



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۳۹۷، دوره ۱، شماره ۲

استفاده از مدل آنتروپی در ارزیابی مخاطره زمین لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طرقله-درود (مشهد - نیشابور)

رحمان زندی^۱، ابوالقاسم امیر احمدی^۲، ملیحه محمدنیا^{۳*}

۱-استادیار گروه سنجش از دور دانشگاه حکیم سبزواری

۲-دانشیار گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه حکیم سبزواری

۳-دانشجوی دکتری دانشگاه حکیم سبزواری

malihe.mohamadnia@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۳۰

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۰۶/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۱۷

چکیده

زمین لغزش به عنوان یکی از بلایای طبیعی، خطرات زیادی بخصوص در مناطق کوهستانی داشته و منجر به خسارات جانی و مالی فراوانی در سرتاسر دنیا می‌شود. هدف از این پژوهش ارزیابی عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش و تهیه نقشه حساسیت آن در بخشی از ارتفاعات بینالود (محور پیشنهادی طرقله - درود) می‌باشد. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی، ابتدا محدوده‌های لغزشی مشخص گردید، سپس عوامل موثر در وقوع حرکات دامنه‌ای مانند: شیب، ارتفاع، جهت شیب، نوع شیب، لایه کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و بارش در محیط GIS تهیه و پس از وزن دهی به روش آنتروپی نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه مورد بررسی، تهیه گردید. نتایج نشان داد که عوامل کاربری اراضی، نوع شیب و بارش به عنوان موثرترین عوامل و شاخص توان آبراهه و حمل رسوب کم تاثیرترین عامل در رخداد زمین لغزش در منطقه برآورد گردیدند. نقشه تهیه شده به چهار کلاس حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. بیش از ۵۰ درصد منطقه دارای حساسیت لغزش بالا و خیلی بالا بوده که نشان از پتانسیل زمین لغزش بالای منطقه دارد. نقشه تهیه شده با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید دقت پیش بینی بسیار خوبی در وقوع رخداد زمین لغزش دارد.

کلمات کلیدی: زمین لغزش، آنتروپی، پهنه بندی، منحنی ROC، طرقله- درود.

۱- مقدمه

مخاطرات ژئومورفولوژیک به عنوان پدیده‌ای بالقوه زیان‌بار مطرح است که مهم‌ترین آن‌ها حرکت‌های توده‌ای و زمین‌لغزش‌ها هستند (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۳: ۸۶). ناپایداری دامنه‌های طبیعی یکی از پدیده‌های ژئومورفولوژیکی است که در تغییر شکل سطح زمین نقش مهمی دارد (ویتوریو^۱ ۲۰۱۱: ۵). زمانی که این فرایند فعالیت‌های انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد به پدیده‌ای خطرناک تبدیل می‌شود (پاولتی^۲ و همکاران ۲۰۱۳: ۱۴۷). این نوع حرکات عمدتاً در اثر نیروی ثقل، عوامل طبیعی مثل بارش شدید، زلزله، اشباع خاک از آب و همچنین علل انسانی مثل تخریب پوشش گیاهی و عملیات ناصحیح مهندسی به وقوع می‌پیوندد (رجبی و فیض‌اله‌پور، ۱۳۹۳: ۱۶۲). زمین لغزش یکی از مهمترین حرکات دامنه‌ای است و همواره در سراسر جهان موجب مرگ و میر سالانه هزاران نفر و خسارت‌های سنگین می‌شود (سپهر و همکاران ۲۰۱۳: ۲۰). برطبق گزارشات جهانی مخاطرات طبیعی^۳ در سال ۲۰۱۲، لغزش در میان هفت بلاای طبیعی خطرناک جهان قرار گرفت (فتحی^۴ و همکاران ۲۰۱۵: ۵۱۶)

جاده‌ها جزئی از توسعه‌ی تمدن و حامی فعالیت‌های اقتصادی می‌باشند که اخیراً حالت بحرانی پیدا کرده‌اند. (اریل ۵، ۱۹۹۹: ۱۳۳) علت این امر وقوع حوادث در جاده‌هاست که بخشی از آنها مربوط به بلاای طبیعی چون لغزش و سیل است. (فلاح تبار، ۱۳۷۹: ۴۸) فعالیت‌های انسانی یکی از عوامل مهم تشدید بلااست. چنین مخاطراتی نشان می‌دهد که مسیر جاده‌ها به درستی و با نگرش یکپارچه ناظر بر مخاطرات محیطی انتخاب نشده است (فلاح تبار، ۱۳۷۹: ۴۷). با توجه به اهمیت این موضوع، شناخت عوامل موثر در وقوع حرکات دامنه‌ای و شناسایی مکان‌های با قابلیت خطرپذیری بالا ضروری بنظر می‌رسد. با توجه به اینکه در مورد پهنه بندی زمین لغزش 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 پهنه بندی زمین لغزش این ناحیه استفاده و تاثیر عوامل موثر در این پدیده ارزیابی شود.

در زمینه موضوع مورد مطالعه، تحقیقات زیادی در ایران و جهان انجام گرفته است. ون^۵ (۲۰۰۹)، 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)، به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در منطقه کارل اونری در اسلواکی پرداختند و برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی از شاخص آنتروپی استفاده و در نهایت

