صص ۶۵-۵۱

ارزیابی و پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور، در حوضه آبریز حاجیلرچای

سید اسد اله حجازی
دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، ایران
شهرام روستایی
استاد گروه ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، ایران
مریم رنجبریان شادباد*
دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۴

چکیده
زمین‌لغزش‌ها از جمله مخاطرات طبیعی هستند که همه‌ساله موجب آسیب‌های جانی و مالی زیاد،به‌ویژه در نواحی کوهستانی می‌شوند. محدوده مورد مطالعه موسوم به حوضه آبریز حاجیلرچای با وسعتی معادل ۱۱۵۸/۹۴ کیلومترمربع در استان آذربایجان شرقی، شهرستان ورزقان و بخش‌های از جلفا و مرند واقع شده است. این حوضه با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است. حوضه آبریز حاجیلرچای با داشتن چهره کوهستانی و با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، لیتولوژی و اقلیمی عمده شرایط لازم جهت شکل‌گیری حرکت‌های لغزشی را دارد. بنابراین هدف پژوهش حاضر، پهنه‌بندی حوضه حاجیلرچای از لحاظ خطر زمین‌لغزش است. برای بررسی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه، ابتدا نقشه‌ها و لایه‌های اطلاعاتی عوامل اصلی مؤثر در رخداد این پدیده از قبیل شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی در سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید و سپس با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و عملیات میدانی زمین‌لغزش‌های موجود در منطقه شناسایی شد. تحلیل و مدل‌سازی نهایی، با استفاده از مدل ویکور، یکی از روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره، انجام شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، در پنج رده با خطر بسیار کم تا بسیار زیاد طبقه‌بندی گردید. نتایج پژوهش نشان‌دهنده این است که در حدود ۲۰/۲۲ درصد از مساحت حوضه حاجیلرچای، احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی زیاد بوده، همچنین ۲۵/۳۸ درصد احتمال وقوع زیاد، ۱۸/۶۷ درصد احتمال وقوع متوسط، ۲۰/۲۵ درصد احتمال وقوع کم و در ۱۵/۴۵ درصد احتمال وقوع خیلی کم می‌باشد.

واژگان کلیدی: **پهنه‌بندی زمین‌لغزش، مدل ویکور، سامانه اطلاعات جغرافیایی، حوضه حاجیلرچای.**

* نویسنده مسئول: ۰۹۱۴۸۰۲۰۴۸۴
Email: Shadbadm69@gmail.com

مقدمه

زمین‌لغزش‌ها فرایندهای فعالی هستند که در فرسایش و تحول چشم‌اندازها مشارکت دارند (گزوتی و همکاران، ۲۰۰۵، ۱)[1]. کشور ایران، یکی از ۱۰ کشور در معرض تهدید مخاطرات طبیعی، تقریباً همه ساله شاهد وقوع انواع مخاطرات ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها است (فیض نیا و احمدی، ۱۳۸۰، ۵۲). در ایران در مورد آسیب‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها مطالعاتی صورت گرفته است. چنانچه آسیب‌های ناشی از ۴۹۰۰ زمین‌لغزش ثبت شده (از سال ۱۳۷۲ تا پایان شهریور ۱۳۸۶) در کشور ۱۲۶۸۹۳ میلیارد ریال برآورد شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۱، ۱۰). لذا برنامه‌ریزی برای جلوگیری از این آسیب‌های از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و موجب جلوگیری از هدر رفتن بسیاری از منابع ملی می‌گردد. به‌طور کلی می‌توان هدف نهایی از بررسی و مطالعهٔ زمین‌لغزش‌ها را یافتن راه‌های کاهش آسیب‌هایی ناشی از آن‌ها ذکر کرد. این کار ممکن است به روش‌های مختلف مانند پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای تعیین مناطق خطرناک و تهیهٔ دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌ها برای استفادهٔ مناسب یا پرهیز از این مناطق به‌وسیلهٔ مطالعهٔ موردی یک زمین‌لغزش و ارائهٔ راه‌حل برای کنترل آن یا هر روش دیگر صورت گیرد (سفیدگری، ۱۳۷۲، ۹۲). مسلماً هزینه بررسی و مطالعه این‌گونه پدیده‌ها و شناسایی و ممیزی مناطق مستعد وقوع آن‌ها، قبل از برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری در زمینه بهره‌برداری از این نواحی، بسیار کم‌تر از زیان‌های ناشی از وقوع آن‌ها خواهد بود. در این راستا، پهنه‌بندی زمین‌لغزش، احتمال نسبی رویداد این پدیده را در یک منطقه، بر اساس ویژگی‌های محیطی خاص از آن ناحیه معین می‌کند (گزوتی و همکاران، ۱۹۹۹: ۱۸۴). از این طریق، سطح زمین به نواحی ویژه و مجزایی از درجات بالفعل یا بالقوه خطر (بسیار کم – بسیار زیاد) تقسیم می‌شود (کرم و محمودی، ۱۳۸۴: ۲). محدوده مورد مطالعه در این پژوهش حوضه آبریز حاجیلرچای می‌باشد این حوضه در استان آذربایجان شرقی و در شهرستان ورزقان و بخش‌هایی از جلفا و مرند واقع شده و یکی از زیر حوضه‌های ارس به شمار می‌آید. با توجه به این‌که یکی از اصولی‌ترین روش‌های کاهش اثرات زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه، شناسایی مناطق مستعد در برابر وقوع این حادثه طبیعی و پهنه‌بندی این مناطق بر مبنای حساسیت آن‌ها نسبت به زمین‌لغزش است. اقدام به پهنه‌بندی زمین‌لغزش با بهره‌گیری از توانایی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و با مدل ویکور شده است.

