰۹		غرب		۲۰۰		سازند آقاجاری
۱۱۰	۲۲/۵	جنوب غرب	۳۵۰۰		۱۵۰۰	
۱۱۱		جنوب شرق			۵۰۰	
۱۱۲		شرق		۱۶۰۰		سازند آسماری
۱۱۳	۷/۵	جنوب شرق			۱۵۰۰	
۱۱۴	۲۲/۵	جنوب	۲۷۵۰			سازند آسماری
۱۱۵	۷/۵	شرق				سنگ‌های تفکیک‌نشده ائوسن
۱۱۶	۲۲/۵	جنوب	۳۵۰۰		۵۰۰	
۱۱۷						کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
۱۱۸	۷/۵	شمال شرق	۲۲۵۰	۲۰۰		
۱۱۹	۲۲/۵	شمال				
۱۲۰	۷/۵	جنوب	۳۵۰۰		۱۵۰۰	سنگ‌های تفکیک‌نشده ائوسن
۱۲۱		جنوب غرب	۱۷۵۰		۵۰۰	
۱۲۲		شمال غرب			۱۵۰۰	
۱۲۳	۲۲/۵		۳۵۰۰	۱۶۰۰		
۱۲۴		غرب			۵۰۰	کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
۱۲۵	۷/۵		۱۷۵۰			
۱۲۶		شمال غرب	۲۷۵۰		۱۵۰۰	سازند آقاجاری
۱۲۷	۵۲/۵	جنوب	۱۲۵۰			

زمین لغزش	شیب برحسب درصد	وجه شیب	توپوگرافی (متر)	فاصله از گسل (متر)	فاصله از آبراهه (متر)	زمین شناسی
۱۲۸	۲۲/۵	شمال غرب	۲۷۵۰			
۱۲۹		شرق				
۱۳۰	۷/۵	غرب	۲۲۵۰			
۱۳۱			۳۵۰۰			
۱۳۲	۳۷/۵		۱۷۵۰	۲۰۰		
۱۳۳			۲۳۵۰			
۱۳۴			۲۳۵۰		۵۰۰	
۱۳۵	۶۰	جنوب غرب	۱۷۵۰			ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع
۱۳۶			۳۵۰۰	۹۵۰	۱۵۰۰	
۱۳۷	۵۲/۵		۲۲۵۰			
۱۳۸						
۱۳۹	۷/۵	جنوب	۲۷۵۰	۱۴۰۰		
۱۴۰						
۱۴۱	۲۲/۵	جنوب غرب	۳۵۰۰			کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
۱۴۲						
۱۴۳		جنوب			۵۰۰	
۱۴۴	۷/۵		۲۷۵۰			
۱۴۵		غرب		۱۶۰۰		
۱۴۶		جنوب غرب				ذخایر تراسی و مخروط‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع
۱۴۷		جنوب	۲۲۵۰			
۱۴۸	۲۲/۵		۲۷۵۰			
۱۴۹		جنوب غرب	۲۲۵۰		۱۵۰۰	کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام
۱۵۰						

مقدار آن در صورت تساوی (pi) ها با یکدیگر، بیشترین مقدار ممکن خواهد بود (اصغرپور، ۱۳۸۵: ۱۹۶)؛ سپس درجه انحراف عدم اطمینان هر معیار (dj) از کسر مقدار (Ej) از عدد یک (رابطه ۴) و مقدار (wj) از رابطه ۵ و در نهایت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه اردل - ناغان با رابطه ۶ به دست آمده است.

پس از تبدیل معیارها به عدد صحیح و تشکیل ماتریس اولیه جدول (۲)، مقدار (pij) با استفاده از رابطه ۲ و مقدار (k) با رابطه ۳ به دست آمده (مقدار k برای منطقه اردل - ناغان، ۰/۱۹۹۵۷۵ به دست آمده است) و برای محاسبه (Ej) برای هر عامل از رابطه ۱ استفاده شده است. در این رابطه (E) از توزیع احتمال (Pi) و براساس سازوکار آماری محاسبه شده است و

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های محاسبه شده برای عوامل مؤثر در زمین لغزش