¹ Vittorio

² Paoletti

1- global organization of natural dangers

⁴ Fathi

⁵ -ariel

⁶ Wan

نقشه پهنه بندی خطر را ارایه نمودند. دوکوتا^۷ و همکاران (۲۰۱۳) نقشه خطر زمین لغزش را با استفاده از شاخص آنتروپی و رگرسیون لجستیک در بخشی از جاده *Mugling-Narayanghat* در کشور نپال تهیه نمودند. در این مطالعه، شیب، جهت شیب، ارتفاع، انحناء زمین، کاربری زمین، سنگ‌شناسی، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و شاخص رطوبت توپوگرافی به عنوان عوامل موثر در لغزش بکار گرفته شد. نتایج اعتبارسنجی نقشه خطر بوسیله منحنی *ROC* نشان داد که نقشه تهیه شده با استفاده از شاخص آنتروپی با ۹۰/۱ درصد دارای دقت بالایی می‌باشد. در همین سال مارگارینت^۸ و همکاران نقشه حساسیت خطر زمین لغزش در شرایط جغرافیایی متفاوت در چهار بخش از کشور رومانی را تهیه نمودند. در این پژوهش عوامل: ارتفاع، زاویه شیب، ارتفاع شیب، انحناء زمین، فاصله از آبراهه، جهت شیب، کاربری زمین و سنگ‌شناسی را به عنوان عوامل موثر در وقوع زمین لغزش شناسایی و نقشه خطر را برای چهار بخش تهیه نمودند. نتایج صحت‌سنجی نقشه‌ها براساس منحنی *ROC* نشان داد که روش رگرسیون لجستیک در محدوده مورد مطالعه جهت تهیه نقشه خطر لغزش دارای نتیجه مطلوبی می‌باشد. هونگ^۹ و همکاران (۲۰۱۶) به منظور مدلسازی مکانی زمین لغزش در شهر *Guanzhou* چین از چهار مدل تئوری تابع اطمینان، نسبت فراوانی، ماکزیمم آنتروپی و رگرسیون لجستیک استفاده نمودند. نتایج صحت‌سنجی مدل نشان داد که مدل رگرسیون لجستیک با سطح زیر منحنی ۰/۸۲ بالاترین دقت را داشته است. یوسف^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۶) به منظور تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش از مدل‌های نسبت فراوانی، وزن واقعه، شاخص آنتروپی و دمپستر-شیفر استفاده نمودند. نرخ پیش‌بینی به ترتیب ۰/۹۵، ۰/۹۵۲، ۰/۹۴۶ و ۰/۹۳۴ به دست آمد. محمدخان و همکاران (۱۳۹۳)، به پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی در منطقه شیر پناه استان کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که عوامل فاصله از گسل، شیب، ارتفاع، لیتولوژی و جهت شیب به ترتیب بیشترین تاثیر را در وقوع زمین لغزش در منطقه داشته است. پهنه بندی خطر زمین لغزش به روش‌های آنتروپی و وزن شاهد (مطالعه موردی منطقه دوآب صمصامی استان چهارمحال و بختیاری) عنوان پژوهشی است که توسط منصور و شیرانی (۱۳۹۵) انجام گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از دقت خوب مدل‌های مذکور در برآورد خطر زمین لغزش در منطقه می‌باشد. شیرانی (۱۳۹۶)، نیز با استفاده از مدل آنتروپی و تیوری بیزین، نقشه حساسیت زمین نسبت به زمین لغزش را در حوضه سرخون کارون تهیه نمود. نتایج این پژوهش نشانگر این مطلب بود که در هر دو روش مورد استفاده کاربری زمین بیشترین تاثیر را در وقوع لغزش در منطقه داشته است. در پژوهش حاضر سعی بر آن است که با استفاده از روش آنتروپی در مسیر راه طرqbه- درود، پتانسیل ظهور مخاطره زمین لغزش ناشی از تغییر کاربری زمین در طول مسیر این پروژه مورد ارزیابی قرار گیرد.

7 Devkota

8 Margarint

9 Hong

10 Youssef

۲- مواد و روش ها

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی، ابتدا محدوده‌هایی که دارای حرکات دامنه‌ای مانند پهنه‌های لغزشی هستند از بانک اطلاعات زمین لغزش کشور تهیه گردید. سپس عوامل موثر در وقوع حرکات دامنه‌ای مانند: شیب، ارتفاع، جهت شیب، نوع شیب، لایه کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و بارش در محیط GIS تهیه و پس از وزن دهی به روش آنتروپی نقشه حساسیت زمین لغزش منطقه مورد بررسی، تهیه گردید.

۲-۱- روش آنتروپی

آنتروپی، یکی از رویکردهای مدیریتی است که به منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و عدم یقین‌های موجود در یک سیستم مورد استفاده قرار گرفته (Yufeng and Fengxiant, 2009:83) و بیان‌کننده مقدار عدم اطمینان در یک توزیع احتمال پیوسته است (ضرابی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۵). در واقع آنتروپی مفهومی است که پراکندگی و بی‌نظمی را در پدیده‌های طبیعی تخمین می‌زند. این مفهوم که در دانش ترمودینامیک کاربرد بسیار دارد، امروزه به سایر علوم نیز راه یافته است (ضمیری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۳). برای استفاده از این مدل، ابتدا باید ماتریس تصمیم‌گیری ایجاد شود. ماتریس تصمیم‌گیری حاوی اطلاعاتی است که آنتروپی می‌تواند به عنوان معیاری برای ارزیابی آن به کار رود و با محاسبه ماتریس آنتروپی و وزن کل ده عامل (Wj) میزان Hi به عنوان ضریب خطر وقوع زمین لغزش به دست می‌آید (مقیمی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۱).

مدل آنتروپی بصورت رابطه شماره ۱ بیان می‌شود:

$$E_j = -K \sum_{i=1}^m P_{ij} \ln P_{ij}$$

رابطه ۱

در این رابطه E_j ارزش آنتروپی و P_{ij} ماتریس تصمیم‌گیری است.

پرتال جامع علوم انسانی

$$P_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}}$$

رابطه ۲

R_{ij} مقدار وزن هر یک از لایه‌ها است.

رابطه ۳

$$k = (\ln m)^{-1}$$

K ضریب ثابت است و m تعداد زمین لغزه‌ها را نشان می‌دهد.

پس از تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری و بدست آوردن مقدار E_j مقدار V_j از رابطه ۴ بدست می‌آید:

رابطه ۴

$$V_j = 1 - E_j$$

V_j بیانگر درجه انحراف عدم اطمینان است و سرانجام وزن هر معیار با تابع زیر تعیین می‌شود (اصغرپور، ۱۳۸۵: ۱۹۵):

رابطه ۵

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}$$

پس از محاسبه وزن کل (W_j) پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه فاروب با استفاده از رابطه ۶ ارزیابی می‌شود.

رابطه ۶

$$H_i = \sum_{j=1}^n W_j * r_{ij}$$

در این رابطه H_i ضریب رخداد زمین لغزش، W_i وزن نهایی تمام عوامل و r_{ij} وزن هر یک از عوامل است (زونگجی و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۳۳۶). این رابطه مدل ناحیه‌ای میزان خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی است.

۲-۲ ارزیابی روش پهنه‌بندی

پس از تهیه نقشه‌های وزنی براساس روابط ذکر شده، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تهیه و براساس شکست‌های طبیعی (Natural Break) به چهار کلاس (خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد) طبقه‌بندی گردید. لذا نمی‌توان جهت ارزیابی نقشه‌های مورد نظر و تعیین دقت آنها، از نقشه پراکنش زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه استفاده کرد (کوماک، ۲۰۰۶). جهت حل این مشکل تعدادی از نقاط لغزشی برای مدل‌سازی و بخشی از آن نیز برای ارزیابی مدل مذکور (به ترتیب ۷۰ درصد و ۳۰ درصد) مورد استفاده قرار گرفت (کنستانتین و همکاران، ۲۰۱۰). سپس با استفاده از منحنی ROC یا Relative Operating Characteristics Curve (زو و وانگ، ۲۰۰۹) صحت نقشه تهیه شده مورد تایید قرار گرفت.

