



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی

سال پانزدهم، شماره‌ی ۵۰
تابستان ۱۳۹۴، صفحات ۱۲۳-۱۰۷

مژگان انتظاری^۱
حمیده غلام حیدری^۲
یوسف آقایی پور^۳

پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزه با استفاده از مدل آنتروپی حوضه مورد مطالعه: آبریز زرآب

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۰۱

چکیده

زمین لغزه یا رانش زمین در واقع حرکت لایه‌های رسوبی غیر متراکم و متراکمی بر روی سطح شیب‌دار است که می‌تواند تأثیرات مصیبت باری به جای بگذارد. حوضه آبریز زرآب با مساحتی بالغ بر ۳۹۷۳/۹۴ کیلومتر مربع دارای ۸۲ لغزش است که این نشان دهنده ناپایداری زیاد منطقه است. هدف از این پژوهش تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزه در حوضه آبریز مورد مطالعه و تعیین عامل و یا عوامل تاثیرگذار در ایجاد آن است که به این منظور پس از انجام مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای و تهیه نقشه پراکندگی لغزش محدوده مورد مطالعه، عوامل تاثیر گذار (سازندهای زمین‌شناسی، گسل، شیب، طبقات ارتفاعی و وجه شیب) بر آن تعیین و نقشه آن‌ها با استفاده از نرم افزار ARCMAP تهیه و در نهایت با استفاده از مدل آنتروپی نقشه پهنه‌بندی لغزش برای منطقه تهیه گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ۵۵٪ زمین لغزه‌ها در محدوده خطر

E-mail: m.entezari@gao.ui.ac.ir- entezary54@yahoo.com

۱- استادیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه اصفهان.

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان.

۳- دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه اصفهان.

متوسط، ۳۷٪ در محدوده پر خطر و ۸٪ آن در محدوده کم خطر واقع شده است و مهم‌ترین دلیل وقوع زمین لغزه‌ها در منطقه احداث جاده می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آنتروپی، زمین لغزه، زراب، پهنه‌بندی.

آنتروپی رفتار توزیع انرژی است (لونا^۴ و همکاران، ۱۹۶۳: ۱). به هر گونه توزیع احتمالی آنتروپی گفته می‌شود (توماس کاور^۵ و همکار، ۱۹۹۱: ۱). آنتروپی در تمام سیستم‌های زنده و غیر زنده وجود دارد. به تعبیری دیگر آنتروپی دارای انرژی آزاد برای انجام کار است که با کاهش انرژی، افزایش می‌یابد (بایلی^۶، ۱۹۹۰: ۱). شاخص آنتروپی میزان بی‌نظمی را در محیط نشان می‌دهد (بدنریک^۷ و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۶۷). این واژه از جمله تئوری‌های برگرفته از قوانین احتمالات و مدل‌های متکی بر احتمالات می‌باشد که در ابتدا توسط فیزیکدان‌ها و برای شناسایی نظم و بی‌نظمی در طبیعت به‌کار گرفته شده و مبین میزان عدم ثبات و یکنواختی در یک سیستم است (حکمت‌نیا و موسوی، ۱۳۸۵: ۹۰). به طور کلی همزمان با تکامل سیستم آنتروپی نیز در حال افزایش است (ابراهیم‌دینکر^۸ و همکار، ۲۰۰۱: ۱۷). هدف تحقیق در ژئومورفولوژی روش‌های درست اندیشیدن و به‌طورکلی کشف حقایق و حل مشکلات مربوط به محیط طبیعی و پدیده‌های ناشی از آن و دست‌یابی به معیارهایی در زمینه افزایش ایمنی محیط و گسترش دامنه اطلاعات در ژئومورفولوژی می‌باشد (مقیم^۹ و همکار، ۱۳۸۳: ۱۳). دانش ژئومورفولوژی مساله تحلیل فضایی مخاطرات زمینی که در این تحقیق مشتمل بر مخاطراتی مانند زمین لرزه، سیل و زمین لغزش است را مورد توجه قرار داده و به تبیین و ارزیابی پتانسیل مخاطره و درجه و میزان خطرپذیری انسان ساکن در این پهنه‌ها می‌پردازد (شریفی‌کیا و همکار، ۱۳۸۹: ۲). زمین لغزش عبارت است از پایین افتادن یا حرکت یکپارچه و اغلب سریع حجمی از مواد رسوبی در امتداد دامنه‌ها (محمودی، ۱۳۸۲: ۴۳). بنا به تعریف انجمن زمین‌شناسی مهندسی، زمین لغزش عبارتست از جابجایی به سمت پایین توده‌های از مواد بر روی یک شیب (نصیری، ۱۳۸۳: ۳). ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع اقلیمی و زمین‌شناسی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف وسیعی از

4- ENTROPY

5- Luna.et al

6- Cover, Thomas

7- Baily

8- Bednarik

9- Dincer

لغزش‌ها دارا است. بنابراین به همان نسبت که از موهبت کوهستانی بودن و تنوع آب و هوایی بهره‌مند است در معرض خطرات ناشی از آن نیز قرار دارد. بر اساس یک برآورد اولیه، سالیانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارت مالی از طریق لغزش‌ها بر کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیرقابل بازگشت به حساب آورده نشوند (نصیری، ۱۳۸۳: ۱). به طور کلی می‌توان گفت که نقشه وقوع خطر زمین لغزش، ابزاری است برای مدیریت بحران در نواحی کوهستانی (کومار دهال^{۱۰}، ۲۰۰۸: ۴۹۶). ویژگی‌های زمین‌شناسی و اقلیم‌شناسی منطقه زراب شرایط مناسبی را برای وقوع انواع حرکات توده‌ای به‌ویژه لغزش فراهم کرده است، به گونه‌ای که تاسیساتی مانند جاده‌های ارتباطی، زمین‌های کشاورزی و روستاهای این منطقه در معرض خطرات جدی این پدیده قرار دارند، که تهیه نقشه پهنه‌بندی خط زمین لغزش برای مدیریت بهتر این ناحیه ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به این‌که در مورد پهنه‌بندی زمین لغزه روش‌ها و مدل‌های مختلفی ارائه و کار شده است، در این پژوهش سعی شده است تا از یک مدل نسبتاً جدید به نام آنتروپی در پهنه‌بندی زمین لغزش این ناحیه استفاده و تاثیر عوامل طبیعی موثر در این پدیده ارزیابی شود. مدل آنتروپی (شاخص بی‌نظمی) برای اولین در سال ۱۹۶۵ بار توسط دانشمندی به نام ادوارد لورنز (Edvard Lorenz) در هواشناسی به‌کاربرده شده و آن را به یک علم تبدیل نمود و سپس در حیطه تمام علوم و مباحث تجربی، ریاضی، رفتاری، مدیریتی و اجتماعی وارد شده و اساس تغییرات بنیادی در علوم به‌ویژه هواشناسی، نجوم، مکانیک، ریاضی، زیست‌شناسی، اقتصاد، برنامه‌ریزی و مدیریت را فراهم ساخته است (رهنمایی و همکاران، ۱۳۹۰: ۵). وان^{۱۱} (۲۰۰۹: ۲۳۷) با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش در تایوان پرداخت و از مدل آنتروپی برای بخش‌بندی و برطرف کردن عدم قطعیت عوامل مختلف زمین لغزش استفاده کرد. نتایج نشان داد که این پژوهش رویکرد مهمی برای تهیه نقشه خطرپذیری زمین لغزش است. بندریک و همکاران (۲۰۱۰: ۱) با استفاده از توزیع دو متغیره آماری، به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند و برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی از شاخص آنتروپی استفاده کرد و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر منطقه را ارائه کرد. زونگجی^{۱۲} و همکاران (۲۰۱۰: ۱) در پژوهشی با استفاده از مدل آنتروپی به پهنه‌بندی منطقه زمین لغزش در گورجس چین پرداختند و نتایج آن‌ها نشان داد که این مدل، کاربرد زیادی به‌عنوان یک روش جدید برای ارزیابی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه‌ای دارد. رامانی ساجاتا^{۱۳} در مطالعه-

