

پهنه بندی احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات در محیط GIS

مطالعه موردی: بخش رودبار الموت شرقی – استان قزوین

محمد فلاح ززولی^۱

علیرضا وفایی نژاد^۲

علی اصغر آل شیخ^۳

مهدی مدیری^۴

حسین آقامحمدی^۵

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۲۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۹/۲۳

چکیده

زمین لغزش از انواع مهم مخاطرات طبیعی است که امنیت جانی و مالی را مورد تهدید قرار می دهد و موجب تخریب محیط زیست و منابع طبیعی می شود. تهیه نقشه های پهنه بندی از جمله اقداماتی است که از طریق آن می توان مناطق حساس به لغزش های آینده را شناسایی و از نتایج آن برای برنامه ریزی کاربری زمین، جلوگیری از فعالیت های عمرانی غیرمجاز، طرح ریزی زیرساخت ها و بهسازی و ترمیم آن ها استفاده کرد. این مطالعه با بهره گیری از سیستم اطلاعات مکانی و مدل های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعاتی چارچوبی را برای تهیه نقشه مناطق حساس به زمین لغزش در منطقه رودبار الموت شرقی در استان قزوین که درگیر معضل زمین لغزش و ناپایداری های دامنه است، ارائه می دهد. در این راستا بعد از شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و تهیه داده های مربوطه، نقشه های معیار شامل لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش، جهت شیب و ارتفاع برای محدوده مورد مطالعه با تفکیک پذیری مکانی سی متر تولید شد. برای تهیه لایه های اطلاعاتی و اجرای مدل از نرم افزار ArcGIS با توجه به قابلیت آن در تحلیل داده های مکانی، بهره گرفته شده است. ارزیابی نتایج با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان داد که هر دو مدل آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات در برآورد پهنه های خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد می توانند به خوبی با مقدار شاخص احتمال تجربی ۸۶٪ در شناسایی مناطق مستعد زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه عملکرد مناسبی داشته باشند. در برآورد پهنه های خطر زیاد و خیلی زیاد، مدل ارزش اطلاعات با مقدار شاخص احتمال تجربی ۸۶٪ در مقایسه با مدل آنتروپی شانون با مقدار شاخص احتمال تجربی ۷۲٪ از قابلیت بهتری برخوردار است. با توجه به نقشه های پهنه بندی لغزش، پهنه های با خطر زیاد و خیلی زیاد اغلب در باغ ها و مراتع فقیر و امتداد گسل های منطقه قرار دارند، لذا لازم است فعالیت های انسانی با هدف ساخت و ساز و توسعه را در این مناطق محدود کرد.

واژه های کلیدی: زمین لغزش، سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، آنتروپی شانون، ارزش اطلاعات، رودبار الموت

۱- دانشجوی دکتری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، گرایش سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران (نویسنده مسئول) mohammadfallah2092@yahoo.com

۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی تهران، ایران a_vafaei@sbu.ac.ir

۳- استاد گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران alesheikh@kntu.ac.ir

۴- دانشیار برنامه ریزی شهری، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ایران mmodiri@ut.ac.ir

۵- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران-

ایران Hossein.aghamohammadi@gmail.com

۱- مقدمه

بهسازی و ترمیم آن اقدام نمود (طوبایی و عابدینی، ۱۳۹۵: ۹۳).

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه استفاده از تئوری آنتروپی شانون در اولویت‌بندی عوامل مرتبط با وقوع بلایای طبیعی از جمله زمین لغزش به کار رفته است. عرب عامری و همکاران (۱۳۹۷) جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه سرخون کارون با در نظر گرفتن دوازده عامل مؤثر در رخداد زمین لغزش شامل طبقات ارتفاعی، درصد شیب، جهت شیب، فاصله از جاده، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، لیتولوژی، کاربری اراضی، شاخص قدرت جریان، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص انحناى سطح و شاخص انحناى مقطع به شناسایی مناطق حساس به زمین لغزش پرداختند. در این پژوهش از مدل ترکیبی آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات استفاده شده است. نتایج صحت سنجی نشان داد که مدل ترکیبی دارای کارایی بالایی جهت پهنه‌بندی خطر زمین لغزش است. همچنین نتایج نشان داد که عوامل کاربری اراضی و فاصله از جاده بیشترین تأثیر را در وقوع زمین لغزش داشته‌اند.