11 Zongji

12 Komac

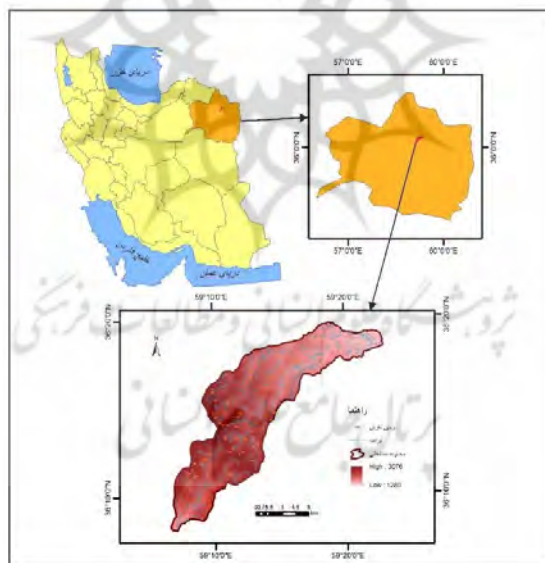
13 Konstantin et al

14 Zhu and Wang

منحنی ROC یکی از مفیدترین و کارآمدترین روش‌ها در ارائه خصوصیات تعیینی، شناسایی احتمالی و پیش‌بینی سیستم‌هاست که میزان دقت مدل را به صورت کمی برآورد می‌کند (ون وسترن ۲۰۰۲، ۱۵). در منحنی ROC ایده‌آل‌ترین مدل، بیشترین سطح زیر منحنی را دارد و مقادیر AUC از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. چنانچه مدلی نتواند رخداد لغزشی را بهتر از دیدگاه احتمالی (تصادفی) تخمین زند مقدار AUC آن ۰/۵ است و زمانی که منحنی ROC، سطح زیر منحنی برابر با یک داشته باشد، بیانگر بهترین دقت از نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده است. همبستگی کمی - کیفی سطح زیر منحنی و ارزیابی تخمین بدین صورت است: (۰/۹-۱ عالی، ۰/۸-۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷-۰/۸ خوب، ۰/۶-۰/۷ متوسط، ۰/۵-۰/۶ ضعیف) (ون وسترن ۲۰۰۲، ۱۶).

۳- محدوده مورد پژوهش

محدوده‌ی مورد مطالعه با مساحت تقریبی ۱۶۱/۵ کیلومتر مربع در محدوده طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه و ۲ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۹ ثانیه و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۸ دقیقه و ۴ ثانیه تا ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۳ ثانیه و بخشی از ارتفاعات بینالود می‌باشد که بین شهرستان‌های طرqbه و درود قرار دارد. از نظر تقسیمات کشوری به استان خراسان رضوی و شهرهای مشهد و نیشابور تعلق دارد. حداقل ارتفاع در محدوده مورد بررسی حدود ۱۲۸۰ متر می‌باشد که در قسمت شهرستان طرqbه واقع گردیده و حداکثر ارتفاع با حدود ۳۰۷۶ متر منطبق بر خط الراس ارتفاعات بینالود می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

¹⁵ Van vestern

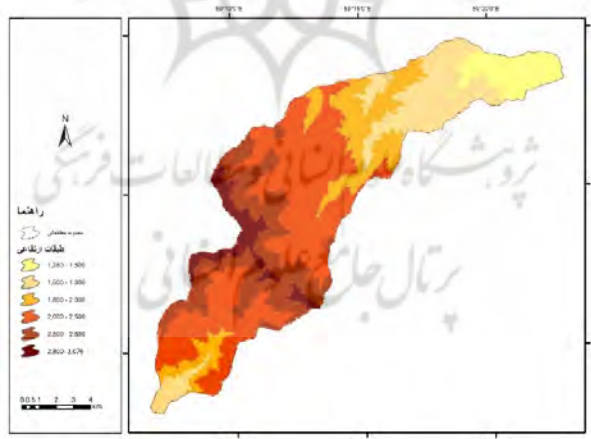
¹⁶ Van vestern

۴-مباحث و نتایج

در این پژوهش، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی شامل: ارتفاع، شیب، جهت شیب، شکل شیب، فاصله از رودخانه، بارش، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از جاده، شاخص توان ابراهه و شاخص حمل رسوب تهیه و به صورت رستر درآمدند. سپس با توجه به لغزش‌های رخ داده در حوضه مطالعاتی و بر اساس فراوانی وقوع در هر زیرکلاس، به هر یک از زیرمعیارها وزنی اختصاص داده شد و لایه‌ها بصورت رستری تهیه و اوزان زیرمعیارها مشخص گردید. سپس براساس روش آنتروپی وزن هر یک از معیارها مشخص گردید و هر یک از لایه‌های رستری در وزن مشخص شده به روش آنتروپی ضرب و در نهایت لایه‌ها به روش جمع جبری ساده روی هم اندازی شد و نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه و براساس شکست‌های طبیعی (*Natural Break*) به چهار کلاس خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید.

عامل ارتفاع

محدوده مطالعاتی به لحاظ طبقات ارتفاعی به پنج کلاس تقسیم گردید (شکل ۲). بررسی ارتباط بین لغزش‌های رخ داده و طبقات ارتفاعی نشان داد که ارتفاعات کمتر از ۱۵۰۰ متر پتانسیل وقوع لغزش نداشته و در نتیجه وزن اختصاص داده شده به این طبقه صفر می‌باشد. روند کلی نشانگر افزایش میزان لغزش‌ها با افزایش ارتفاع می‌باشد. بیشترین وزن تخصیصی مربوط به طبقه ۲۵۰۰-۳۰۰۰ متر می‌باشد. وزن عامل ارتفاع که به روش آنتروپی محاسبه گردید ۰/۱۶ بوده که به نسبت، عامل تاثیر گذاری می‌باشد.