10- Kumar Dahal

11- wan

12- Zongji

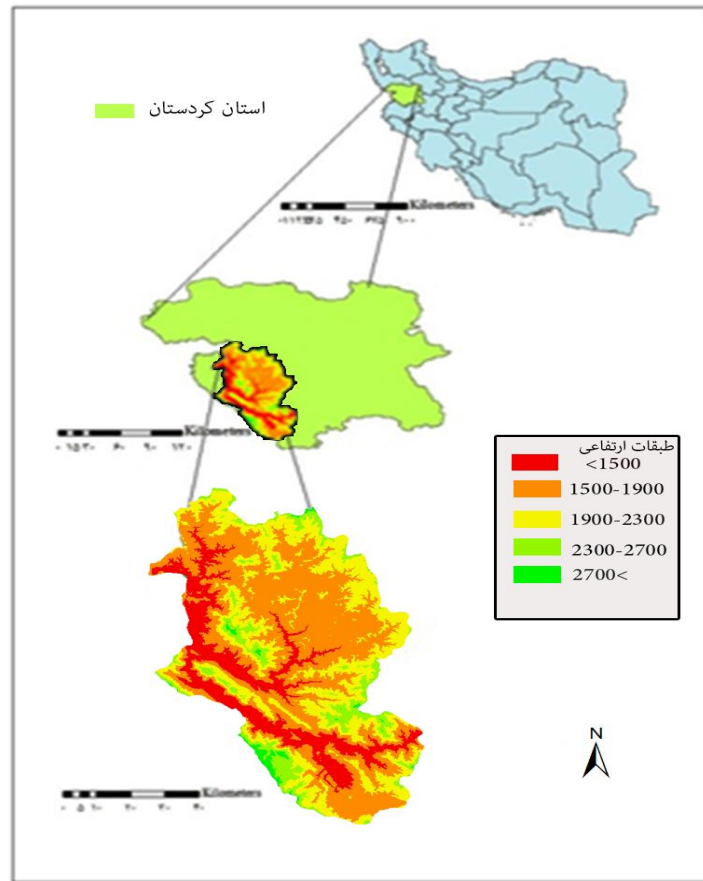
13- Evangelin Rmani Suajatha

ای در زیر حوضه آبریز توانکارای^{۱۴} هندوستان شش فاکتور محیطی که شامل شیب، وجه شیب، انحنا، اقلیم، خاک و کاربری اراضی را توسط مدل آنتروپی مورد بررسی قرار داد و منطقه را از لحاظ خطر وقوع زمین لغزه در ۵ کلاس طبقه‌بندی کرد و فاکتور گسترش شهر را مهم‌ترین عامل در تسریع ایجاد زمین لغزه معرفی نمود. حسن زاده و همکاران (۱۳۹۱: ۹۹) حوضه آبخیز شلمانرود را مورد بررسی قرار داده و مناطقی که با بیش‌ترین خطر زمین لغزه مواجه است را مشخص کرد. کریمی و همکاران (۱۳۹۱: ۱۸۳) در مطالعه‌ای در حوضه چهل چای استان گلستان، با به‌کارگیری چهار مدل AHP، ترکیب خطی وزنی (WLC) و روش‌های کمی آماری چند متغیره گام به گام و لجستیک نقشه پهنه‌بندی مناطق مستعد به زمین لغزش را تهیه کرد و مدل آماری دو متغیره وزنی AHP را مناسب‌ترین مدل جهت تعیین و مکان‌یابی مناطق مذکور معرفی کرد. نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در حوضه آبخیز اخلمد شهرستان چناران نیز توسط کریمی و همکاران ترسیم شد و بیش‌ترین میزان زمین لغزش‌ها در طبقات شیب بیش از ۷۰ درصد با جهت جغرافیایی شمال‌شرقی معین شد. بهشتی راد و همکاران (۱۳۸۸: ۱۹) کارایی مدل (CF) را در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش بر روی حوضه آبخیز معلم کلاویه مورد بررسی قرار داده و جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل CF، ۵۰ مورد لغزش به‌صورت تصادفی انتخاب و با بررسی آن‌ها نه عامل زمین‌شناسی، میزان شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، میزان بارش و فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و فاصله از جاده به‌عنوان عوامل موثر انتخاب کردند. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱: ۷۷) نیز در مطالعاتی که در منطقه تاقدیس نثار زاگرس شمال‌غربی جهت پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزه با استفاده از مدل آنتروپی انجام داده‌اند به این نتیجه رسیده‌اند که مناطق با خطر زیاد رخداد زیاد، در قسمت‌های مرتفع تاقدیس واقع شده است و از فعالیت‌های انسانی در تسریع این فرایند نام برده‌اند.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز زرآب در جنوب‌غرب استان کردستان واقع شده است و رودخانه سیروان مهم‌ترین رودخانه در این حوضه است. این حوضه آبریز در مختصات جغرافیای ۳۴ درجه و ۵۰ دقیقه و ۴۷ ثانیه تا ۳۵ درجه و ۴۷ دقیقه و ۱۴ ثانیه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱۰ دقیقه و ۳۷ ثانیه تا ۴۶ درجه و ۵۱ دقیقه و ۵ ثانیه طول شرقی واقع شده است و سه شهر سروآباد، چناره و شویشه و نیز تعداد زیادی روستا در داخل منطقه قرار دارند (شکل ۱). حوضه آبریز زرآب ۳۹۷۳/۴ کیلومتر مربع مساحت دارد و در منطقه‌ای کوهستانی واقع شده است که مرتفع‌ترین نقطه آن با ۳۰۴۹ متر ارتفاع در شمال شرق منطقه (کوه مسجد میرزا) و کم ارتفاع‌ترین نقطه با ۷۶۵ متر ارتفاع در نقطه خروجی

حوضه در جنوب غربی آن قرار دارد. از نظر پوشش گیاهی در بخش‌های غربی منطقه جنگل‌های تخریب شده قرار دارد ولی در شرق منطقه پوشش گیاهی مرتع وجود دارد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز زرآب استان کردستان

مواد و روش‌ها

در ابتدا با تعیین مرز حوضه با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ منطقه و تعیین حدود سازندهای زمین شناسی و گسل‌های اصلی منطقه با به‌کارگیری نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، با استفاده از مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای و نرم افزار Google Earth، نقشه‌های شیب، وجه شیب منطقه توسط نرم افزار ARCMAP تهیه گردید. در ادامه با بررسی هر زمین لغزه و محدوده‌ای که در آن زمین لغزه رخ داده است به هر کدام از لایه‌ها امتیازی اختصاص داده شد. پس از آن نقشه پنج عامل طبیعی موثر به صورت رستر در وزن کل پنج عامل W_j که توسط مدل آنتروپی به دست آمده ضرب و در نهایت پس از جمع پنج نقشه مذکور توسط ابزار Raster Calculator نقشه نهایی یا H_j حاصل شد.