تیموری یانسری و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهش خود به تعیین عرصه‌های حساس به وقوع زمین لغزش با استفاده از شاخص آنتروپی شانون در حوضه آبخیز چهاردانگه در استان مازندران پرداختند. نقشه‌های عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین لغزش شامل درجه شیب، جهت شیب، انحناى سطح، انحناى نیمرخ، طبقات ارتفاعی، شاخص رطوبت توپوگرافی، شاخص وضعیت توپوگرافی، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از شبکه آبراهه، فاصله از جاده، تراکم گسل، تراکم زهکشی و تراکم جاده در نظر گرفته شده است. ارزیابی نقشه حساسیت تهیه شده بیانگر دقت خوب مدل مذکور برای منطقه مورد مطالعه است. همچنین نتایج شاخص آنتروپی نشان داد که لایه‌های ارتفاع، درجه شیب، انحناى سطح و کاربری اراضی بیشترین تأثیر را بر رخداد زمین لغزش‌های منطقه داشته‌اند.

خسرویان و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله خود به

زمین لغزش نوعی حرکت دامنه‌ای است که در آن مواد در امتداد یک سطح گسیختگی با یک زون گسیختگی مشخص روی دامنه لغزیده و به سمت پایین حرکت می‌کنند. زمین لغزش از جمله سوانح طبیعی است که همه ساله موجب بروز خسارت‌های فراوان مالی و جانی در سراسر جهان می‌شود. با افزایش جمعیت و گسترش نواحی شهری به مناطق پرشیب و دامنه‌ای خطر حرکات دامنه‌ای به خصوص زمین لغزش افزایش پیدا کرده است. زمین لغزش به عنوان دومین مخاطره طبیعی از طرف سازمان برنامه‌ریزی و توسعه سازمان ملل معرفی شده است (جمالی و فلاحی، ۱۳۹۶: ۱۸۶). مشخصه زمین لغزش‌ها توزیع گسترده، فراوانی زیاد، حرکت سریع و زیان‌های فاجعه‌بار است که در مناطق پرجمعیت آسیب می‌تواند بسیار جدی باشد. از این جمله می‌توان به زمین لغزش سال ۲۰۱۴ در ولایت بدخشان افغانستان که منجر به کشته شدن حدود ۲۷۰۰ نفر و زمین لغزش سال ۲۰۱۵ در استان شانژی چین که منجر به ناپدید شدن ۶۴ نفر شد، اشاره کرد (Zhao, et al., 2017: 1).

پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین لغزش یکی از اقداماتی است که از طریق آن می‌توان مناطق حساس به لغزش‌های آینده را شناسایی و از انجام فعالیت‌های عمرانی و کاربری‌های غیرمجاز در آن مناطق جلوگیری کرد یا برای بهسازی و ترمیم آن اقدام نمود (طوبایی و عابدینی، ۱۳۹۵: ۹۳). برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش تاکنون مطالعات زیادی انجام شده است و پژوهشگران با استفاده از روش‌های مختلف رده‌بندی‌های بسیاری ارائه داده‌اند، اما بر پایه وضعیت منطقه مورد مطالعه و عوامل مؤثر در رخداد زمین لغزش، دقت و انعطاف هر یک از این روش‌ها متفاوت خواهد بود (منصوری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۶۷).

عمل پهنه‌بندی با استفاده از مدل‌های مختلف یکی از روش‌هایی است که از طریق آن می‌توان مناطق مستعد برای لغزش‌های آینده را شناسایی و از انجام فعالیت‌های عمرانی و کاربری‌های غیرمجاز در آن مناطق جلوگیری کرد یا برای

لغزش‌های حوضه آبخیز واز پرداختند. به این منظور نقشه پراکنش لغزش‌ها و نقشه‌های عوامل مؤثر از جمله سنگ شناسی، فاصله از جاده، شیب، فاصله از ابراهه، کاربری اراضی، میزان بارندگی، جهت شیب، طبقات ارتفاعی و فاصله از گسل تهیه شد. ارزیابی مدل‌ها نشان داد که مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی به ترتیب بیش‌ترین دقت را در تهیه نقشه خطر زمین لغزش منطقه دارند.