پیشینه پژوهش

در زمینهٔ موضوع مورد مطالعه پژوهش‌های زیادی در سطح بین‌المللی و ایران انجام شده است برای مثال کولار و همکاران[2] (۲۰۰۰)، با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شمال هند را تهیه و بیان بیان کردند که نقشه تهیه شده با زمین‌لغزش‌های موجود مطابقت دارد. کماک[3] (۲۰۰۶)، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

[1] . Guzzeti & et. al.
[2] . Khullar &et. al.
[3] . Komac

را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و روش آماری چند متغیره در اسلونی تهیه نمود. در پژوهش کماک مناطقی که از نظر حساسیت زمین‌لغزش بالا هستند ارتباط نزدیکی با توزیع جاده‌ها دارند. فان یولیو[۴] (۲۰۰۷)، نقشه پهنه‌بندی زمین‌لغزش را با استفاده از روشLNRF و ارزش اطلاعاتی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای منطقه لانگنن در استان گانسو چین تهیه کرده است. نتایج نشان می‌دهد که روش ارزش اطلاعاتی بیشتر برای مکان‌هایی که دارای زمین‌لغزش فعال بودند، کارایی بهتری دارد. یلسین[۵] (۲۰۰۸)، نقشه حساسیت زمین‌لغزش در حوضه آردیس ترکیه را با سه روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فاکتور وزنی (wf) و شاخص آماری (wi) تهیه نمود و نتیجه گرفت که روش AHP مناطق دارای زمین‌لغزش را نسبت به دو روش دیگر در حوضه مورد مطالعه بهتر نشان می‌دهد. وان[۶] (۲۰۰۹)، با استفاده از سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری فضایی به استخراج عوامل اصلی زمین‌لغزش برای تهیه نقشه حساسیت زمین‌لغزش در تایوان پرداخت. بندریک و همکاران[۷] (۲۰۱۰)، با استفاده از توزیع دو متغیره آماری به ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه کارل اونری در اسلوکی پرداختند. و برای محاسبه وزن لایه‌های مورد بررسی از شاخص آنتروپی استفاده کردند.

ژانگ و همکاران[۸] (۲۰۱۲)، در مطالعه‌ای به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر اساس مدل توزیع چند وزنی در مناطق ساحلی جنوب شرق چین پرداختند. بر اساس نتایج این پژوهش این مدل روش مناسبی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش می‌باشد. در ایران نیز مطالعات با ارزشی در زمینه خطر زمین‌لغزش انجام شده است برای مثال، رنجبر (۱۳۹۱)، طی مطالعه‌ای عوامل مؤثر در حرکات توده‌ای حوضه کرگانرود را با استفاده از مدل AHP بررسی و پس از تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و با توجه به وزن نهایی هر عامل به ابن نتیجه رسید که عامل سنگ‌شناسی، شیب و جهت شیب در حوضه به ترتیب مهم‌ترین عامل مؤثر در زمین‌لغزش منطقه مورد نظر می‌باشد. قهرمانی و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله‌ای تحت عنوان «بررسی روش‌های تحلیل سلسله مراتبی AHP، FAHP، LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوضه آبخیز النگ دره)» به این نتیجه رسیدند که روش LNRF کاملاً مستقل از نظر کارشناسی عمل می‌کند، به واقعیت نزدیک‌تر است، امکان بروز خطا در آن به حداقل رسیده و از روش‌های دیگر نیز مطمئن‌تر است. کرمی (۱۳۹۱)، در ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک، با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد به این نتیجه رسیدند که حدود ۹۲درصد زمین‌لغزش‌ها در محدوده‌های با حساسیت متوسط تا خیلی زیاد اتفاق افتاده‌اند. سپهر و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای با عنوان «تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی ویکور» به این نتیجه رسیدند که از بین نه عامل مؤثر در حساسیت پذیری حوضه به لغزش، هفت معیار (شیب، طبقات ارتفاعی، تراکم زهکشی، کاربری اراضی، بارش، نوع خاک و لیتولوژی) دارای

4. Fanyuliu
5. Yalcin
6. Wan
7. Bendark & et. al.
8. zhang & et. al.

اثر فزاینده و دو معیار (فاصله از گسل و پوشش گیاهی) دارای اثر کاهنده در استعداد حوضه به زمین‌لغزش هستند. مددی و همکاران (۱۳۹۴)، در ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور در حوضه آبخیز آق لاقان چای به این نتیجه رسیدند که ۸ درصد از مساحت حوضه در طبقه بسیار پرخطر، ۲۷ درصد در طبقه پرخطر قرار دارد. همچنین طبقات با خطر متوسط، کم خطر و بسیار کم خطر به ترتیب ۳۱، ۲۵، ۹ درصد مساحت حوضه را تشکیل می‌دهد. انتظاری و همکاران (۱۳۹۵)، در ارزیابی خطر ریسک زمین‌لغزش حوضه طالقان رود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی ویکور، به این نتیجه رسیدند که با توجه به نقشه حساسیت پذیری زیر حوضه‌های طالقان رود کم‌تر از ۴۰ درصد مساحت حوضه مطالعاتی را زیر حوضه‌هایی با حساسیت پذیری پایین یا استعداد کم نسبت به وقوع زمین‌لغزش تشکیل می‌دهند. در مقابل ۶۰ درصد از

مساحت حوضه را زیر حوضه‌هایی با شرایط حساسیت پذیری بالا و متوسط نسبت به وقوع زمین‌لغزش احاطه کرده است.

در این راستا هدف پژوهش حاضر ارزیابی و بررسی نقش عوامل مؤثر در ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه حاجیلرچای در استان آذربایجان شرقی می‌باشد. همچنین تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه و شناسایی نقاط با پتانسیل بالای خطر از دیگر اهداف این پژوهش است.