فرایند کار با مدل آنتروپی به شرح زیر است:

رابطه ۱ در واقع کلیدی‌ترین رابطه در این مدل است.

$$E_j = -k \sum_i^m p_{ij} \ln p_{ij} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در رابطه فوق E_j ارزش آنتروپی و p_{ij} ماتریس تصمیم‌گیری است.

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

در این رابطه r_{ij} ارزش یا همان امتیاز اختصاص داده شده به هر لایه است.

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

در اینجا K ضریبی است ثابت و m تعداد زمین لغزه‌های به‌وقوع پیوسته است.

پس از به‌دست آمدن مقدار E_j ، می‌بایست مقدار V_j نیز توسط رابطه زیر (رابطه ۴) محاسبه گردد.

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

V_j درجه انحراف عدم اطمینان است.

و در پایان برای محاسبه وزن نهایی تمام عوامل W_j از رابطه ۵ استفاده می‌شود.

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

رابطه ۶ جهت تهیه نقشه نهایی است.

$$H_i = \sum_{j=1}^n W_j \times r_{ij} \quad \text{رابطه (۶)}$$

H_i : ضریب رخداد خطر زمین لغزه

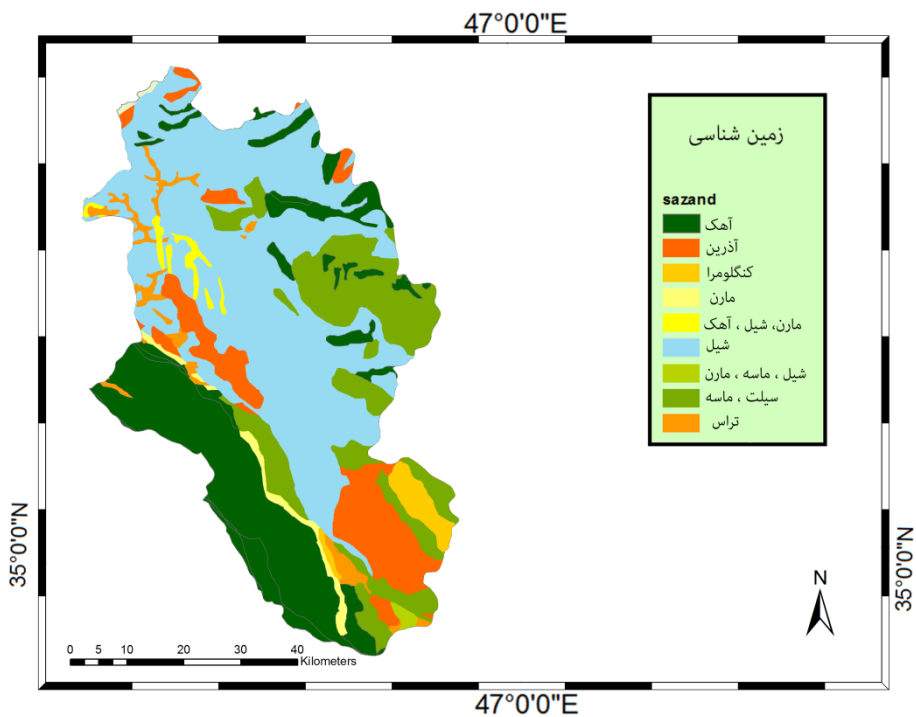
W_j : وزن نهایی تمام عوامل

r_{ij} : وزن هرکدام از عوامل (زونگجی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۳۶).

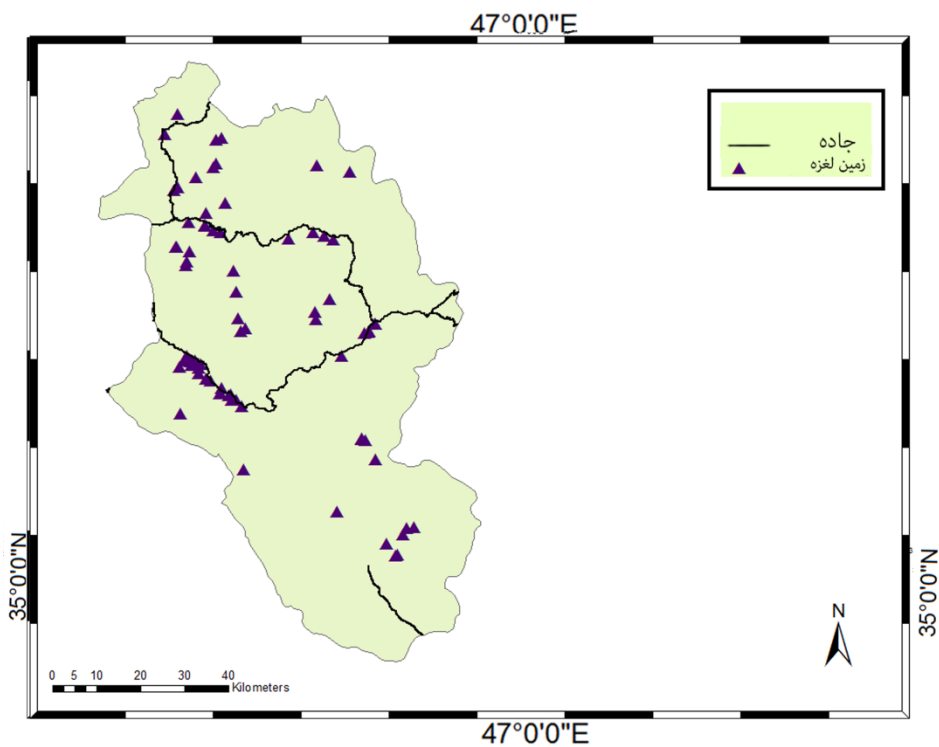
یافته‌ها و بحث

بخش اعظم استان کردستان براساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی رسوبی، در زون سنندج-سیرجان قرار دارد. با وجود این، بخش کوچکی از جنوب‌غربی استان متعلق به زون زاگرس مرتفع می‌باشد. بخش متعلق به حوضه زاگرس لایه‌های دریایی لیاس تا ائوسن است که شامل مارن‌های گلوبیژریندار و رادیولاریت، و در لایه‌های کرتاسه بالایی آن،