شکل (۲) - نقشه ارتفاع محدوده مورد مطالعه

جدول (۱) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل ارتفاع به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
ارتفاع	۱۵۰۰-۱۲۸۰	۰	۰	۱/۸۷	۰/۱۹	۰/۱۶۲
	۲۰۰۰-۱۵۰۰	۱۳/۷۲	۰/۴۴			
	۲۵۰۰-۲۰۰۰	۴۹/۶۸	۱/۲۹			
	۳۰۰۰-۲۵۰۰	۳۶/۳۴	۱/۵۴			
	بیشتر از ۳۰۰۰	۰/۲۱	۰/۹۶			

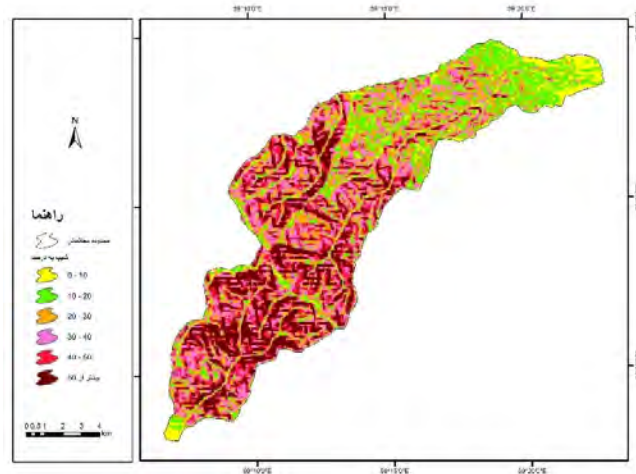
عامل شیب

عامل شیب یکی از مهمترین فاکتورهای وقوع لغزش می‌باشد. هر چه شیب زمین بیشتر باشد، عامل جاذبه تأثیر بیشتری خواهد داشت و در صورت مساعد بودن شرایط وقوع زمین لغزش توده‌های بیشتری از خاک در یک دامنه در جهت شیب توپوگرافی حرکت می‌کنند. عوامل مختلفی در ناپایداری شیب‌ها مؤثر می‌باشند که عبارتند از:

۱. حرکات تکتونیکی که می‌تواند در افزایش زاویه شیب مؤثر باشد مانند حرکت گسل‌ها.

۲. تخریب پوشش گیاهی در شیبها و تغییرات ساختاری از قبیل تراشه‌زنی در راه ارتباطی، ساخت و ساز در شیبها و شخم نادرست.

با توجه به بررسی‌های به عمل آمده بیشتر لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه در طبقه شیب بیشتر از ۳۰ درجه اتفاق افتاده است (جدول ۲). در شیب‌های کم برآیند نیروها به صورتی است که نیروهای مقاوم (عمودی) بیشتر از نیروی محرکه (افقی) بوده و شرایط وقوع زمین لغزش فراهم نمی‌شود.



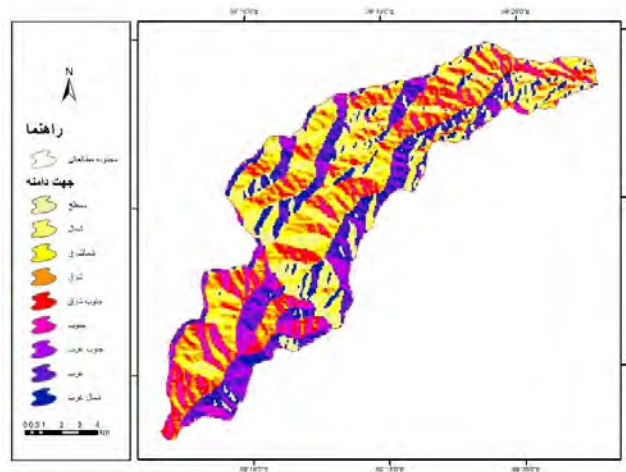
شکل (۳) - نقشه کلاس‌های مختلف شیب منطقه مورد مطالعه

جدول (۲) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل شیب به روش آنتروپی

Wj	Vj	Ej	وزن FR	درصد پیکسل لغزشی	زیرمعیار	معیار
۰/۰۱۸	/۰۲	۲/۲۷	۰/۸۲	۱۴/۸۷	۵-۰	شیب
			۰/۶۲	۷/۴۹	۱۲-۵	
			۰/۸۱	۱۳/۷۶	۲۰-۱۲	
			۱/۰۸	۲۵/۸۱	۳۰-۲۰	
			۱/۳۰	۳۸/۰۴	بیشتر از ۳۰	

جهت شیب

جهت دامنه می‌تواند به وقوع لغزش‌ها سرعت بیشتری بخشد. بدین صورت که اگر تابش خورشید در همان جهت باشد عمل هوازدگی بیشتر خواهد بود. دامنه‌های پشت به آفتاب نیز موجب تجمع بیشتر برف و رطوبت بیشتر شده و ممکن است باعث تشدید حرکات دامنه‌ای گردد. شکل (۴) جهت دامنه‌ها در محدوده مطالعاتی را نشان می‌دهد.



شکل (۴) - نقشه جهت شیب محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

بررسی جهت شیب در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که دامنه‌های شرقی و مناطق مسطح کمترین میزان لغزش و در نتیجه وزن کمتری به آن اختصاص داده شده است. بیشترین لغزش‌های رخ داده نیز در دامنه‌های جنوب شرقی و پس از آن در دامنه‌های جنوب غربی حادث گردیده است.

جدول (۳) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل جهت شیب به روش آنترابی

Wj	Vj	Ej	وزن FR	درصد پیکسل لغزشی	زیرمعیار	معیار
۰/۱۵۷	۰/۱۳	۲/۷۵	۰/۷۹	۴/۴۶	مسطح	جهت شیب
			۱/۲۴	۱۶/۷۵	شمال	
			۱/۱۸	۲۲/۲۲	شمال شرق	
			۰/۷۷	۱۲/۹	شرق	
			۲/۷۸	۴۳/۵۵	جنوب شرق	
			۱/۰۵	۶/۷	جنوب	
			۱/۲۷	۱۱/۶۵	جنوب غرب	
			۰/۹۳	۱۱/۵۷	غرب	
			۰/۸۲	۴/۴۹	شمال غرب	

نوع شیب

بررسی شکل شیب در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌های منطقه در شیب‌های مقعر رخ داده است (۵۱/۵ درصد). این عامل می‌تواند نقش بسزایی در همگرایی و واگرایی جریان انتقالی از بالادست حوضه به پایین دست آن داشته باشد. در دامنه‌های مقعر جریان آب بصورت همگراست و این امر موجب انرژی بیشتر رواناب شده و تاثیر بیشتری بر زمین-لغزش دارد. شکل (۵) شکل شیب در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. وزن عامل شکل شیب با ۰/۲۴ از عوامل موثر بر زمین لغزش محسوب گردید.