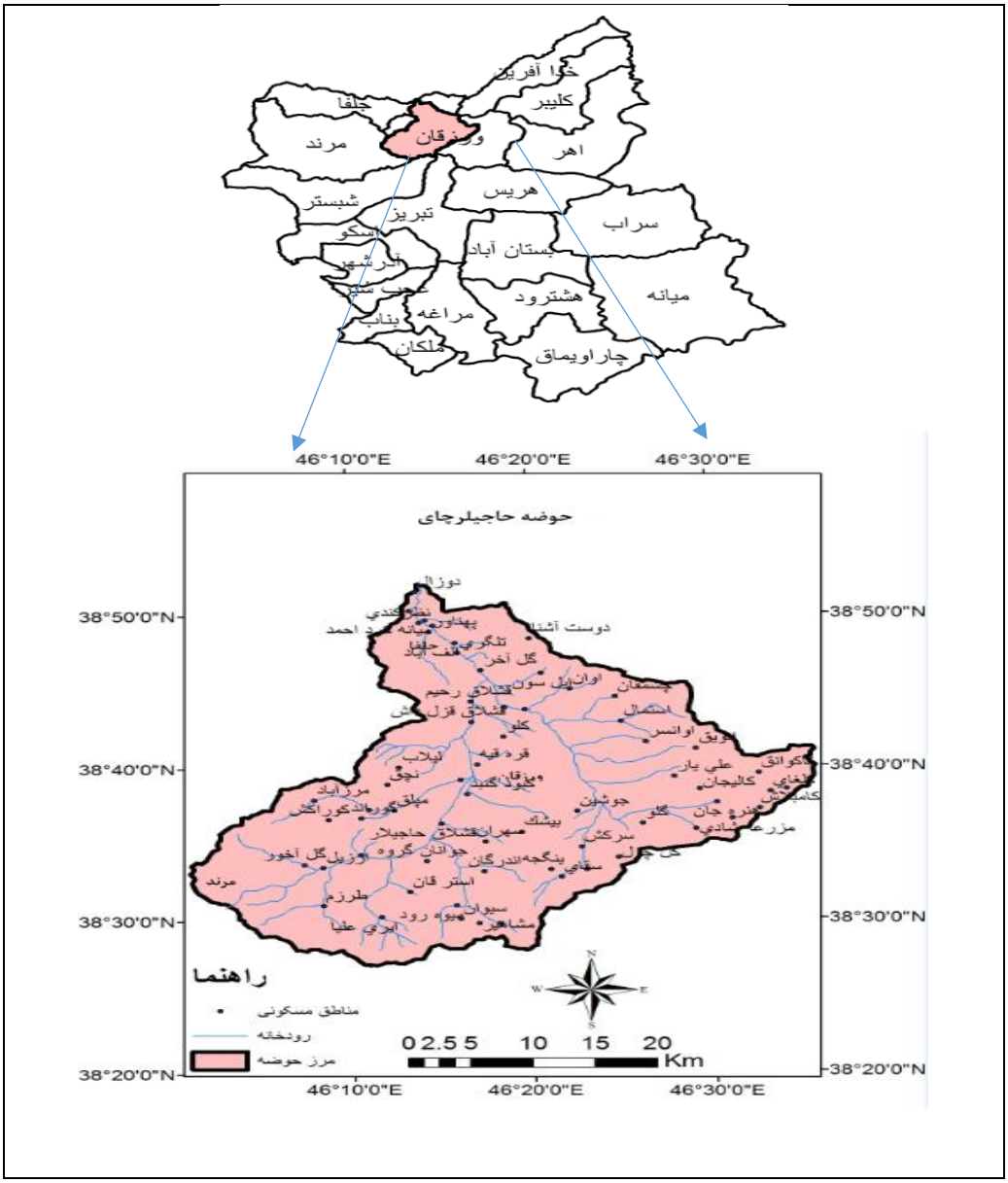
منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه موسوم به حوضه آبریز حاجیلرچای با وسعتی معادل ۱۱۵۸/۹۴ کیلومترمربع در استان آذربایجان شرقی، شهرستان ورزقان و بخش‌های از جلفا و مرند واقع شده است. محدوده مورد مطالعه با مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۱ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی واقع گردیده است. از نظر هیدرولوژیکی این محدوده از زیر حوضه‌های ارس محسوب می‌شود. بیشترین ارتفاع حوضه ۳۲۵۲ متر بوده و حداقل ارتفاع در محل خروجی حوضه ۵۲۱ متر از سطح دریا است.

مراکز سکونتی حوضه حاجیلرچای شامل:

مناطق شهری: ورزقان، جلفا، مرند؛

مناطق روستایی: دوزال، نوجه مهر، میانه کرد احمد، نظر کندی، قشلاق حاج حق ورد، الف‌آباد، تلگری، دوست آشنا، گل آخر، ایل سون، اوان، قشلاق رحیم، قشلاق خور شاعلی، قشلاق قزل داش، کلو، چشمقان، قره‌قیه، لیلاب، اواسر، انویق، علی یار، کلیجان، خاکوانق، هنره جان، کامبلاش، شرف آباد، مزرعه شادی، مزرعه تیلاب، جوشن، سرکش، گل چول، بیشک، سهران، کبود گنبد، قشلاق حاجیلار، کبود گنبد، نچق، نگارستان، ینگجه، سقای، اندرگان، استرقان، آتش خسرو، ارزیل، گوراند، مرزآباد، طرزم، ایری علیا، عظیم آباد و ... .



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز حاجیلرچای

داده‌ها و روش‌ها

به‌منظور بررسی خطر زمین‌لغزش و پهنه‌بندی آن در حوضه آبریز حاجیلرچای از داده‌ها و روش‌های زیر استفاده شده است:

- نقشه‌های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۲۵۰۰۰: ۱؛
- نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱۰۰۰۰۰ : ۱؛
- تصاویر ماهواره‌ای ETM لندست ۲۰۱۵؛
- نرم‌افزار ARC GIS.

روش مورد استفاده در این پژوهش روش (ویکور[9]) است، در این مطالعه، ابتدا عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش حوضه حاجیلرچای (شامل: شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، لیتولوژی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه) با استفاده از نقشه، تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای میدانی مشخص شدند. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر یک از عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه شد. بعد از این‌که نقشه‌های عوامل مؤثر در رخداد این پدیده تهیه و رقومی شدند با استفاده از مدل ویکور مورد تحلیل و ارزیابی قرار گرفتند. و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز حاجیلرچای تهیه شد.

مدل ویکور

این روش مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره است (چن و وانگ[10]، ۲۰۰۹: ۲۲۴). در شرایطی که فرد تصمیم‌گیرنده قادر به شناسایی و بیان برتری‌های یک مسئله در زمان شروع و طراحی آن نیست، این روش می‌تواند ابزاری مؤثر برای تصمیم‌گیری مطرح شود (عطائی، ۱۳۸۹: ۸۷). اگر در یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره، n معیار و m گزینه وجود داشته باشد، به‌منظور انتخاب بهترین گزینه با استفاده از این روش، مراحل الگوریتم پیاده‌سازی ویکور دارای گام‌های زیر است (آپرویچ و تزنگ[11]، ۲۰۰۶: ۲).

مرحله اول: اولین قدم در ارزیابی چند معیاری، تعریف معیارها و ایجاد ماتریس به‌صورت (رابطه ۱) است.

$$Xij = \begin{pmatrix} X11 & x22 & \dots & x_{1n} \\ X21 & x22 & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Xm\,1 & xm\,2 & & x_{mm} \end{pmatrix}$$

رابطه (۱)

یک مجموعه معیارها باید دارای آن دسته از ویژگی‌های باشند که به‌اندازه کافی معرف طبیعت چند معیاری یک مسئله ارزیابی به‌حساب آیند (مالچفسکی).

مرحله دوم: بی مقیاس کردن یا استانداردسازی. از آنجایی که در اندازه‌گیری معیارها دامنه متنوعی از مقیاس‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، لذا لازم است که معیارها قبل از ترکیب با یکدیگر استاندارد گردد (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۳۵). استاندارد کردن داده‌ها به معنای همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها است. به عبارت دیگر در فرایند ارزیابی ممکن است معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند درصد در اندازه‌گیری شیب و متر در اندازه‌گیری فاصله از گسل)، نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آن‌ها به انجام رسانید.