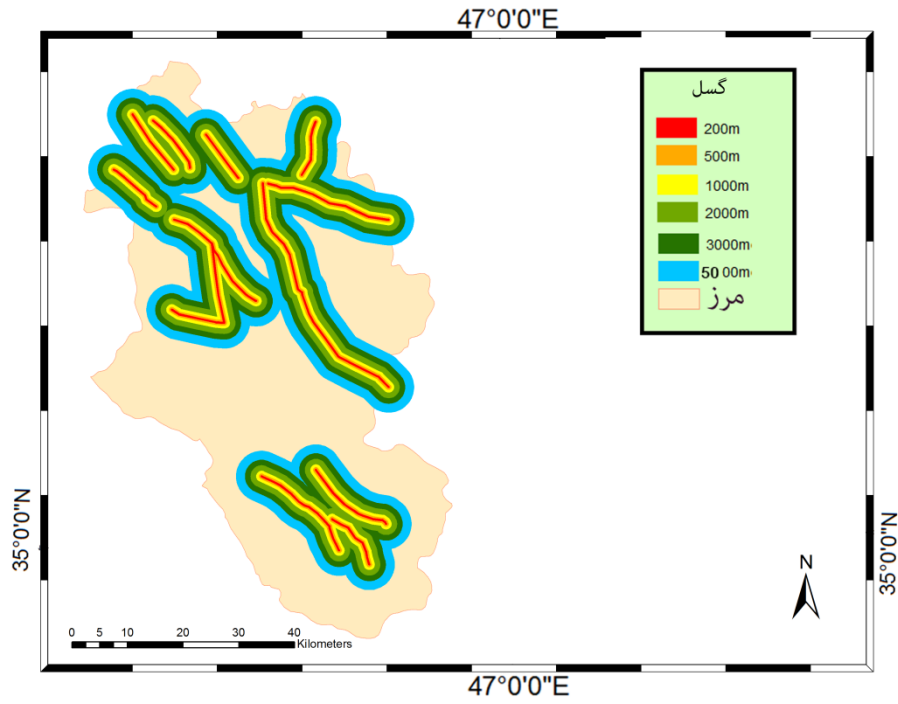
افیولیت-رادپولاریت و در رسوبات پلیوسن آن رسوبات تخریبی از نوع فلیش به چشم می‌خورد (اشتوکلین^۵، ۱۹۷۴: ۱). وجود افیولیت و سنگ‌های تخریبی مذکور نشانه حرکت مهمی در کرتاسه بالا پلیوسن است که در منطقه رورانده روی داده و باعث بالا آمدگی زمین، چین‌خوردگی و تخریب شده است. واحدهای تکتونو استراتیگرافیک سنندج سیرجان از نوع نهشته‌های پلاتفرمی انباشته بر لبه پلاتفرم‌های ناپایدار است به همین رو توالی‌های پالئوزوئیک آن از نوع رسوب‌های آشفته ولی انباشته شده در میان گودال‌ها است. سنگ‌های مزوزوئیک عموماً از نوع رخساره‌های فلیشی همراه با ولکانیک‌اند که پس از تجمع در گودال‌های پویایی مزوزوئیک در اثر رویدادهای تکتونیکی آغاز سنوزوئیک به طور پیشرفته دگرگون شده و توده‌های نفوذی متعدد به درون آن‌ها تزریق شده است. دگرگونی شدید سیمرین پسین در اواخر ژوراسیک به وضوح در این استان مشاهده می‌شود به نحوی که سنگ‌های کربناته کرتاسه زیرین که توسط یک کنگومرای قاعده‌های به طور دگرشیب بر روی سنگ‌های قدیم قرار دارند، حاکی از آن است که بخش‌هایی از بلوک سنندج سیرجان خارج از آب باقی مانده است و این مسئله به عملکرد فاز کوهزایی مذکور مربوط می‌شود. در طول کرتاسه زیرین فرونشینی تدریجی در باریکه اسفندقه ارومیه در منطقه سنندج از سر گرفته می‌شود و ۲ تا ۳ کیلومتر از رسوبات توربیدایت مربوط به بارمین آلبین در آن انباشته می‌شود. سنگ‌های ترشیر گسترش محدود دارند و به نظر می‌رسد که بخش سنندج سیرجان استان در زمان ترشیر از آب بیرون بوده است. همانند سایر نواحی، ساختار بخش سنندج سیرجان استان کردستان از نوع راندگی‌های هم‌آغوشی است که عموماً در اثر جابجایی و راندگی ورقه‌ها بر روی یکدیگر موجب افزایش ضخامت پوسته به میزان ۱۰ تا ۱۵ کیلومتر شده است (درویش زاده، ۱۳۷۰: ۲۱۰). نخستین رویداد گسلش راندگی در زون سنندج-سیرجان، در کرتاسه پسین، حاصل جای گیری افیولیت‌ها بر روی حاشیه قاره‌ای غیر فعال زاگرس عربستان و انتقال فلس‌های حاشیه‌ای به صورت صفحه‌های نابرجا به سوی جنوب باختر است. چین خوردگی زاگرس، از کرتاسه پسین آغاز شده ولی در زمان پلیوسن به بیش‌ترین اندازه خود رسیده است، که فرجام آن کاهش پهنای اولیه زاگرس به اندازه ۲۰ درصد است (آقانباتی، ۱۳۸۳: ۴۱). مهم‌ترین گسل زاگرس مرتفع، گسل زاگرس است که شامل دو خط شکستگی قدیم و جدید تقریباً موازی است (جداری عیوضی، ۱۳۹۰: ۴۷). سازندهای محدوده مورد مطالعه شامل شیل، آهک، سنگ‌های آذرین و دگرگونی، مارن، سیلت و ماسه، تراس و کنگلومرا است (شکل ۲) با توجه به عوامل اصلی موثر در وقوع لغزش، ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه به همراه ویژگی‌های اقلیم‌شناسی شرایط را برای وقوع انواع حرکات دامنه‌ای به ویژه لغزش‌ها فراهم کرده است به گونه‌ای که حدود ۸۲ مورد زمین لغزش در این منطقه شناسایی و نقشه پراکندگی آن تهیه گردید (شکل ۳).