پرتابیان و همکاران (۱۳۹۶) در مقاله خود به بررسی کارایی مدل‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان سیستان و بلوچستان پرداختند. در این مطالعه نقشه زمین لغزش‌های روی داده و نقشه‌های مربوط به ده عامل مؤثر در وقوع زمین لغزش تهیه و طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که مدل ارزش اطلاعات کارایی بیشتری نسبت به مدل تراکم سطح دارد. شعبانی و همکاران (۱۳۹۳) به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آبخیز شلمانرود پرداختند.

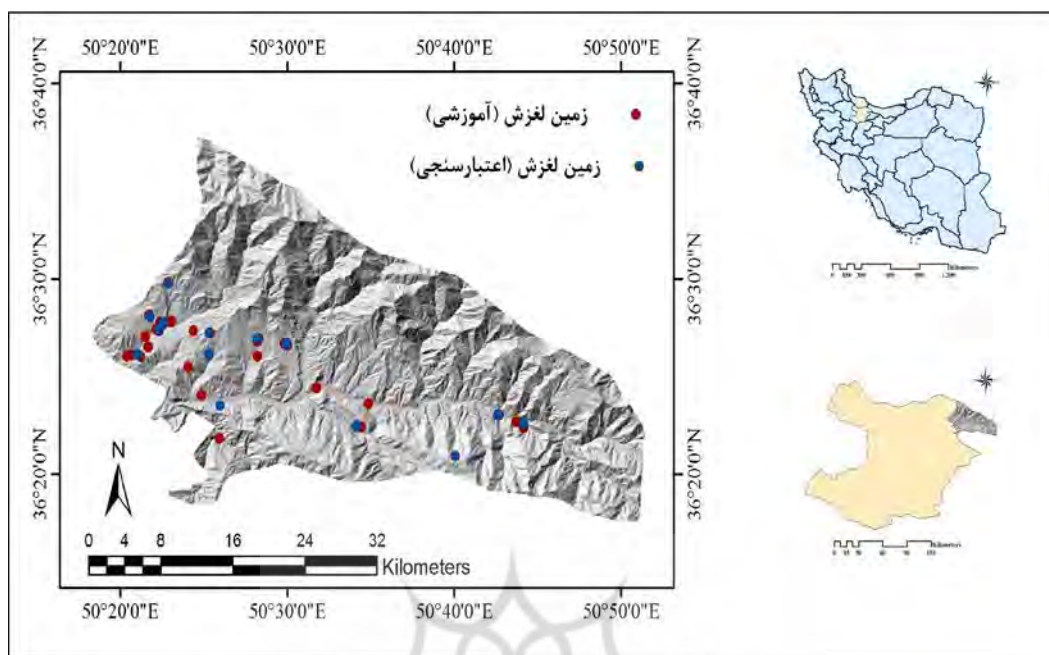
در این تحقیق لایه‌های رقوم شامل کاربری اراضی، طبقات شیب، لیتولوژی، فاصله از جاده، فاصله از رودخانه و فاصله از گسل تهیه شده است. نتایج مقایسه نقشه پهنه‌بندی حاصل از هر مدل با نقشه پراکنش زمین لغزش نشان داد که مدل ارزش اطلاعات نسبت به روش تحلیل سلسله مراتبی روش مناسب‌تری می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که در وقوع زمین لغزش عوامل کاربری اراضی، سنگ شناسی و طبقه شیب تأثیر قابل ملاحظه‌ای نسبت به سایر عوامل دارند.