شکل (۵) - نقشه شکل شیب محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

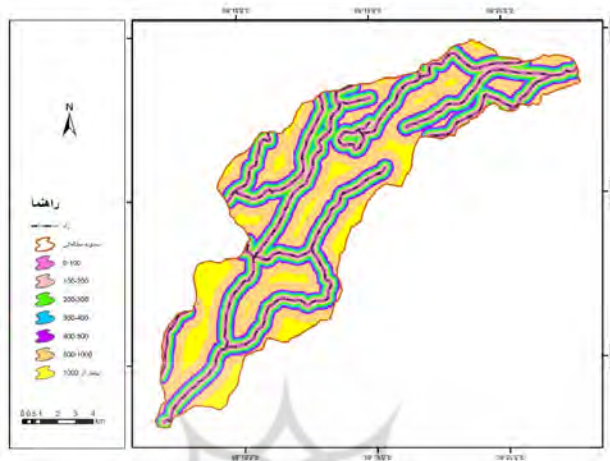
جدول (۴) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل شکل شیب به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
شکل شیب	مقعر	۵۱/۵۶	۱/۰۴	۰/۹۹	۰/۳۷	۰/۲۴۲
	محدب	۴۵/۹۵	۰/۹۱			

فاصله از جاده

انتظار می‌رفت با بررسی فاصله از جاده این نتیجه حاصل شود که در محدوده‌های اطراف جاده زمین لغزش بیشتر اتفاق افتاده باشد اما نتیجه این‌گونه نبود. بلکه با فاصله گرفتن از جاده پتانسیل وقوع زمین لغزش افزایش یافته به طوری که در فواصل

بیشتر از ۱۰۰۰ متر به حداکثر وزن خود رسیده بود (۱/۲۶) و با نزدیک شدن به جاده میزان حساسیت به زمین لغزش کم گردیده بود. این نتیجه، عکس نظرات پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱)، می باشد. شاید دلیل این امر در این مطالعه این باشد که در محدوده مطالعاتی جاده‌ها آسفالت نبوده و بیشتر شوسه و مالرو بوده و بنابراین تاثیر زیادی در ناپایداری و وقوع زمین لغزش در منطقه نداشته است. شکل (۶) نقشه فاصله از جاده محدوده مطالعاتی را نشان می دهد.



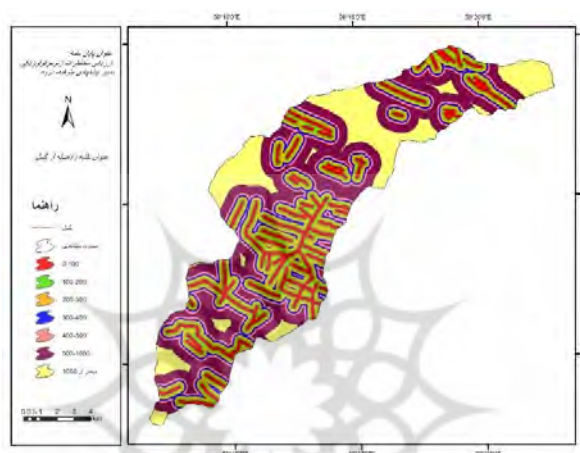
شکل (۶) - نقشه فاصله از جاده محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

جدول (۵) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل فاصله از جاده به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
فاصله از جاده	۱۰۰-۰	۱۲/۰۵	۰/۸۴	۲/۳۵	۰/۱۶	۰/۱۶۲
	۲۰۰-۱۰۰	۱۰/۴۵	۰/۸۸			
	۳۰۰-۲۰۰	۱۱/۱۹	۰/۹۳			
	۴۰۰-۳۰۰	۹/۲۴	۰/۹۹			
	۵۰۰-۴۰۰	۹/۸۳	۱/۰۵			
	۱۰۰۰-۵۰۰	۲۳/۰۵	۱/۰۱			
	بیشتر از ۱۰۰۰	۱۴/۲۵	۱/۲۶			

فاصله از گسل

حرکات تکتونیکی در هر منطقه می تواند باعث افزایش زاویه شیب شده و در درازمدت باعث تشدید زمین لغزش ها - گردد. بررسی لایه فاصله از گسل در محدوده مورد مطالعه نشان داد که کلاس ۱۰۰-۲۰۰ متر بیشترین وزن و پس از آن کلاس ۰-۱۰۰ و ۲۰۰-۳۰۰ متر وزن بیشتری از لحاظ پتانسیل زمین لغزش داشته است. با دور شدن از حریم گسل اوزان حاصله کاهش چشمگیری داشته است که این امر بیانگر همبستگی وقوع زمین لغزش با حریم گسل می باشد. شکل (۷) فاصله از گسل در محدوده مطالعاتی را نشان می دهد. بیشترین زمین لغزش های رخ داده در فاصله ۰-۱۰۰ متری و پس از آن در فاصله ۱۰۰-۲۰۰ متری از گسل اتفاق افتاده است (جدول ۶).



شکل (۷) - نقشه فاصله از گسل محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

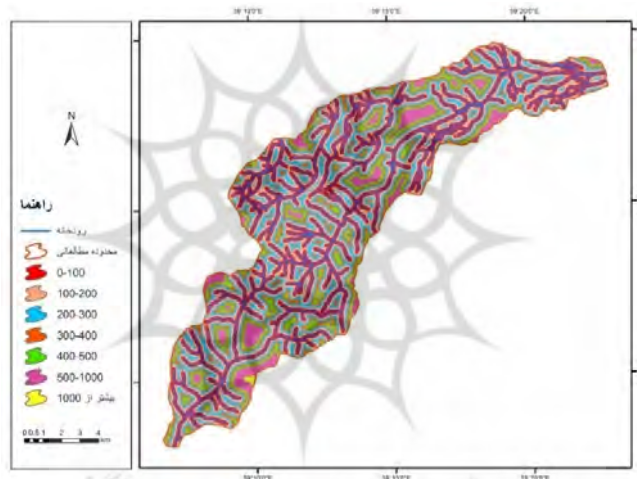
جدول (۶) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل فاصله از گسل به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
فاصله از گسل	۱۰۰-۰	۱۹/۹۸	۱/۳۴	۲/۴۷	۰/۱۱	۰/۱۲۷
	۲۰۰-۱۰۰	۱۸/۹۳	۱/۵۴			
	۳۰۰-۲۰۰	۱۵/۸۴	۱/۳۷			
	۴۰۰-۳۰۰	۱۰/۲۸	۱/۱۸			
	۵۰۰-۴۰۰	۸/۱۴	۱/۰۲			

			۰/۷۰	۱۸/۳۷	۱۰۰۰-۵۰۰	
			۰/۴۶	۸/۹۱	بیشتر از ۱۰۰۰	

فاصله از رودخانه

بررسی لایه فاصله از رودخانه نشان می‌دهد که فواصل ۲۰۰-۳۰۰ و ۱۰۰-۲۰۰ متری از رودخانه بیشترین وزن را در وقوع زمین‌لغزش داراست. شاید دلیل این امر شیب تند دامنه‌ها در اطراف رودخانه باشد. شکل (۸) نقشه فاصله از رودخانه محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بررسی لغزش‌های رخ داده در محدوده مورد مطالعه نشان داد که در محدوده‌های نزدیک به رودخانه بیشترین زمین‌لغزش رخ داده است و با فاصله گرفتن از رودخانه زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده کاهش یافته است (جدول ۷).