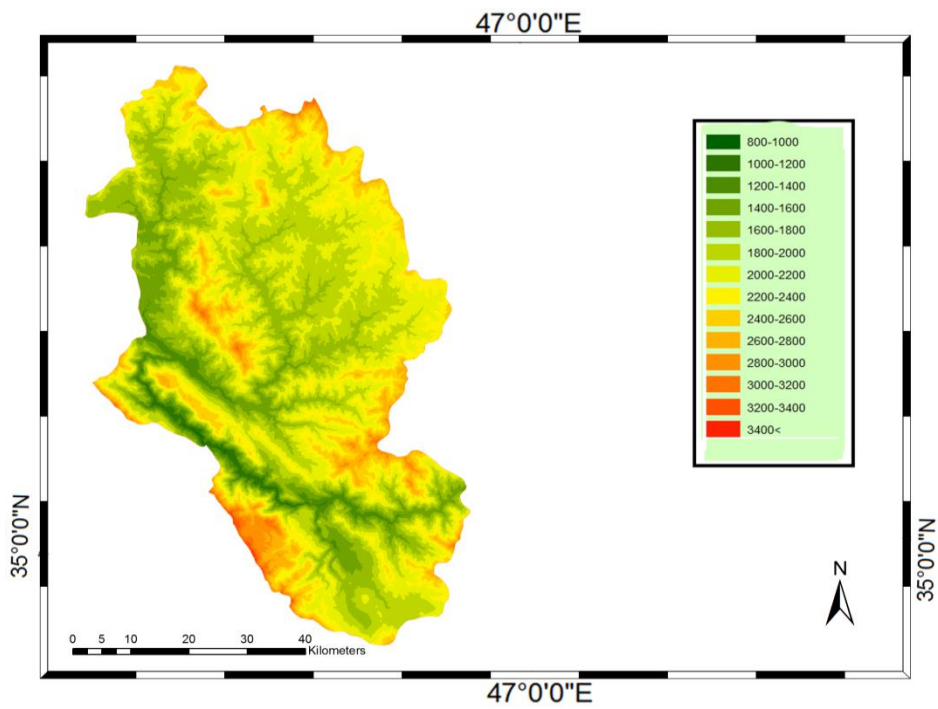
شکل ۲: سازندهای زمین شناسی



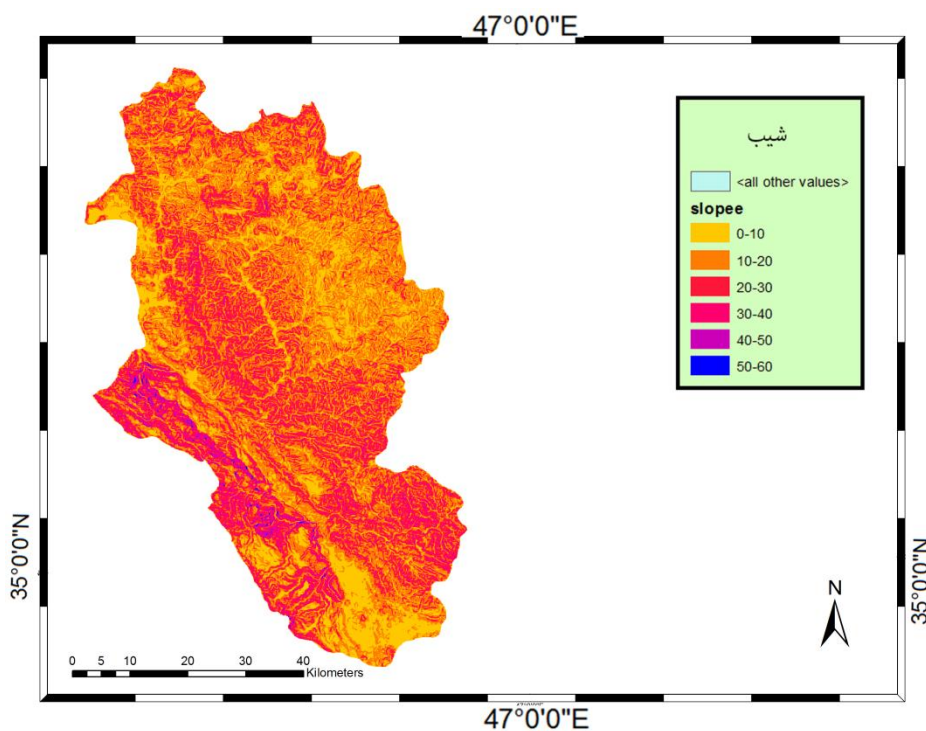
شکل ۳: پراکنش زمین لغزها



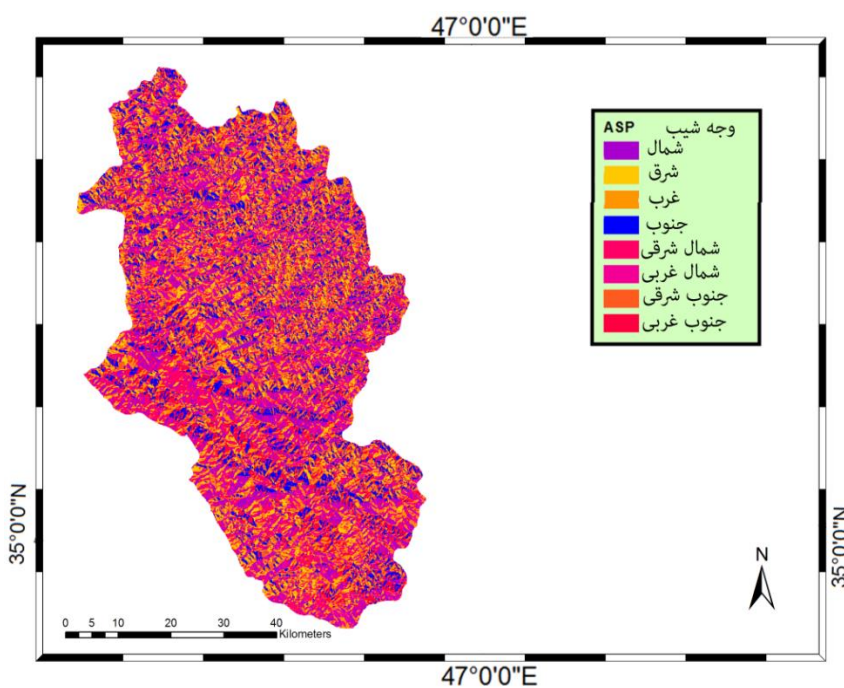
شکل ۴: گسل‌های اصلی منطقه



شکل ۵: طبقات ارتفاعی



شکل ۶: شیب



شکل ۷: وجه شیب

جدول (۱) نتیجه بررسی هر کدام از زمین لغزه‌ها و اساس امتیازدهی به هر کدام از لایه‌هاست.