نصرآزادانی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی آماری دو متغیره ارزش اطلاعاتی و تراکم سطح با استفاده از GIS در حوضه آبخیز دز علیا در استان اصفهان پرداختند. پراکنش زمین لغزش‌ها و عوامل مؤثر شامل لیتولوژی، شیب، فاصله از ابراهه، فاصله از گسل، فاصله از جاده، بارندگی سالیانه و پوشش گیاهی در گستره مورد

اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر وقوع زمین لغزش و پهنه بندی حساسیت آن درحوضه آبخیز بار نیشابور با استفاده از شاخص آنتروپی شانون پرداختند. به این منظور بیست و پنج عامل تأثیرگذار بر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی مورد توجه قرار گرفت و نقشه‌های مربوط به عوامل مذکور در محیط GIS تهیه گردید. ارزیابی نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش بیانگر دقت خیلی خوب مدل است. منصوری و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه خود از دو مدل وزن شاهد و شاخص آنتروپی برای شناسایی مناطق دارای خطر زمین لغزش منطقه دوآب صمصامی استان چهارمحال و بختیاری استفاده کردند. برای این منظور ده لایه عامل شامل شیب، جهت شیب، میزان بارش، شتاب ثقل افقی زمین لرزه، فاصله از جاده، فاصله از ابراهه، فاصله از گسل، فاصله از نقاط شهری و روستایی، سنگ‌شناسی و کاربری زمین انتخاب شد.

نتایج به دست آمده برآورد خوبی از خطر لغزش در منطقه مورد مطالعه نشان داد؛ به طوری که سنگ شناسی، بارش و کاربری زمین نقش مهمی در ایجاد لغزش‌ها در منطقه دارند و به طور کلی هر دو مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه مناسب بوده است. مقیمی و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهش خود به ارزیابی مدل آنتروپی در پهنه‌بندی رخدادهای زمین لغزش در تاقدیس نثار زاگرس شمال غربی پرداختند. پنج عامل لیتولوژی، فاصله از گسل، ارتفاع، شیب و جهت شیب در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مدل آنتروپی کارایی مطلوبی در برآورد میزان خطر رخدادهای زمین لغزش دارد و ارتفاع، شیب، فاصله از گسل، جهت شیب و لیتولوژی به ترتیب بیش‌ترین نقش را در رخدادهای زمین لغزش دارند.

مدل ارزش اطلاعات نیز کاربرد گسترده‌ای در مدل سازی مخاطرات زمین‌شناسی و ارزیابی ریسک آن‌ها از جمله زمین لغزش‌ها دارد. زارع و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهش خود به ارزیابی کارایی سه مدل عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی برای پهنه‌بندی



نگاره ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

مطالعه مشخص و تهیه گردید. نتایج نشان داد که پارامترهای لیتولوژی، پوشش گیاهی و بارندگی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین لغزش به شمار می‌آیند و روش پهنه‌بندی ارزش اطلاعاتی در مقایسه با روش تراکم سطح برای منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر است و ارجحیت دارد. در پژوهش پیش‌رو، امکان استفاده از مدل‌های روش آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات برای فرآیند مدل‌سازی و پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین لغزش در بخش رودبار الموت شرقی استان قزوین بررسی شده است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای پیش‌بینی و هشدار مخاطرات محیطی ناشی از زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد تا علاوه بر کاهش هزینه‌های انسانی، اقتصادی و اجتماعی، سمت‌گیری برنامه‌های توسعه‌ای را در نواحی مستعد زمین لغزش مشخص کند.

مربع واقع شده است (نگاره ۱). این بخش از شمال به دهستان‌های دو هزار و سه هزار تنکابن، از شرق به قله شاه البرز و طالقان، از جنوب شرقی به طالقان، از جنوب به آبیگ و از غرب به رودبار الموت غربی محدود می‌شود. وضعیت توپوگرافی منطقه با حداقل و حداکثر ارتفاع ۹۹۵ و ۴۱۱۷ متر و تغییرات شیب صفر تا بیشتر از ۷۰ درجه بسیار متنوع است. مقدار بارندگی سالانه نیز با ۴۰۰ میلی متر در غرب و ۹۰۰ میلی متر در شرق و شمال تغییرات زیادی را نشان می‌دهد.