9. Vikor Model
10. Chen & Wang
11. Opricovic & Tzeng

حالا اگر بخواهیم سرجمع امتیازی را که یک پیکسل، به لحاظ معیارهایی چون شیب و فاصله از گسل کسب کرده است، محاسبه کنیم این کار بدون استاندارد سازی توأم با ارزش‌گذاری میسر نخواهد بود (مددی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲۸).

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیار است؛ در این مرحله با توجه به ضریب اهمیت معیارهای مختلف در تصمیم‌گیری، برداری به‌صورت (رابطه ۲) تعریف می‌گردد.

$$W = [\ W1, W2, \ldots, Wn\ ] \qquad \text{رابطه (۲)}$$

در پژوهش حاضر برای تعیین وزن معیارها، از روش مقایسه‌ای دو به دو که در ذیل روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد استفاده قرار گرفته است.

مرحله چهارم: محاسبه فاصله از ایده آل مثبت(f^*_j)و منفی (f^-_j) است و به ترتیب از روابط (۳ و ۴) محاسبه می‌شوند. در اینجا منظور از ایده آل مثبت، یعنی معیاری که بیشترین ارزش مثبت را داراست و ایده آل منفی، یعنی معیاری که کمترین ارزش منفی را داراست.

$$i = \text{Max fij } f^*_j \qquad \text{رابطه (۳)}$$

$$i = \text{Min fij } f\text{-}j \qquad \text{رابطه (۴)}$$

مرحله پنجم: محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسف (R) است؛ در این مرحله مقدار S با توجه به رابطه (۵) و مقدار R با توجه به رابطه (۶) محاسبه می‌شوند:

$$S_i = \sum_{i=1}^{n} wi \frac{f*j - fij}{f - f-j} \qquad \text{رابطه (۵)}$$

$$R_i = \text{Max } [wi \frac{f*j - fij}{f*j - f-j}] \qquad \text{رابطه (۶)}$$

مرحله ششم: محاسبه شاخص ویکور (مقدار Q) است. مقدار Q با توجه به رابطه (۷) محاسبه می‌شود:

$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-}\right] + (1 - v)\left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}\right] \qquad \text{رابطه (۷)}$$

در معادله فوق $R^- = \text{Min } R^i$ ، $R^* = \text{Max } R_i$ ، $S^* = \text{Max } S_i$, $S^- = \text{Min } S_i$ است.

بحث و یافته‌ها

به‌منظور تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط نرم‌افزار GIS و تهیه نقشه آسیب‌پذیری، تعداد ۸ فاکتور کنترل کننده بر اساس ارتباط نزدیک آن‌ها در وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبریز مورد مطالعه انتخاب شد که این فاکتورها شامل شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی می‌باشند و همچنین بعد از انتخاب فاکتورها، هر فاکتور به چندین کلاس طبقه‌بندی گردید. برای تهیه لایه‌های مربوط به فاکتورهای مختلف و تهیه نقشه‌های موضوعی در محیط GIS از نقشه‌های توپوگرافی، نقشه‌های زمین‌شناسی، تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های بارش، استفاده شد. نقشه‌های موضوعی شیب، جهت شیب و ارتفاع به‌طور مستقیم با فرمت رستری از DEM منطقه به

دست آمد ولی دیگر نقشه‌های موضوعی از قبیل نقشه گسل، فاصله از گسل، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه با فرمت وکتوری تهیه و سپس به‌منظور تلفیق لایه‌ها به فرمت رستری تبدیل گردید. وزن هر یک از معیارها با استفاده از مدل AHP تعیین شد. و از نرم‌افزار ArcGIS برای اجرای مدل ویکور استفاده گردید. و در نهایت نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور تهیه شد. به‌منظور ارزیابی قدرت انطباق، دقت و صحت سنجی مدل تهیه شده، نتایج حاصله با نقشه زمین‌لغزش‌های فعال در منطقه مقایسه گردید؛ جهت اجرای مدل در محیط ARCGIS مراحل عملیاتی زیر صورت گرفته است:

مرحله اول: اولین قدم در ارزیابی چند معیاری، تعریف معیارها و ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری است.

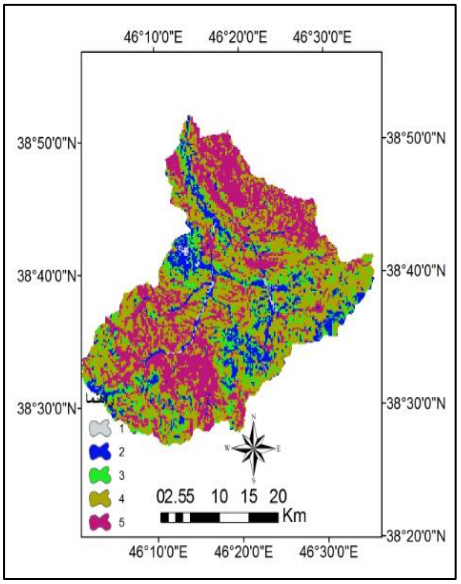
جدول ۱: ماتریس تصمیم‌گیری بر اساس معیارهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش

سنگ‌شناسی	شیب	جهت شیب	فاصله از گسل	کاربری اراضی	بارش	فاصله از آبراهه	ارتفاع
۱	۲۵	۳	۴	۵	۴۱۴/۴۲	۷	۱۸۸۶

مأخذ: نگارندگان

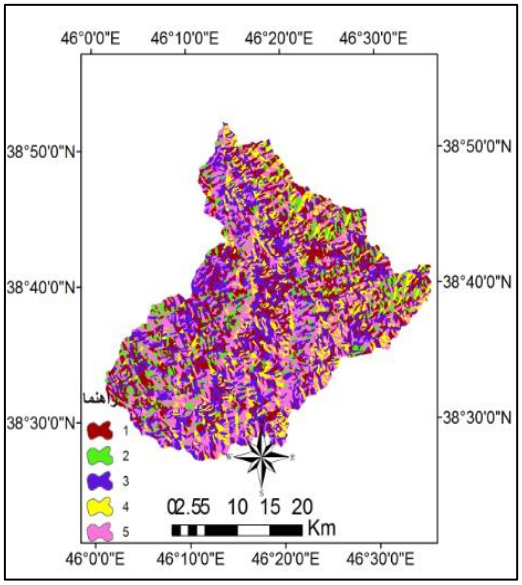
مزیت مدل ویکور این است که ارزیابی همه معیارها به بررسی کارشناسی نیاز ندارد بلکه می‌توان از داده‌های خام استفاده کرد. برای مثال در مورد پارامترهای شیب، بارش و ارتفاع از متوسط مقادیر شیب، ارتفاع متوسط و بارش حوضه استفاده کرده و عیناً خود مقادیر متوسط را در ماتریس وارد کرد. البته معیارهای لیتولوژی، جهت شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی و فاصله از آبراهه چون داده خام نداشتند از ۱ تا ۱۰ ارزیابی شدند.