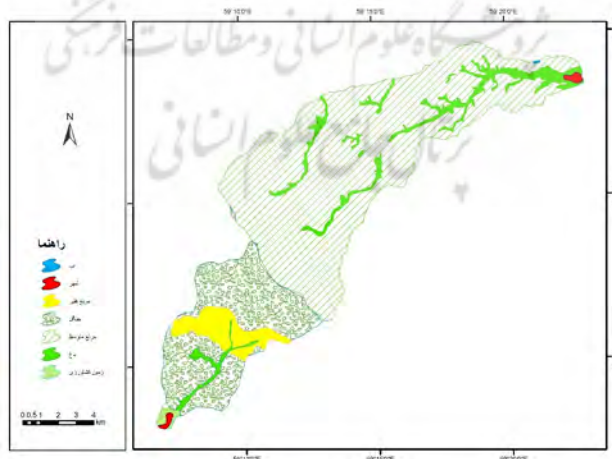
شکل (۸) - نقشه فاصله از رودخانه محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

جدول (۷) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل فاصله از رودخانه به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
فاصله از رودخانه	۱۰۰-۰	۳۱/۳۵	۰/۹۲	۲/۵	۰/۱۰۶	۰/۰۹۵
	۲۰۰-۱۰۰	۲۶/۰۴	۱/۰۷			
	۳۰۰-۲۰۰	۲۱/۲۴	۱/۱			
	۴۰۰-۳۰۰	۹/۶۷	۰/۹۶			
	۵۰۰-۴۰۰	۴/۹۸	۰/۷۹			
	۱۰۰۰-۵۰۰	۷/۰۸	۱/۰۴			
	بیشتر از ۱۰۰۰	۰/۰۴	۰/۳۶			

کاربری اراضی

تحلیل کاربری اراضی نشان داد که مراتع فقیر بیشترین وزن (۲/۴۵) و پس از آن اراضی جنگلی (۱/۱۹) وزن بیشتری در وقوع زمین لغزش داشته است. در اراضی جنگلی می توان اینگونه استدلال کرد که وقوع زمین لغزش مربوط به نفوذ بیشتر آب در اراضی جنگلی و آبگذری کمتر این اراضی باشد که با نظرات پورقاسمی و همکاران (۱۳۹۱)، تطابق دارد. شکل (۹) لایه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.



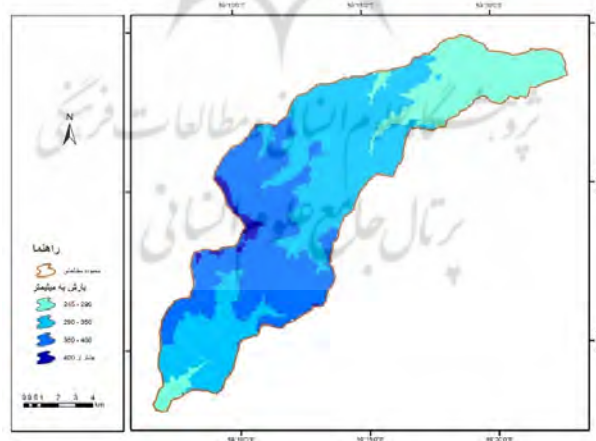
شکل (۹) - نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

جدول (۸) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل کاربری اراضی به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
کاربری اراضی	زمین کشاورزی	۰	۰	۱/۸۴	۰/۳۴	۰/۲۶۲
	باغ	۶/۲۰	۰/۸۳			
	مرتع متوسط	۵۵/۴۴	۰/۸۵			
	اراضی جنگلی	۲۶/۲۹	۱/۱۹			
	مرتع فقیر	۱۲/۲۶	۲/۴۵			
	مناطق شهری	۰	۰			
	آب	۰	۰			

بارش

بررسی عامل بارش در منطقه نشان می‌دهد که پهنه‌های بارشی بیش از ۳۵۰ میلی متر تاثیر بیشتری در وقوع رخداد زمین لغزش در منطقه داشته است (جدول ۹). در شکل (۱۰) پهنه‌های بارش محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است.



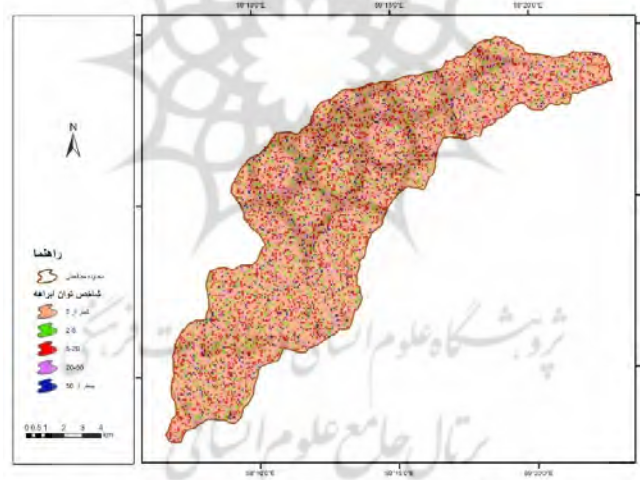
شکل (۱۰) - نقشه بارش محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

جدول (۹) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل بارش به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
بارش به میلی متر	کمتر از ۲۰۰	۳/۵۲	۰/۱۷	۱/۶۶	۰/۱۶۷	۰/۲۰۸
	۲۰۰-۳۵۰	۴۷/۴۱	۱/۰۳			
	۳۵۰-۴۰۰	۴۴/۸۵	۱/۳۸			
	بیشتر از ۴۰۰	۳/۷	۲/۳۷			

شاخص توان آبراهه

بررسی عامل شاخص توان آبراهه نشان داد که بیشترین وزن مربوط به کلاس سوم (۲۰-۵) می باشد. وزن نهایی این عامل نیز ۰/۰۵ ارزیابی گردید.