جدول ۱- مشخصات هر زمین لغزه

شیب درصد	وجه شیب	ارتفاع (متر)	گسل (متر)	سازند	لغزش	وجه شیب	شیب درصد	ارتفاع متوسط (متر)	گسل متوسط (متر)	سازند	لغزش
۲۵	NE	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۴۱	E	۲۵	۱۷۰۰	۱۵۰۰	شیل	۱
۲۵	SE	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۴۲	NW	۲۵	۱۹۰۰	۲۵۰۰	شیل	۲
۲۵	S	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	مارن	۴۳	SW	۲۵	۱۷۰۰	۷۵۰	آهک	۳
۲۵	SW	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	مارن	۴۴	NW	۳۵	۱۹۰۰	۷۵۰	شیل	۴
۲۵	SW	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	مارن	۴۵	E	۳۵	۱۹۰۰	۷۵۰	شیل	۵
۲۵	S	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۴۶	N	۲۵	۱۷۰۰	۷۵۰	تراس	۶
۲۵	W	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۴۷	S	۳۵	۲۵۰۰	۴۰۰	شیل	۷
۱۵	S	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۴۸	SE	۲۵	۱۷۰۰	۱۰۰	شیل	۸
۲۵	S	۱۷۰۰	۵۰۰۰<	مارن	۴۹	W	۱۵	۱۷۰۰	< ۵۰۰۰	شیل	۹
۱۵	NW	۱۷۰۰	۱۵۰۰	شیل	۵۰	N	۲۵	۱۹۰۰	۴۰۰۰	شیل	۱۰
۲۵	SE	۱۷۰۰	۴۰۰۰	شیل	۵۱	SW	۲۵	۱۳۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۱۱
۲۵	SW	۱۷۰۰	۵۰۰۰<	شیل	۵۲	S	۳۵	۱۵۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۱۲
۱۵	NE	۱۷۰۰	۲۵۰۰	شیل	۵۳	W	۲۵	۱۵۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۱۳
۲۵	E	۱۷۰۰	۲۵۰۰	سیلت	۵۴	N	۲۵	۱۹۰۰	۲۵۰۰	آذرین	۱۴
۲۵	W	۱۷۰۰	۱۵۰۰	سیلت	۵۵	SW	۲۵	۲۱۰۰	< ۵۰۰۰	شیل	۱۵
۲۵	E	۱۷۰۰	۴۰۰۰	شیل	۵۶	SW	۳۵	۲۱۰۰	< ۵۰۰۰	شیل	۱۶
۲۵	W	۱۹۰۰	۴۰۰۰	شیل	۵۷	S	۳۵	۲۱۰۰	< ۵۰۰۰	شیل	۱۷
۳۵	NE	۱۷۰۰	۱۵۰۰	تراس	۵۸	NE	۲۵	۲۵۰۰	< ۵۰۰۰	سیلت	۱۸
۲۵	E	۱۷۰۰	۲۵۰۰	تراس	۵۹	E	۳۵	۱۷۰۰	< ۵۰۰۰	آذرین	۱۹
۱۵	E	۱۵۰۰	۴۰۰۰	تراس	۶۰	E	۳۵	۱۷۰۰	۲۵۰۰	آذرین	۲۰
۱۵	NW	۱۷۰۰	۴۰۰۰	شیل	۶۱	W	۱۵	۱۹۰۰	۴۰۰۰	شیل	۲۱
۱۵	NW	۱۷۰۰	۴۰۰۰	شیل	۶۲	N	۱۵	۱۳۰۰	۱۵۰۰	آهک	۲۲
۱۵	SE	۱۹۰۰	۴۰۰۰	شیل	۶۳	S	۲۵	۱۳۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۲۳
۱۵	W	۲۳۰۰	۲۵۰۰	آهک	۶۴	S	۳۵	۱۵۰۰	< ۵۰۰۰	مارن	۲۴
۲۵	NE	۱۹۰۰	۵۰۰۰<	شیل	۶۵	N	۳۵	۱۳۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۲۵

۲۵	N	۱۱۰۰	۵۰۰۰<	شیل	۶۶	NW	۳۵	۱۳۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۲۶
۱۵	N	۱۹۰۰	۴۰۰۰	شیل	۶۷	SW	۲۵	۱۵۰۰	< ۵۰۰۰	مارن	۲۷
۳۵	N	۱۹۰۰	۷۵۰	شیل	۶۸	NE	۲۵	۱۷۰۰	۷۵۰	شیل	۲۸
۲۵	SE	۱۷۰۰	۲۵۰۰	شیل	۶۹	SW	۲۵	۱۳۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۲۹
۲۵	NE	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۷۰	E	۲۵	۱۵۰۰	< ۵۰۰۰	سیلت	۳۰
۱۵	SW	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۷۱	SE	۱۵	۱۳۰۰	۴۰۰۰	آذرین	۳۱
۲۵	W	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۷۲	NW	۳۵	۱۷۰۰	۲۰۰	شیل	۳۲
۱۵	S	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۷۳	N	۳۵	۱۷۰۰	۷۵۰	شیل	۳۳
۲۵	N	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۷۴	N	۲۵	۱۷۰۰	۱۵۰۰	شیل	۳۴
۲۵	SW	۱۳۰۰	۵۰۰۰<	تراس	۷۵	NE	۳۵	۱۹۰۰	۷۵۰	شیل	۳۵
۲۵	S	۱۳۰۰	۴۰۰	شیل	۷۶	N	۱۵	۱۹۰۰	۱۵۰۰	شیل	۳۶
۱۵	SE	۲۳۰۰	۴۰۰۰	شیل	۷۷	NW	۱۵	۱۵۰۰	۴۰۰۰	شیل	۳۷
۱۵	W	۲۱۰۰	۵۰۰۰<	مارن و شیل	۷۸	W	۲۵	۱۵۰۰	۴۰۰۰	مارن و شیل	۳۸
۲۵	NW	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	مارن و شیل	۷۹	E	۲۵	۱۵۰۰	۴۰۰۰	مارن و شیل	۳۹
۲۵	W	۱۵۰۰	۵۰۰۰<	آهک	۸۰	SW	۳۵	۱۳۰۰	< ۵۰۰۰	آهک	۴۰
۳۵	N	۱۵۰۰	۲۵۰۰	آذرین	۸۲	SE	۳۵	۱۳۰۰	۷۵۰	آذرین	۸۱

با در نظر گرفتن جدول فوق به هر کدام از لایه‌های عوامل اصلی دخیل در ایجاد زمین لغزه‌ها امتیازی اختصاص داده شد (جدول ۲).

جدول ۲ - امتیاز اختصاص یافته به هر کدام از عوامل

امتیاز	فاصله از گسل (متر)	امتیاز	شیب درصد	امتیاز	وجه شیب	امتیاز	طبقات ارتفاعی (متر)	امتیاز	سازندها
۹	۲۰۰-۰	۲	۱۰-۰	۹	N	۱	۱۰۰۰-۸۰۰	۸	آهک
۸	۵۰۰-۲۰۰	۳	۲۰-۱۰	۴	S	۴	۱۲۰۰-۱۰۰۰	۵	آذرین
۷	۱۰۰-۵۰۰	۴	۳۰-۲۰	۷	E	۳	۱۴۰۰-۱۲۰۰	۹	شیل
۶	۲۰۰۰-۱۰۰۰	۷	۴۰-۳۰	۶	W	۷	۱۶۰۰-۱۴۰۰	۴	تراس
۵	۳۰۰۰-۲۰۰۰	۸	۵۰-۴۰	۵	NW	۵	۱۸۰۰-۱۶۰۰	۵	مارن
۴	۵۰۰۰-۳۰۰۰	۹	۶۰-۵۰	۳	NE	۹	۲۰۰۰-۱۸۰۰	۳	مارن و شیل