۲-۲- روش تحقیق

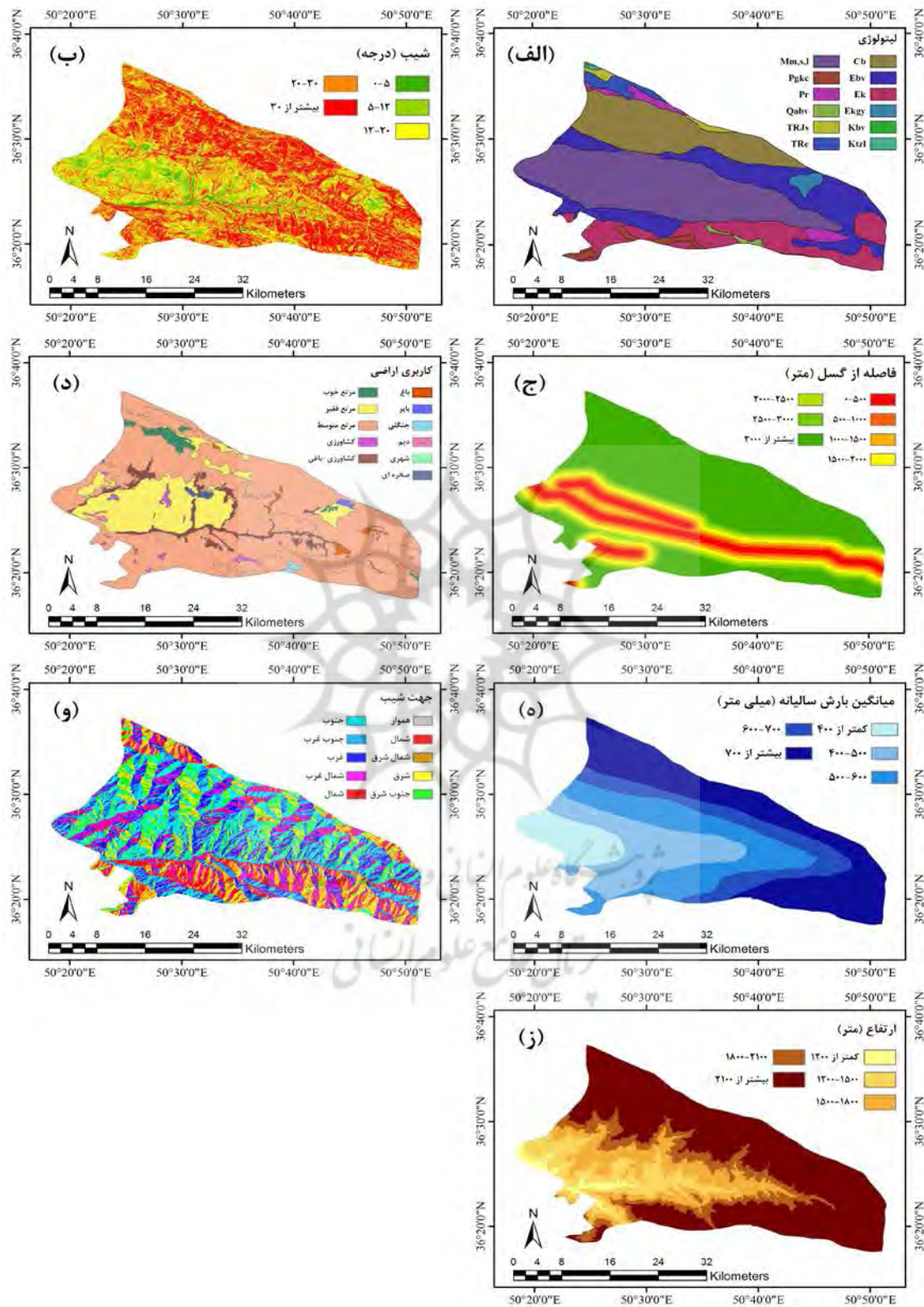
روش تحقیقی که در این پژوهش برای پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین لغزش در بخش رودبار الموت شرقی طرح‌ریزی شد مبتنی بر تشخیص ارتباط بین زمین لغزش‌های گذشته و مجموعه‌ای از عوامل مختلف توپوگرافی، اقلیمی و محیطی بود. کشف ارتباط‌های موجود با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی و آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها
 ۲-۱- منطقه مورد مطالعه
 بخش رودبار الموت شرقی در رشته کوه‌های البرز واقع در شمال شرقی استان قزوین با وسعت برابر با ۹۲۱ کیلومتر