شاخص محاسبه شده	شیب	جهت شیب	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه	ارتفاع	زمین شناسی
Ej	۰/۹۹۶۸۴۵	۰/۹۹۶۵۵۳	۰/۹۹۴۸۱۸	۰/۹۹۹۹۵	۰/۹۸۳۸۷۸۵۹	۰/۹۷۶۵۶۸
Vj	۰/۰۰۳۱۵۵	۰/۰۰۳۴۴۷	۰/۰۰۵۱۸۲	۰/۰۰۰۰۵	۰/۰۱۶۱۲۱۴۱	۰/۰۲۳۴۳۲
wj	۰/۰۶۱۳۹۲	۰/۰۶۷۰۷۲	۰/۱۰۰۸۴۸	۰/۰۰۰۹۷۲۹۹۹	۰/۳۱۳۷۲۲۲۷	۰/۴۵۵۹۹۳

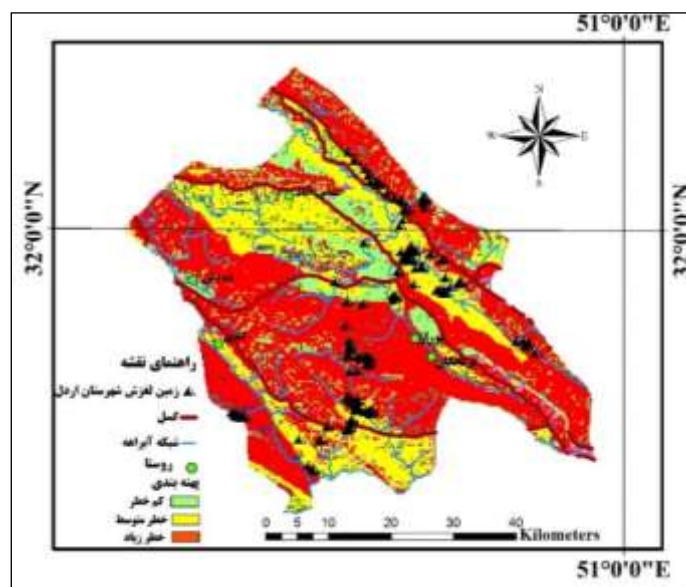
تهیه: نویسندگان، ۱۳۹۳

خطر زیاد، ۲۰ درصد منطقه با مساحت ۵۳۴ کیلومترمربع خطر متوسط و ۱۰ درصد منطقه با مساحت ۲۶۷ کیلومترمربع خطر کم دارد و در نهایت حاکی از پرمخاطره بودن منطقه از لحاظ خطر زمین لغزش است.

با توجه به زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه و ترسیم نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در منطقه اردل - ناغان، جدول (۴) و شکل (۹) مساحت پهنه‌های مختلف خطر را در منطقه نشان می‌دهند که ۷۰ درصد منطقه با مساحتی حدود ۱۸۶۹ کیلومترمربع

جدول ۴. مساحت و درصد مناطق با خطر زیاد، متوسط و کم رخداد زمین لغزش (تهیه: نویسندگان، ۱۳۹۳)

منطقه	مساحت (Km ²)	درصد مساحت	تعداد زمین لغزش	درصد زمین لغزش
خطر زیاد	۱۸۶۹	۰/۷۰	۷۴	۵۲
خطر متوسط	۵۳۴	۰/۲۰	۶۷	۲۵
خطر کم	۲۶۷	۰/۱۰	۹	۲۳
مجموع	۲۶۷۰	۱۰۰	۱۵۰	۱۰۰



شکل ۹. نقشه نهایی پهنه بندی خطر رخداد زمین لغزش در منطقه اردل - ناغان با استفاده از مدل آنتروپی

تهیه و ترسیم: نویسندگان، ۱۳۹۳

با توجه به ویژگی‌های طبیعی و جغرافیایی منطقه و روش آنتروپی که برای وزن‌دهی به کار رفته است، میزان تأثیر عوامل شش‌گانه در زمین‌لغزش متفاوت است. شیب ۶/۳ درصد، جهت شیب ۶/۷ درصد، فاصله از گسل ۱۰ درصد، ارتفاع ۳۱ درصد و زمین‌شناسی ۴۶ درصد در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه اثرگذار و فاصله از آبراهه بدون تأثیر بوده است.