مرحله دوم: بی مقیاس کردن یا استانداردسازی. استاندارد کردن داده‌ها به معنای همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها است. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی (شیب، جهت شیب، طبقات ارتفاعی، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، طبقات بارش، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل) به‌صورت لایه‌های رستری در ۵ کلاس تهیه شدند (شکل‌های ۲ تا ۹).



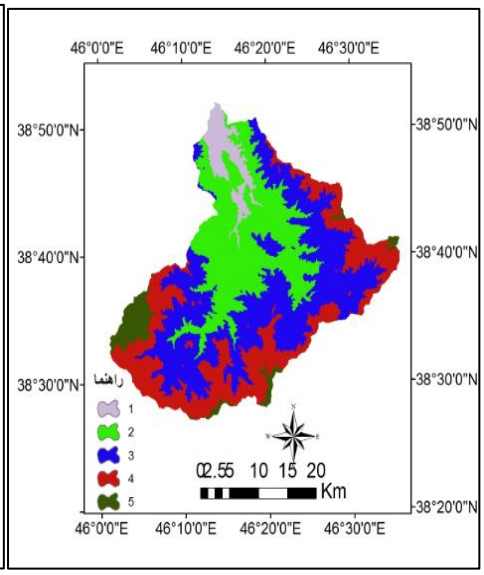
مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: نقشه استاندارد شده جهت شیب



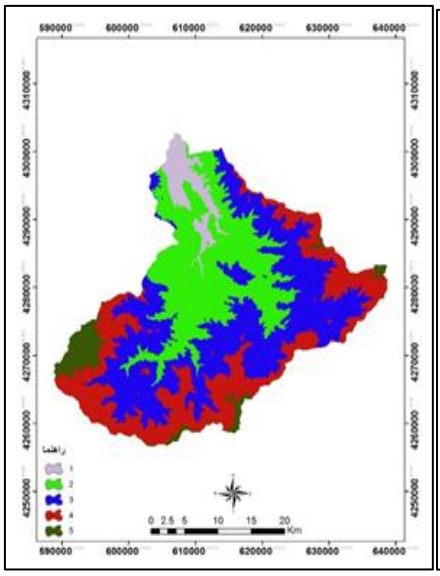
مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: نقشه استاندارد شده شیب



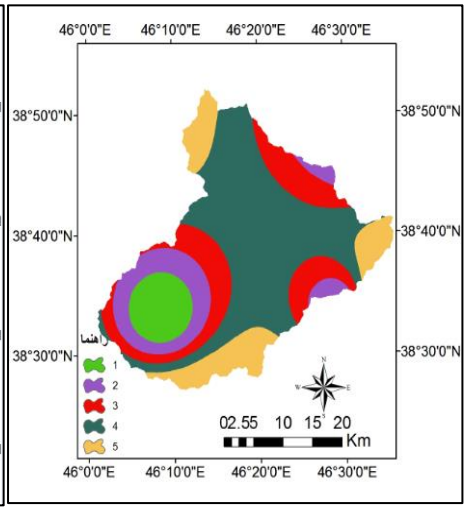
مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: نقشه استاندارد شده ارتفاع



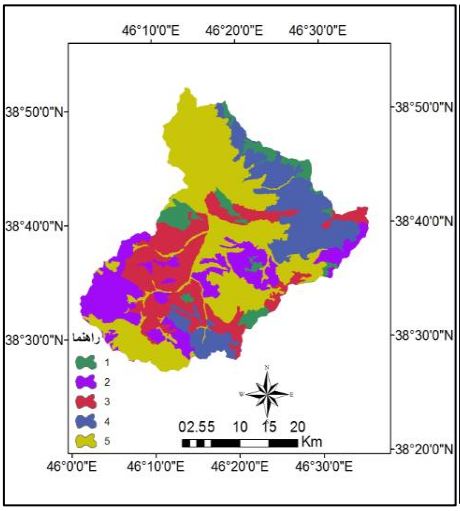
مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: نقشه استاندارد شده سنگ‌شناس



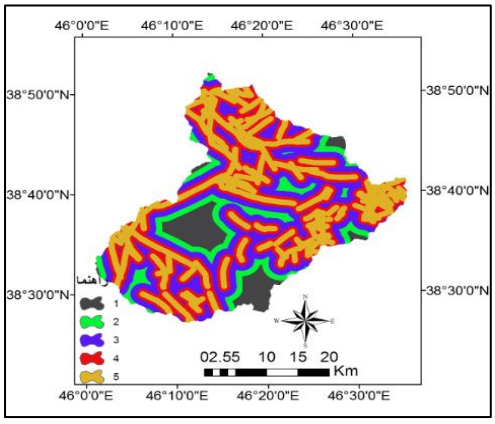
مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: نقشه استاندارد شده کاربری اراضی



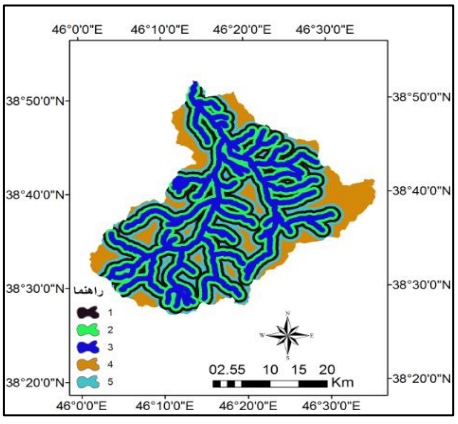
مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: نقشه استاندارد شده بارش



مأخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه استاندارد شده فاصله از آبراهه



مأخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه استاندارد شده فاصله از گسل

مرحله سوم: تعیین بردار وزن معیار است.