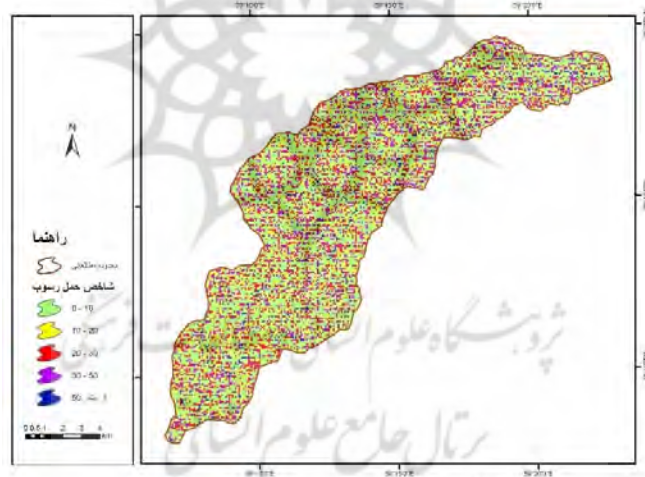
شکل (۱۱) - نقشه شاخص توان آبراهه محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

جدول (۱۰) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل SPI به روش آنتروپی

معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
SPI	۲-۰	۶۹/۸۶	۱/۰۱	۲/۱۷	۰/۰۶۱	۰/۰۵۶
	۵-۲	۹/۴۳	۰/۹۹			
	۲۰-۵	۱۳/۷۶	۱/۰۲			
	۵۰-۲۰	۴/۲۱	۰/۸۰			
	بیشتر از ۵۰	۲/۷۷	۰/۹۴			

شاخص حمل رسوب

عامل شاخص حمل رسوب با وزن نهایی ۰/۰۰۰۳ از عوامل کم تاثیر در رخداد زمین لغزش می باشد.

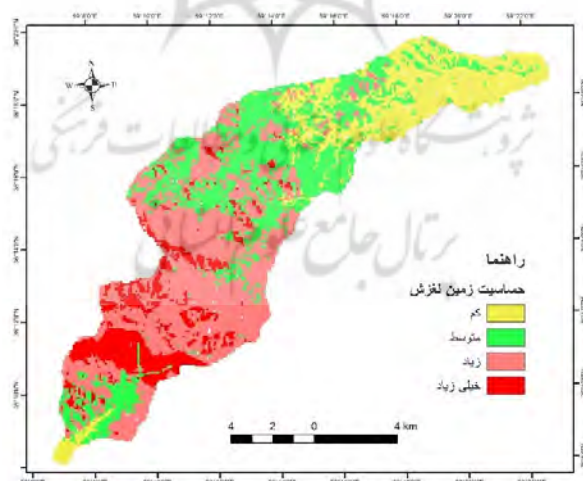


شکل (۱۲) - نقشه شاخص حمل رسوب محدوده مورد مطالعه (ماخذ: نگارندگان)

جدول (۱۱) - اوزان تخصیص یافته به معیار و زیرمعیارهای عامل STI به روش آنتروپی

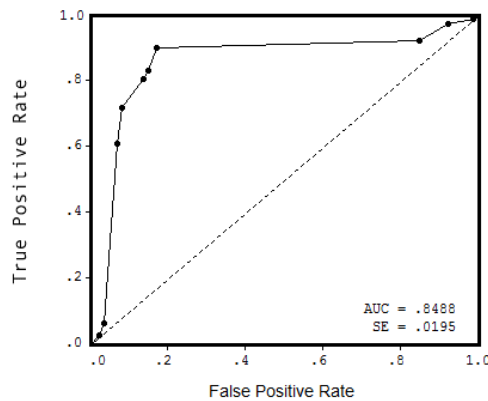
معیار	زیرمعیار	درصد پیکسل لغزشی	وزن FR	Ej	Vj	Wj
STI	۰-۱۰	۵۸/۵۱	۱	۲/۳۲	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳
	۲۰-۱۰	۱۰/۹۶	۱/۰۴			
	۳۰-۵۲۰	۱۵/۵۹	۱/۰۰۸			
	۵۰-۳۰	۱۳/۷۱	۱/۰۰۱			
	بیشتر از ۵۰	۱/۶۸	۰/۹۴			

به منظور تهیه نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش، پس از وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها، ابتدا اوزان زیرمعیارها اعمال و رسترهای نهایی تهیه گردید. سپس وزن هر معیار در آن رستر ضرب و نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش تهیه شد. عوامل کاربری اراضی، شکل شیب و بارش به ترتیب با اوزان ۰/۲۶، ۰/۲۴ و ۰/۲۰ بیشترین وزن را به خود اختصاص داد و به عنوان موثرترین عوامل در وقوع زمین لغزش در منطقه مطالعاتی شناخته شد. نقشه تهیه شده در چهار کلاس حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد مورد بررسی قرار گرفت که به ترتیب حدود ۳۲، ۲۸، ۳۹ و ۱۰ درصد از منطقه مورد مطالعه را در بر می گیرد. شکل ۱۳ نقشه نهایی حساسیت زمین لغزش را نشان می دهد.



شکل (۱۳) - نقشه حساسیت زمین لغزش با استفاده از روش آنتروپی

نقشه تهیه شده با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت. براساس منحنی ROC مقدار سطح زیر منحنی ۰/۸۴ بوده که نشانگر این مطلب است که نقشه تهیه شده، با ۸۴ درصد دقت دارای دقت بسیار خوب در پیش بینی رخداد زمین لغزش می باشد.



شکل (۱۴) - منحنی ROC و سطح زیر منحنی در نقشه تهیه شده حساسیت زمین لغزش

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

حرکات دامنه‌ای و به طور اخص زمین لغزش یکی از مخاطرات عمده در مناطق کوهستانی به شمار می‌رود که موجب خسارات مالی در مناطق مستعد زمین لغزش می‌گردد. در دهه‌های اخیر با افزوده شدن عوامل انسانی، ناپایداری شیب‌ها تشدید شده است. محدوده مورد مطالعه بخشی از دامنه‌های شمالی و جنوبی ارتفاعات بینالود می‌باشد که به علت ماهیت کوهستانی منطقه مستعد وقوع انواع زمین لغزش‌هاست. بنابراین این مطالعه با استفاده از روش آنتروپی و بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی به ارزیابی حساسیت زمین لغزش در این محدوده پرداخته است. یکی از مزیت‌های این روش این است که غیرجانبدارانه، وزن عوامل در هر لایه را مشخص می‌کند. رابطه بین توزیع زمین لغزش‌ها با عوامل درجه شیب، جهت شیب، شکل شیب، ارتفاع، کاربری اراضی، فاصله از جاده، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل، شاخص توان آبراهه، شاخص حمل رسوب و پهنه‌های بارشی بررسی شد.