سیلت و ماسه	۳	۲۲۰۰-۲۰۰۰	۶	SW	۴	۷۰-۶۰	۲	۵۰۰۰۰<	۳
کتگلو مرا	۱	۲۴۰۰-۲۲۰۰	۱	SE	۴				
		۲۶۰۰-۲۴۰۰	۶						
		۲۸۰۰-۲۶۰۰	۱						

در نهایت پس از استفاده از رابطه‌های مذکور مقدار E_j به دست آمده برای سازندهای زمین‌شناسی، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل و طبقات ارتفاعی به قرار زیر است.

$$E_j = [0.9687, 0.9856, 0.9859, 0.9819, 0.9776]$$

درجه عدم اطمینان نیز محاسبه گردید.

$$V_j = [0.0313, 0.0144, 0.0141, 0.018, 0.0224]$$

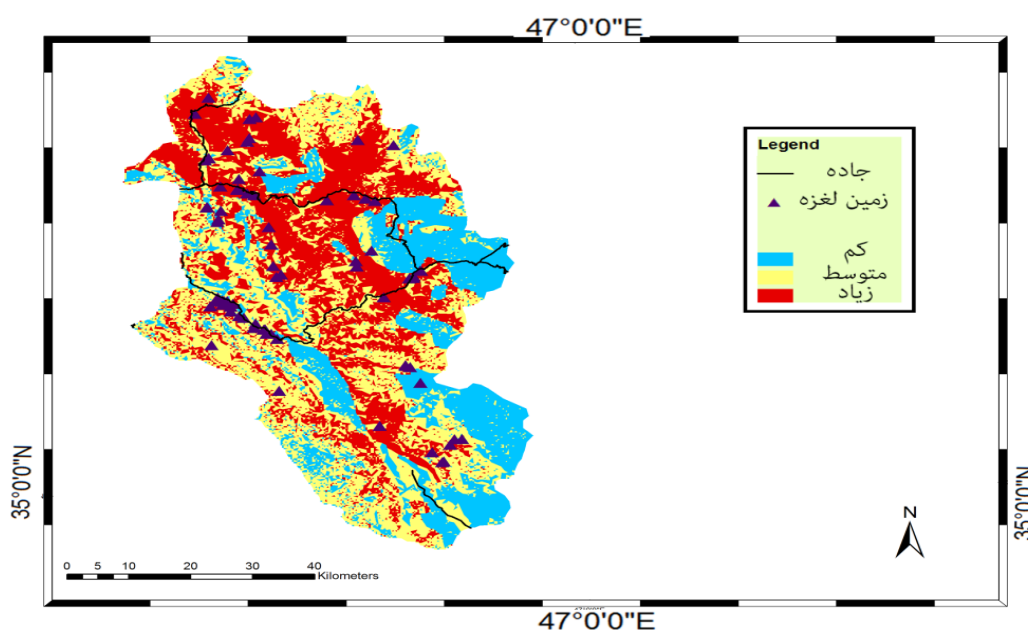
$$H_i = 0.0313XG + 0.0114XS + 0.0141XA + 0.018XD_f + 0.224 XE$$

که G معرف سازند زمین‌شناسی، S شیب، A وجه شیب، D_f فاصله از گسل و E طبقات ارتفاعی و H نیز نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزه است. با ضرب هر کدام از موارد فوق در نقشه رستری مربوط به خود و جمع نقشه‌های حاصل در نهایت نقشه پهنه‌بندی زمین لغزه‌های منطقه در سه کلاس کم، متوسط و زیاد تهیه شد (شکل ۸). آنچه در این نقشه مشاهده می‌شود مبین این مساله است که ۵۵٪ زمین لغزه‌ها در محدوده خطر متوسط، ۳۷٪ در محدوده پر خطر و ۸٪ آن در محدوده کم خطر واقع شده است. از نظر زمین‌شناسی بیش‌ترین تمرکز زمین لغزه‌ها در مناطقی از جنس شیل و آهک است، این گونه رسوبات به واسطه داشتن تخلخل زیاد همراه با شکستگی‌های فراوان، با جذب آب‌های ناشی از بارندگی و ذوب یخچال‌های منطقه شرایط مناسبی را برای وقوع زمین لغزش فراهم می‌کنند به ویژه شیل که پس از تجزیه رس تولید کرده و در نهایت وجود رس به علت خاصیت صابونی و لغزنده شدن پس از جذب رطوبت، وقوع این فرایند را تسهیل می‌نماید. نقشه پراکندگی لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیش‌ترین تراکم در ارتفاعات ۱۲۰۰-۱۴۰۰ و ۱۶۰۰-۱۸۰۰ و در جهات شیب N ، W و SW است. مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که مستعدترین شیب برای خطر زمین لغزش، شیب شمالی است و در یک دسته‌بندی به ترتیب در جهات شمالی، غربی، شرقی و جنوبی میزان پایداری افزایش می‌یابد چرا که با افزایش ساعات قرارگیری دامنه در معرض نور آفتاب میزان تبخیر افزایش یافته و با کاهش رطوبت امکان وقوع زمین لغزش کاهش می‌یابد. به طور کلی می‌توان گفت که شیب ۲۰-۳۰ درجه مناسب‌ترین شرایط را برای وقوع زمین لغزه دارا می‌باشد. مطالعاتی که در زمینه وقوع این پدیده در شهر رودبار انجام شده، نشان داده است که ۷۸ درصد از زمین لغزه‌ها را در شیب بالای ۲۰

درصد رخ داده است (مقیمی ۱۳۹۲: ۱۰۳). ۵۴ درصد از زمین لغزه‌ها در حریم گسل‌ها و ۴۶ درصد خارج از حریم قرار دارند، تراکم گسل‌ها در جهت شمال غرب جنوب شرق موید فعال بودن منطقه به لحاظ تکتونیکی است که البته زلزله مسبب وقوع بسیاری از زمین لغزه‌ها بوده است، بنابراین منطقی است که با فاصله گرفتن از حریم گسل‌ها تعداد زمین لغزه‌ها کاهش یابد همچنین با افزایش فاصله از گسل سطوح گسیخته شده نیز کاهش می‌یابد. جدول شماره ۳ میزان تاثیر هر یک از عوامل بررسی شده در وقوع لغزش در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

جدول ۳- میزان تاثیر هر یک از عوامل پنج‌گانه در رخداد زمین لغزش‌های منطقه

عوامل تاثیر گذار	سازند	شیب	جهت شیب	فاصله از گسل	طبقات ارتفاعی
درصد تاثیر	٪۳۱	٪۱۴	٪۱۵	٪۱۸	٪۲۲



نقشه ۸: پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزه

نتیجه‌گیری

با توجه به این که ۱۳۷۴/۲ کیلومتر مربع از ناحیه مورد مطالعه به میزان زیادی در معرض خطر است و ۱۶۰۸/۱ کیلومتر مربع در ناحیه خطر متوسط و ۹۶۵/۱ کیلومتر مربع در ناحیه کم خطر قرار دارد، بنابراین منطقه مورد مطالعه به طور نسبی تا حد زیادی در معرض خطر زمین لغزه قرار دارد.