نتیجه‌گیری

با مطالعه زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه اردل - ناغان چنین برمی‌آید که امکان وقوع زمین‌لغزش در منطقه زیاد است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی به‌دست‌آمده از مدل آنتروپی براساس شش عامل مؤثر بر زمین‌لغزش در قالب لایه‌های مختلف اطلاعاتی، پهنه‌های خطر زیاد تا کم شناسایی شدند. منطقه مطالعه شده ۲۶۷۰ کیلومترمربع است که ۱۵۰ رخداده زمین‌لغزش در آن به وقوع پیوسته و در نتیجه آن مناطق با خطر رخداد زیاد، قسمت‌های وسیعی از جنوب غرب، غرب و باریکه‌ای در شرق و شمال شرق و جنوب شرق را دربرگرفته است. این نواحی شیب متوسط بین ۲۰-۴۵ درجه و ارتفاع متوسط ۲۸۶۰ متر دارد و گسل‌های منطقه در مرز بین پهنه با خطر زیاد و متوسط واقع است و بیشترین وسعت منطقه یعنی حدوداً ۵۲ درصد مساحت را دربرگرفته است و در قلمرو سازندهای سورگاه و ایلام - سروک - کژدمی قرار دارد.

پهنه خطر متوسط، باریکه‌ای در جنوب و قسمت‌هایی در شرق منطقه را دربرگرفته و مربوط به دوران چهارم است که ۲۵ درصد منطقه و ارتفاع بین ۲۰۰۰-۱۵۰۰ متر را شامل می‌شود.

پهنه خطر کم شامل ۲۳ درصد از مساحت منطقه به‌طور پراکنده در منطقه مدنظر دیده می‌شود که ارتفاع متوسط کمتر از ۱۵۰۰ متر را دربرگرفته است؛ بنابراین عوامل توپوگرافی و زمین‌شناسی و شیب و جهت شیب توأمان تأثیر زیادی بر رخداد زمین‌لغزش در منطقه مطالعه‌شده دارند.

دقت‌سنجی نقشه پهنه‌بندی نهایی با زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد ۷۴ زمین‌لغزش یعنی ۷۰ درصد زمین‌لغزش‌های رخ داده در پهنه‌های خطر زیاد و ۶۷ زمین‌لغزش یعنی ۲۰ درصد زمین‌لغزش در پهنه‌های خطر متوسط و ۹ زمین‌لغزش یعنی ۱۰ درصد در پهنه‌های خطر کم واقع شده‌اند. در نتیجه منطقه پژوهش جزو نواحی پرخطر به شمار می‌رود.

منابع

اصغرپور، محمدجواد، (۱۳۸۵)، *تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره*، تک‌جلد، چاپ ۷، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.

اکبر، سمیه، رنجبر، حجت‌الله، کرمی‌نسب، سعید و عبدالملکی، مهدی، (۱۳۹۲)، *ارزیابی خطر زمین‌لغزش به کمک مدل فازی دانش - مبنا و روش ترکیبی فازی - اوزان شاهد در منطقه مسکون جیرفت*، نشریه زمین‌شناسی مهندسی، دوره ۷، شماره ۱، ۱۶۰۱-۱۶۲۲.

انتظاری، مژگان، (۱۳۹۰)، *تأثیر چاله‌های حرارتی و برودتی بر زمین‌لغزش‌های استان اصفهان*، پایان‌نامه دکتری، استاد راهنما: رامشت، محمدحسین، دانشگاه اصفهان، دانشکده علوم

(مطالعه موردی: استان گیلان)، فصلنامه علمی پژوهشی جغرافیایی سپهر، دوره ۲۷، شماره ۱۰۷، ۲۰۸-۱۹۳.

علایی طالقانی، محمود، (۱۳۸۱)، ژئومورفولوژی ایران، تک‌جلد، چاپ اول، تهران، انتشارات قومس.

علیجانی، بهلول و کاویانی، محمدرضا، (۱۳۹۱)، مبانی آب و هواشناسی تهران، تک‌جلد، چاپ ۱۷، تهران، انتشارات سمت.

فعله‌گری، محسن، طالبی، علی و کیا اشکوریان، یاسر، (۱۳۹۲)، بررسی اثر جاده‌سازی در وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل پایداری FLAC SLOP دامنه (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سد ایلام)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و‌خاک، دوره ۲۰، شماره ۱، ۲۲۷-۲۳۹.

متشرعی، آرش، قمی، جعفر، افتخاری، اکرم، پوزش، بهروز و شاهماری، مهدی، (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش روی جاده تهران - چالوس و بزرگراه در دست احداث، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۸، شماره ۲، ۱۴۷ تا ۱۵۸.

مقیمی، ابراهیم، باقری سید شکر، سجاد و صفر راد، طاهر، (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: طاقدیس نثار زاگرس شمال غربی)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۴، شماره ۷۹، ۷۷-۹۹.

جغرافیایی و برنامه‌ریزی، گروه جغرافیای طبیعی - ژئومورفولوژی.