عوامل کاربری اراضی، نوع شیب و بارش به عنوان موثرترین عوامل و شاخص توان آبراهه و شاخص حمل رسوب کم تاثیر ترین عامل در منطقه معرفی گردیدند. نقشه تهیه شده در چهار کلاس حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد بررسی گردید که بیش از ۵۰ درصد منطقه دارای حساسیت بالا و خیلی بالاست در نتیجه منطقه پتانسیل زمین لغزش بالایی دارد. نقشه تهیه شده با استفاده از منحنی ROC و سطح زیر منحنی مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص گردید دقت پیش بینی بسیار خوبی در وقوع رخداد زمین لغزش دارد.

نقشه پهنه بندی تهیه شده حاصل از روش آنتروپی، با قبول در صدی از خطا دارای دقت بسیار خوب می‌باشد. در نتیجه لازم است هرگونه تغییر کاربری اراضی، انجام فعالیت های اقتصادی و احداث تاسیسات زیر بنایی از قبیل جاده سازی با ملاحظه آن انجام شود.

منابع و ماخذ

- اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۵)، تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- رجبی، معصومه، فیض‌اله‌پور، مهدی (۱۳۹۳)، پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی رودخانه گیوی‌چای با استفاده از مدل پرسپترون چندلایه از نوع پیش‌خور پس‌انتشار (BP)، جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳۶، صص ۱۸۰-۱۶۱.
- سپهر، عادل، بهنیافر، ابوالفضل، محمدیان، عباسعلی، عبدالهی، ابوالفضل (۱۳۹۲)، تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین لغزش دامنه های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه سزی ویکور، فصلنامه ژئومورفولوژی کمی، سال دوم، شماره ۱ صص ۳۶-۱۹.
- شیرانی، کوروش (۱۳۹۶)، مدل‌سازی و ارزیابی پتانسیل حساسیت اراضی نسبت به لغزش با استفاده از مدل های احتمالاتی آنتروپی شانون و وزن شاهد تیوری بیزین (مطالعه موردی حوضه سرخون کارون)، نشریه علوم آب و خاک، سال ۲۱، شماره ۱، صص ۵۱-۶۸.
- ضمیری، محمدرضا، نسترن، مهین، محمدزاده تیتکانلو، حمیده (۱۳۹۲)، تحلیلی بر شکل و روند توسعه فضایی و کالبدی شهر بجنورد در دهه ۱۳۸۰ (با استفاده از آنتروپی شانون، ضریب موران و ضریب گری)، آمایش محیط، شماره ۲۳، صص ۱۸۰-۱۶۷.
- عابدینی، موسی، قاسمیان، بهاره، شیرزادی، عطا... (۱۳۹۳)، مدل‌سازی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل اماری رگرسیون لجستیک مطالعه موردی: استان کردستان، شهرستان بیجار، جغرافیا و توسعه، سال دوازدهم، شماره ۳۷، صص ۱۰۲-۸۵.
- فلاح‌تبار، نصرالله (۱۳۷۹)، تاثیر برخی عوامل جغرافیایی بر شبکه راههای کشور، مجله پژوهشهای جغرافیایی، ش ۳۸، صص ۴۷-۵۵.
- محمدخان، شیرین، ویسی، عبدالکریم، باقری، کیوان (۱۳۹۳)، پتانسیل سنجی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی، مطالعه موردی: (منطقه کوهستانی شیرپناه در جنوب غرب استان کرمانشاه)، فصلنامه جغرافیایی سرزمین، سال یازدهم، شماره ۴۴، صص ۸۹-۱۰۲.
- مقیم، ابراهیم، باقری سید شکری، سجاد، صفرراد، طاهر (۱۳۹۱)، پهنه بندی خطر وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه موردی: تاقدیس نثار، زاگرس شمال غربی)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۹، صص ۷۷-۹۰.

-Ariel E., Lugo, Hermmann, Gucinski; function, effects and management of forestroads: horst ecology and management, 249-262, 1999.

- K, Ch. Devkota., A. D. Regmi., H. R. Pourghasemi, K, Yoshida. B, radhan. Ch. Ryu. M, R. Dhital. O, F. Althuwaynee(2013). *Landslide susceptibility mapping using certainty factor, Index of Entropy and Logistic Regression in GIS and their comparison at Mugling- Narayanghat road section in Nepal Himalaya.* *Natural hazard*, 65:135-165.
- Fathi, Mohmmad Hoessin, Khohdel Kazem, Amir, Kandi Shoreh, Ashrafifeini Zahra, Khaliji, Mohammad Ali (2015) *The combination of spectral and spatial data in zoning of landslide susceptibility (Case study: Sangorchay reservoir) Journal of Biodiversity and Environmental Sciences (JBES), Vol. 6, No. 2, pp 515-527.*
 - H. Hong. Haghbi. S. A. Pourghasemi. H. R(2016), *GIS-based landslide spatial modeling in Ganzhou City, China, Arab J Geosci Journal*, 9:112.
 - M, C. Margarint. A, Grozavu and C, V. Patriche (2013). *Assessing the spatial variability of coefficients of Landslide Predictors in different regions of Romania using logistic regression. Natural Hazard and Earth system sciences. Sci., 13,3339-3355.*
 - - Komac, M. 2006. *A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in perialpine Slovenia, Geomorphology*, 74: 17–28.
 - Paoletti, V., Tarallo, D., Matano, F., Rapolla A., (2013). *susceptibility zoning on seismic induced landslides: An application to Sannio and Irpinia areas, Southern Italy. Physics and Chemistry of the Earth Vol.63, PP.147–159.*
 - 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.
 - Vittorio De Blasio, F., (2011). *Introduction to the physics of landslides, Springer, Vol.13, PP.1-38.*
 - Youssef A M Pourghasemi H R El-Hadad B A Dhahry B K(2016) *Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. Bull Eng Geol Environ.* 75:63–87.
 - Zongji, Y. Jianping; Q. Xiaogang.,ZH. (2010). "Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 1336-1339, Doi:10.1109/FSKD.2010.5569097.
 - -Yufeng, S. and J. Fengxiant. 2009. *Landslide Stability Analysis Based on Generalized Information Entropy, International Conference on Environmental Science and Information Application Technology.* 83-85. DOI 10.1109/ESIAT.2009.258.
 - -Zongji, Y. Jianping; Q. Xiaogang.,ZH. (2010). "Regional Landslide Zonation Based on Entropy Method in Three Gorges Area, China", *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), Seventh International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*, 1336-1339, Doi:10.1109/FSKD.2010.5569097.