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل موثر بر زمین لغزه در منطقه مورد مطالعه لیتولوژی و در درجه دوم طبقات ارتفاعی است، شیل و آهک دو واحد لیتولوژی هستند که بیش‌ترین زمین لغزه‌ها در آنها اتفاق افتاده

است. همچنین طبقات ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ و ۱۶۰۰ تا ۱۸۰۰ متر نیز بیشترین میزان زمین لغزه را به خود اختصاص داده‌اند و در مقابل سازندهایی با لیتولوژی کنگلومرا و سیلت و ماسه و طبقات ارتفاعی ۲۰۰۰-۲۲۰۰ شاهد کمترین میزان رخداد زمین لغزه‌اند. همان‌گونه که ذکر شد ۵۵٪ از کل زمین لغزش‌های منطقه در محدوده خطر متوسط به وقوع پیوسته است، با نگاهی دقیق‌تر و هم‌پوشانی موقعیت زمین لغزه‌ها و محل عبور جاده‌ها (نقشه ۸) وابستگی زمین لغزه‌ها و ساخت جاده در منطقه کاملاً مشهود می‌گردد و علت قرارگیری درصد بالایی از آن در منطقه خطر متوسط آشکار می‌شود. پس از بررسی‌های بیش‌تر ۶۰٪ از زمین لغزه‌هایی که فاصله زیادی با محل عبور جاده‌ها دارند در منطقه پرخطر هستند که این مناطق همان‌گونه که عنوان شد به لحاظ لیتولوژی از جنس شیل، طبقات ارتفاعی ۱۲۰۰ تا ۱۴۰۰ متر و شیب ۲۰ تا ۳۰ درصد، جهت شیب W، N و SW و فاصله از گسل زیر ۵۰۰ متر بوده، ۲۳٪ خطر متوسط و ۱۷٪ در محدوده کم خطر که علاوه بر خصوصیات لیتولوژی و ارتفاعی عنوان شده دارای شیب کم‌تر از ۲۰ درصد، جهت شیب SE و فاصله از گسل بالای ۵۰۰۰ متر هستند، قرار دارند که این هم تایید کننده مطلب فوق است. بنابراین علاوه بر ویژگی‌های طبیعی منطقه عوامل انسان ساز نیز تسریع کننده این امر است.

منابع

- آقائباتی، ع (۱۳۸۳)، «زمین شناسی ایران»، تهران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدن، ۷۰۷ ص.
- بهشتی‌راد، م؛ فیض‌نیا، س؛ سلاحقه، ع (۱۳۸۸)، «بررسی کارایی مدل پهنه‌بندی خطر زمین لغزش فاکتور اطمینان (CF) مطالعه موردی حوزه آبخیز معلم کلایه»، *فصلنامه جغرافیای طبیعی*، شماره ۵، صص ۱۷-۲۹.
- جداری‌عیوضی، ج (۱۳۹۰)، «ژئومورفولوژی ایران»، تهران، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۱۰۶ ص.
- حکمت‌نیا، ح؛ موسوی، ن (۱۳۸۵)، «کاربرد مدل در جغرافیا با تاکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای یزد»، تهران، علم نوین.
- درویش‌زاده، ع (۱۳۷۰)، «زمین شناسی ایران»، تهران، نشر دانش امروز، ۴۳۴ ص.
- رهنمایی، م؛ پناهی جلودار لو، ق (۱۳۹۰)؛ «سنجش پایداری سازمان فضایی اردبیل با استفاده از مدل آنتروپی»، پایان نامه دوره دکتری، دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه پیام نور تهران.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، (۲۰۰۲)، «تصویر ماهواره‌ای IRS قطعه تحت پوشش منطقه زاگرس غربی».
- شریفی‌کیا، م؛ امیری، ش؛ شایان، س (۱۳۸۹)؛ «سنجش آسیب‌پذیری سکونت‌گاه‌های روستایی ناحیه ولشت از مخاطرات زمینی»؛ *مجله مدرس برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، شماره ۱۵، صص ۱-۱۵.
- کریمی سنگ‌چینی، ا؛ اوتق، م؛ سعد‌الدین، ا (۱۳۹۰)، «مقایسه کارایی ۴ مدل کمی و نیمه کمی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز چهل چای، استان گلستان»، *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، شماره اول، صص ۹۸-۱۱۳.
- مقیمی، ا؛ محمودی، ف (۱۳۸۳)، «روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)»؛ نشر قومس، ۲۹۶ ص.
- مقیمی، ا؛ سید شکر، س (۱۳۹۱)، «پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزه با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاکدیس نثار زاگرس شمال غربی)»، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی*، شماره ۷۹، صص ۷۷-۹۰.
- محمودی، فرج‌الله (۱۳۸۲)، «ژئومورفولوژی دینامیک»، تهران، انتشارات دانشگاه، ۱۶۸ ص.
- مقیمی، ا؛ یمانی، م؛ رحیمی‌هرآبادی، س (۱۳۹۲)، «ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش در شهر رودبار با استفاده از فرایند تحلیل شبکه»، *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، شماره ۴، صص ۱۰۳-۱۱۸.
- نصیری، ش (۱۳۸۳)، «نگرشی بر زمین لغزه‌های ایران (بررسی موردی ناپایداری شیب‌ها در جاده هراز)»، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور [online]: [www.rgdir.ir/pdefault.asp\(verified 3/4/2015](http://www.rgdir.ir/pdefault.asp(verified 3/4/2015)

- نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.

- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی ایران.

- Baily, K., (1990), "*Entropy System Theory, Systems Science and Cybernetics*", University of California, Los Angeles.
- Dincer, I., Cengel, Y., (2001), "*Energy, Entropy and Exergy Concepts and Their Roles in Thermal Engineering*", Department of Mechanical Engineering, University of Nevada.
- Matys, M., Marschalko, M., (2010), "*Landslide Susceptibility Assessment of the Kral'ovany-Liptovsky' Mikulaš Railway Case Study, Physics and Chemistry of the Earth*", 35: 162-171.
- Kumar Dahal, R., (2008), "Predictive Modeling of Rainfall-induced Landslide Hazard in the Lesser Himalaya of Nepal Based on Weights-of-evidence", *Geomorphology*, 102:496-510.
- Luna, B., et al., (1963), "**The Concept of Entropy in Landscape Evolution**", Geological survey professional paper 500-A Assembly.Nice. France.
- Cover, M.T., Joy, A.T., (1991), "Entropy, Relative Entropy and Mutual Information", *Element Information Heory*.
- Sujatha, E.R., (2012), "Geoinformatics Based Landslide Susceptibility Mapping using Probabilistic Analysis and Entropy Index of Tevankarai Stream Sub-Watershed", India, Sastra University, Thanjavur, Tamilnadu.
- Wan, S., (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., et al., (2010), "Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area", China, Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, (FSKD).