در پژوهش حاضر برای تعیین وزن معیارها، از روش مقایسه‌ای دو به دو که در ذیل روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۲: وزن لایه‌ها

معیار	شیب	جهت شیب	ارتفاع	سنگ‌شناسی	کاربری اراضی	بارش	فاصله از گسل	فاصله از آبراهه
وزن	۰/۲۳۰۷	۰/۱۵۷۲	۰/۰۲۳۶	۰/۳۳۱۳	۰/۰۷۰۹	۰/۰۴۷۷	۰/۱۰۵۹	۰/۰۳۲۷

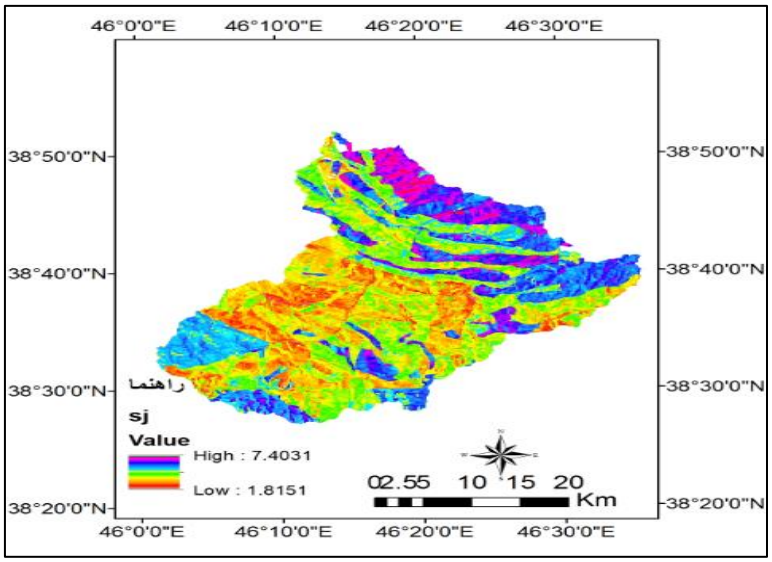
مأخذ: نگارندگان

مرحله چهارم: محاسبه فاصله از ایده آل مثبت (f^*j) و منفی (f_i) است:

بر اساس تأثیری (مثبت و منفی) که معیارها بر وقوع زمین‌لغزش دارند از ایده آل مثبت و منفی استفاده می‌شود. همه معیارها تأثیر منفی بر زمین‌لغزش دارند. یعنی باعث افزایش آسیب‌های ناشی از زمین‌لغزش می‌شوند. ولی از آنجایی که در اینجا هدف فاصله معیارها با مکان است معیارها مثبت در نظر گرفته می‌شوند. یعنی هرچه مکان‌ها از این معیارها فاصله داشته باشند کمتر در معرض خطر آسیب‌پذیری در برابر زمین‌لغزش هستند و از رابطه ایده آل مثبت(f^*_j) استفاده می‌شود و عدد طبقه حداکثر هر لایه معیار در مرحله قبل ضرب همان لایه می‌گردد. به دلیل اینکه خروجی لایه‌های این مرحله با لایه‌های مکانی مرحله اول یکسان می‌باشد، از تکرار نقشه‌ها خودداری شده است.

مرحله پنجم: محاسبه شاخص (S) و (R) برای هر گزینه، در این مرحله ابتدا وزن‌های به‌دست آمده برای هر متغیر از طریق تکنیک (AHP) بر لایه‌های استاندارد شده اعمال شده است. بدین ترتیب که لایه‌های استاندارد شده در مرحله قبل به‌صورت جدا از یکدیگر ضرب در وزن مورد نظر شده است؛ در مرحله بعد (sj) هر یک از معیارها از طریق رابطه آن در Spatial Analyst تهیه شده و سپس همه ۸ لایه (sj) باهم جمع شده و لایه (sj) کل تهیه می‌شود (شکل ۱۰).

$$Sj = \sum_{i=1}^{n} wi \frac{f*j - fij}{f*j - f-j}$$

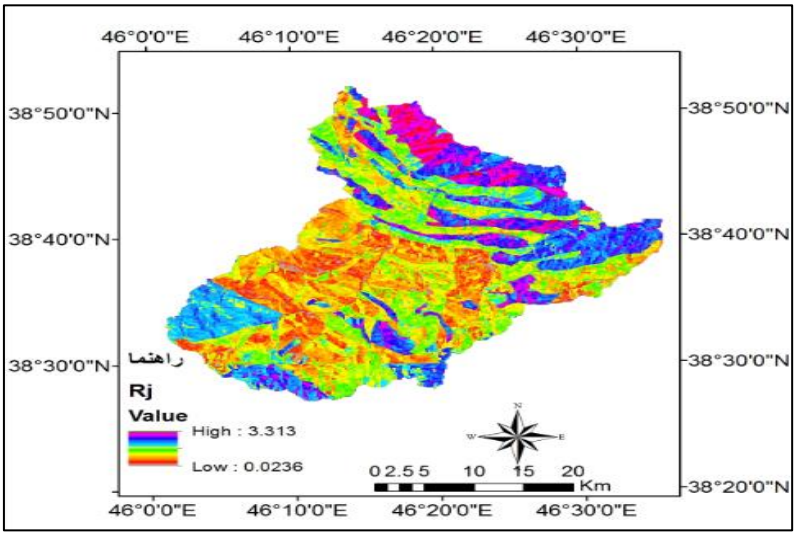


مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۰: لایه استاندار کل Sj

در مرحله بعد با استفاده از ۸ لایه (Sj)، لایه (Rj) از طریق ابزار Cell Statistic در Spatial Analyst تهیه می‌شود (شکل ۱۱).

$$R_i = Max[wi\frac{f*j - fij}{f*j - f-j}]$$



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۱: لایه استاندار شده کل Rj

مرحله ششم: محاسبه شاخص ویکور (مقدار Q) و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش است. شاخص ویکور بین (۰ – ۱) می‌باشد. که همان امتیاز نهایی هر گزینه است. و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد مطلوب‌تر است ولی در کار پهنه‌بندی زمین‌لغزش هر چه به (۰) نزدیک‌تر باشد در معرض خطر بالا قرار دارند که به دلیل مکانی بودن شاخص‌هاست

که شاخص مثبت و منفی عکس روش آماری می‌باشد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (علوی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۳۳). و در شکل (۱۲) نشان داده شده است.

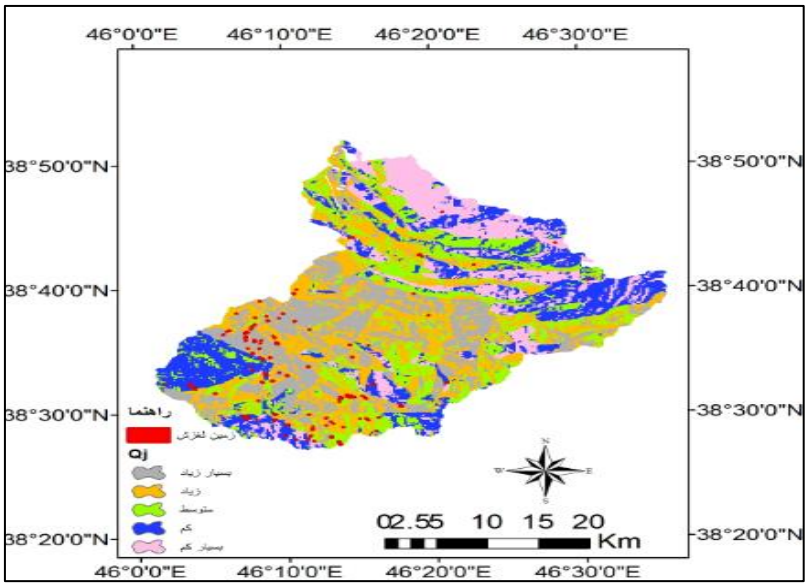
$$Q_i = v\left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-}\right] + (1-v)\left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-}\right]$$

در معادله فوق $R^* = \text{Max } R_i$ ،$= \text{Min } R^i$, $S^* = \text{Max } S_i$, $S^- = \text{Min } S_i$ R^- می‌باشد.