پورقاسمی، حمیدرضا، مرادی، حمیدرضا، محمدی، مجید، مصطفی‌زاده، رئوف، گلی جیرنده، عباس، (۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از تئوری بی‌زین، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۱۶، شماره ۶۲، ۱۲۲-۱۰۹.

زمردیان، جعفر، (۱۳۸۱)، ژئومورفولوژی ایران، فرایندهای اقلیمی و دینامیک‌های بیرونی، جلد ۲، چاپ ۳، دانشگاه فردوسی مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی منطقه مطالعه‌شده، (شهرکرد ۶۱۵۴)، (باباحیدر ۶۰۵۴)، (اردل ۶۱۵۳)، (دهلر ۶۰۵۳).

سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰ منطقه مطالعه‌شده، (III-۶۰۵۴)، (II-۶۰۵۴)، (I-۶۰۵۴)، (VI-۶۰۵۴)، (I-۶۰۵۳)، (II I-۶۱۵۴)، (IV-۶۱۵۴).

سوری، سلمان، بهاروند، سیامک، احمدیان مقدم، رضا و دهبان، مریم، (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کسمت)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دوره ۹، شماره ۲، ۱۱۰-۱۰۱.

شاه‌زیدی، سمیه سادات و جعفری، پیام، (۱۳۹۷)، تحلیل و پهنه‌بندی مخاطرات ژئومورفیک مناطق شمال کشور با استفاده از فرایند تحلیل شبکه

- Bergere Luna, Langbein Walter Basil, (1963), **the Concept of Entropy in Landscape Evolution**, Geological Survey Professional Paper, U.S. Govt. Print. Off, Washington.
- Chang, Kuo-Jen, Chan, Yu-Chang, Chen, Rou-Fei, Hsieh, Yu-Chung, (2018), **Geomorphological evolution of landslides near an active normal fault in northern Taiwan**, as revealed by lidar and unmanned aircraft system data, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, Vol 18, No 3, Pp 709-727.
- Jaynes, E, (1980), **The minimum entropy production principle**, *Ann. Rev. Phys. Chem.*, Vol 31, Pp 579-601.
- Panizza, M., (2004), **Environmental Geomorphology**, *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol 1, Pp 318-320.
- Pourghasemi, H.R., Mohammady, M., Pradhan, B., (2012), **Landslide susceptibility mapping using index of entropy and conditional probability models in GIS: Safarood Basin, Iran**, *Geomorphology, CATENA*, Vol 97, Pp 71-84.
- Rosenfeld, Charles, L., (2004), **Geomorphological Hazard**, *Encyclopedia of Geomorphology*, Vol 1, Pp 423-426.
- Wan, SH., (2009), **A Spatial Decision Support System for Extracting the Core Factors and Thresholds for Landslide Susceptibility Map**, *Engineering Geology*, Vol 108, Pp 237-251.
- Zongji, Y., Jianping, Q., Xiaogang, Z., (2010), **Regional landslide zonation based on entropy method in Three Gorges area, China**, In *Proceedings of the Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, Yantai, China, 10-12, Pp 1336-1339.
- مقیمی، ابراهیم و نگهبان، سعید، (۱۳۹۱)، **بررسی فرسایش در حوضه آبخیز رودخانه شور فدای (استان فارس) با استفاده از مدل آنتروپی**، *مجله پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی*، دوره ۴۴، شماره ۳، ۱-۱۶.
- مقیمی، ابراهیم، یمانی، مجتبی و رحیمی هرآبادی، سعید، (۱۳۹۲)، **ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه**، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، دوره ۱، شماره ۴، ۱۰۳-۱۱۸.
- نعمت‌اللهی، فاطمه، (۱۳۸۲)، **بررسی ویژگی‌های ژئومورفیک دشت نمدان**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: رامشت، محمدحسین، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد، گروه جغرافیا.
- Ayala, Irasema, (2002), **Geomorphology, Natural Hazards, Vulnerability and Prevention of Natural Disasters in Developing Countries**, *Geomorphology*, Vol 47, Pp 107-124.
- Baas, Andreas, (2007), **Complex Systems in Aeolian Geomorphology**, *Geomorphology*, Vol 91, Pp 311-331.
- Bednarika, Martin, Magulova, Barbora, Matys, Mirko, (2010), **Landslide susceptibility Assessment of the kral ovany-liptovsky mikulas Railway case study**, *physics and chemistry of the Earth, Elsevier*, Volume 35, Issues 3-5, Pp 162-171.