جدول ۳: مقادیر ماکزیمم و مینیمم **Sj** و **Rj**

Sj Max	Sj Min	Rj Max	Rj Min
۷/۴۰۳۱	۱/۸۱۵۱	۱/۲۵۷۶	۰/۰۴۷۲

مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۲: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور در حوضه آبریز حاجیلرچای

جدول ۴: مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور

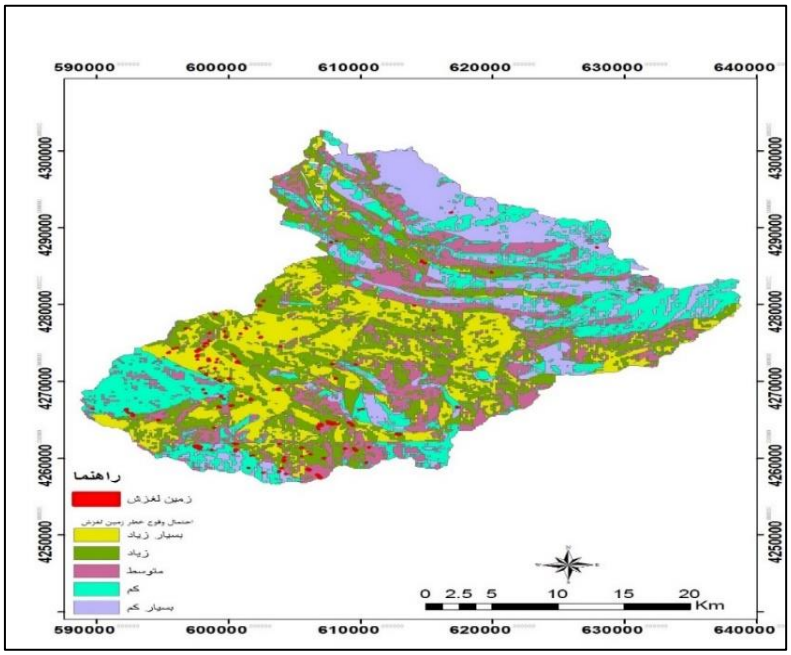
شدت خطر	مساحت(Km^2)	درصد
خطر بسیار زیاد	۲۳۴/۳۵	۲۰/۲۲
خطر زیاد	۲۹۴/۲۵	۲۵/۳۸
خطر متوسط	۲۱۶/۴۷	۱۸/۶۷
خطر کم	۲۳۴/۷۴	۲۰/۲۵
خطر خیلی کم	۱۷۹/۱۱	۱۵/۴۵

مأخذ: نگارندگان

بعد از این‌که نقشه نهایی پهنه‌بندی به دست آمد مساحت هر پهنه محاسبه شد (جدول ۴). بر اساس جدول در حدود ۲۲ /۲۰ در صد از مساحت حوضه حاجیلرچای، احتمال وقوع زمین‌لغزش بسیار زیاد بوده، همچنین در ۲۵/۳۸ درصد احتمال وقوع زیاد است، پهنه بسیار زیاد و زیاد از نظر توزیع جغرافیایی عمدتاً در قسمت‌های مرکزی، غرب و جنوب غرب حوضه حاجیلرچای واقع شده است. پهنه با خطر متوسط ۱۸/۶۷ درصد مساحت حوضه را به خود اختصاص داده و غالباً در

قسمت‌های شمال غرب و جنوب حوضه قرار دارد. پهنه با خطر کم ۲۰/۲۵ درصد مساحت حوضه را شامل می‌شود که این پهنه از نظر توزیع جغرافیایی شرق و جنوب غرب حوضه است. و در نهایت در ۱۵/۴۵ درصد مساحت حوضه احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی کم می‌باشد که در قسمت‌هایی از شمال و شمال شرق حوضه حاجیلرچای قرار دارد.

نتایج فوق نشان از هم‌خوانی نقشه پهنه‌بندی تهیه شده و لغزش‌های موجود بوده که از این موضوع می‌توان به صحت نقشه حاصل پی برد و همچنین مشخص شد که مدل (Vikor) مورد استفاده در این پژوهش روش کاملاً مناسبی جهت پهنه‌بندی خطر احتمال وقوع زمین‌لغزش در حوضه مورد مطالعه می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱۳: نقشه صحت سنجی پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در حوضه حاجیلرچای

نتیجه‌گیری

حوضه حاجیلر در استان آذربایجان شرقی و در شهرستان ورزقان و بخش‌هایی از جلفا و مرند واقع‌شده و یکی از زیر حوضه‌های ارس به شمار می‌آید. این حوضه به علت ویژگی‌های توپوگرافی، اقلیمی و زمین‌شناسی مستعد وقوع انواع زمین‌لغزش‌هاست. این مطالعه با استفاده از مدل ویکور و هم‌چنین بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، به شناسایی عوامل مؤثر و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این حوضه پرداخته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فاکتورهای شیب، جهت شیب، بارش، لیتولوژی، کاربری اراضی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و طبقات ارتفاعی عوامل مؤثر در بروز زمین‌لغزش‌های منطقه به شمار می‌آیند.

بر اساس این پژوهش، در حدود ۲۲ /۲۰ در صد از مساحت حوضه حاجیلرچای، احتمال وقوع زمین‌لغزش بسیار زیاد بوده، همچنین در ۲۵/۳۸درصد احتمال وقوع زیاد است، پهنه بسیار زیاد و زیاد از نظر توزیع جغرافیایی عمدتاً در قسمت‌های مرکزی، غرب و جنوب غرب حوضه حاجیلرچای واقع شده است. پهنه با خطر متوسط ۱۸/۶۷درصد مساحت حوضه را به خود اختصاص داده و غالباً در قسمت‌های شمال غرب و جنوب حوضه قرار دارد. پهنه با خطر کم ۲۰/۲۵ درصد مساحت حوضه را شامل می‌شود که این پهنه از نظر توزیع جغرافیایی شرق و جنوب غرب حوضه است. و در نهایت در ۱۵/۴۵درصد مساحت حوضه احتمال وقوع زمین‌لغزش خیلی کم می‌باشد که در قسمت‌هایی از شمال و شمال شرق حوضه حاجیلرچای قرار دارد. لذا توصیه می‌گردد که فاکتور زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه در انجام برنامه‌ریزی‌های آینده، مدنظر قرار گرفته و اقدامات لازم قبل از افزایش این احتمال انجام گیرد.

منابع

۱- اصغری سراسکانرود، صیاد. پیروزی، الناز. زینالی، بتول. (۱۳۹۴): پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از مدل ویکور. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. شماره. ص ۲۳۵.

۲- انتظاری، مژگان. خدادادی، فاطمه. رستمی، اکبر. (۱۳۹۵): ارزیابی خطر ریسک زمین‌لغزش حوضه آبخیز طالقان رود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور. مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۱۷، صص ۵۴- ۳۴.

۳- رنجبر، محسن. معمار افتخاری، محمد. (۱۳۹۱): پهنه‌بندی پدیدهٔ لغزش با استفاده از روش LNRF در جاده هراز (از امامزاده هاشم تا لاریجان). فصل‌نامه انجمن جغرافیایی ایران. شماره ۳۳. ص ۱۱۹.

۴- سپهر، عادل. بهنیافر، ابوالفضل. محمدیان، عباسعلی. عبدالهی، ابوالفضل. (۱۳۹۲): تهیه نقشه حساسیت پذیری زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی بینالود بر پایه الگوریتم بهینه‌سازی توافقی ویکور. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال دوم. شماره ۱. صص ۳۶- ۱۹.

۵- سفیدگری، رضا. (۱۳۷۲): مجموعه سخنرانی‌های نخستین گردهمایی کارشناسان معاونت آبخیزداری پیرامون پدیده زمین‌لغزش. معاونت آبخیزداری جهاد سازندگی. دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها. ص ۹۲.

۶- عطایی، محمد، (۱۳۸۹): تصمیم‌گیری چند معیاره. چاپ اول. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. ص ۸۷.

۷- علوی، سید علی. رمضان نژاد، یاسر. فتاحی، احدا... خلیفه، ابراهیم. (۱۳۹۴): پهنه‌بندی فضایی سکونتگاه‌های روستایی در معرض مخاطرات محیطی با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور (مطالعه موردی: شهرستان تالش). فصل‌نامه برنامه‌ریزی منطقه‌ای، سال پنجم، شماره ۲۰، ص ۱۳۳.

۸- فیض نیا، سادات. احمدی، حسن. (۱۳۸۰): پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حوضه آبریز شلمانرود در استان گیلان). مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۳. ص ۵۲.

۹- قهرمانی، نرجس. خاشعی سیوکی، عباس. دخیلی، رسول. (۱۳۹۱): بررسی روش‌های AHP، FAHP، LNRF در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حوضه آبخیز النگ دره)، مجله سنجش از دور و GIS ایران، سال چهارم. شماره اول. ص ۶۵.

۱۰- کرم، عبدالامیر. محمودی، فرج اله (۱۳۸۴): مدل‌سازی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها در زاگرس چین‌خورده (حوضه آبریز سر خون چهارمحال بختیاری). پژوهش‌های جغرافیایی. شماره. صص ۱- ۱۴.

۱۱- کرمی، فریبا. (۱۳۹۱): ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش در حوضه‌های کوهستانی نیمه‌خشک. با استفاده از روش‌های آماری و مدل وزنی شاهد (مطالعه موردی:حوضه زهکشی سعیدآباد چای- شمال غرب ایران). فصل‌نامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷. شماره ۳.

۱۲- مالچفسکی، یاچک. (۱۳۸۵): ترجمهٔ : پرهیزگار، اکبر. غفاری، عطا. سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چند معیاری؛ چاپ اول. انتشارات سمت.

۱۳- مددی، عقیل. غفاری گیلانده، عطا. پیروزی الناز (۱۳۹۴): ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل ویکور (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای). پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴. صص ۱۴۱- ۱۲۴.

۱۴- مرادی، حمیدرضا. محمدی، مجید. پور قاسمی، حمیدرضا. (۱۳۹۱): حرکات دامنه‌ای (حرکات توده‌ای) با تأکید بر روش‌های کمی تحلیل وقوع زمین‌لغزش. انتشارات سمت. ص ۱۰.

15- Bednarik, M. Magulova, B. Matys, M. Marschalko, M (2010): Landslide Susceptibility Assessment of The Kral Ovany – Liptovsky Mikulas Railways Case Study, Physics and Chemistry of The Earth, Pp.162 – 171.

16- Chen, L.Y., Wang, T. C., (2009): Optimizing Partners' Choice in IS/IT Outsourcing Projects: The Strategicdecisiono Fuzzy VIKOR, International Journal of. Production Economics, Vol. 120, Issue 1. Pp 224.

17- Fanyu liu, Z (2007): Study on Landslide Susceptibility Mapping Based GIS and With Bivariate Statistics a Case study in Longman Area Highway 212. Science online.

18- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinally, M., and Reichenbach, P (1999): Landslide Hazard Evaluation: A Review of Current Techniques and Their Application in A Multiscale Study, Central Italy. Geomorphology, Vol. 31:181- 216.

19- Guzzeti, F. Reichenbach, P. Cardinal, M. Galli, M. and Ardizzone, F (2005): Probilistic Landslide Hazard Assessment At The Basin Scale, Geomorphology, Natural Hazard in Developing countries, Geomorphology, Vol. 47. Pp.107 – 124.

20- Opricovic, S., Tzeng, G., (2006): Extended VIKOR Method in Comparison With Outranking Methods, European Journal of Operational Research., European Journal of Operational Research, pp 2.

21- Khullar, V. K, sharam, R. P. Paramanik, K (2000): A GIS Approach in The Landslide Zone Lawngthlia in Southern Mizoran. Landslide: Proceeding of The 8th International Symposium on Landslides, Vol. 3. Pp. 1461- 1472.

22- Komac, M (2006): A Landslide Suscepility Model Using The Analytical Hierarchy Process Method and Multivariate Statistic in Per Alpine Slovenia, Geomorphology, Vol. 24. Pp. 17 – 28.

23- 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.

24- Yalcin, A (2008): GIS – Based Landslide Susceptibility Mapping Using Analytical Hershey Process and Bivariate Statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of Results and confirmations. CATENA, Vol. 72. Pp 1-12.

25- Zhang, W. Wang, W. Xia, Q (2012): Landslide Risk Zoning Based on Contribution of Rate Stack Method, Energy Procardia, Vol. 16. Pp 178 – 183.