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

بخش رودبار الموت شرقی در رشته کوه‌های البرز واقع در شمال شرقی استان قزوین با وسعت برابر با ۹۲۱ کیلومتر



نگاره ۲: نقشه‌های عوامل مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش بخش رودبار الموت شرقی: (الف) لیتولوژی، (ب) شیب، (ج) فاصله از گسل، (د) کاربری اراضی، (ه) میانگین بارش سالیانه، (و) جهت شیب، (ز) ارتفاع

۲-۲-۱- داده‌ها

۲-۲-۲- روش‌ها و مدل‌ها

۲-۲-۲-۱- روش نسبت فراوانی^۱

نسبت فراوانی از جمله روش‌های آماری است که کاربرد گسترده‌ای در مدل‌سازی مخاطرات محیطی نظیر زمین لغزش، سیل و آتش‌سوزی دارد. فرضیه این روش بر این اساس است که مخاطرات آینده در مکان‌هایی با شرایط مشابه با مخاطرات پیشین رخ خواهند داد (جعفری و مافی غلامی، ۱۳۹۵: ۲۳۵). محاسبه نسبت فراوانی برای یک رده عامل مؤثر زمین لغزش به صورت رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Naghibi, et al., 2015: 177).

$$FR = \frac{A}{\frac{B}{C}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

A تعداد زمین لغزش رده عامل، B تعداد کل زمین لغزش‌ها در محدوده مورد مطالعه، C مساحت رده عامل و D مساحت کل محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

۲-۲-۲-۲- مدل ارزش اطلاعات^۲

این روش توسط بین و یان (۱۹۸۸) معرفی شد (نصرآزادانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۶۸). در این روش، زمین لغزش به عنوان متغیر وابسته و هر یک از متغیرهای محیطی به عنوان عوامل مستقل تلقی می‌شوند و میزان اثر هر یک از آن‌ها مستقل از دیگری ارزیابی می‌شود.

تحلیل نهایی پتانسیل زمین لغزش برای هر واحد از منطقه بر اساس مجموع اثر کلیه عوامل در آن واحد انجام می‌شود (شعبانی و همکاران، ۱۳۹۳: ۱۶۰). ارزش اطلاعاتی عوامل مختلف از تقسیم درصد سطحی لغزشی پارامتر به درصد سطحی لغزشی متوسط منطقه و محاسبه لگاریتم نپر آن نسبت، به دست می‌آید. عدد حاصله را ارزش اطلاعاتی تراکم لغزش می‌نامند. بر اساس این روش مقدار وزن هر رده از عامل از رابطه ۲ به دست می‌آید.

محل پراکنش رخدادهای زمین لغزش گذشته در منطقه مورد مطالعه بر اساس اطلاعات سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تعیین شد که بر این اساس ۴۹ زمین لغزش تشخیص داده شد.

با در نظر گرفتن نسبت ۷۰ به ۳۰، داده‌ها به صورت تصادفی به دو بخش داده‌های آموزشی و داده‌های اعتبارسنجی تقسیم‌بندی شدند که در نتیجه ۷۰٪ داده‌ها (۳۵ زمین لغزش) برای ساخت مدل‌ها و ۳۰٪ باقیمانده (۱۴ زمین لغزش) برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شد (نگاره ۱). برای مدل‌سازی پتانسیل زمین لغزش علاوه بر زمین لغزش‌های گذشته به مجموعه‌ای از مشخصه‌های توپوگرافی، محیطی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه نیاز است. در کنترل و مدیریت زمین لغزش، شناخت عوامل مؤثر بر آن اهمیت بسیار زیادی دارد.

صفراری و محمدی (۱۳۹۲) در مطالعه خود با بررسی ۳۹ مقاله علمی پژوهشی در خصوص فرایند زمین لغزش، به بررسی عوامل تأثیرگذار در آن با استفاده از تحلیل‌های آماری پرداختند و نشان دادند که لیتولوژی، شیب، فاصله از گسل، کاربری اراضی، بارش، جهت شیب و ارتفاع تأثیرگذارترین عوامل بر وقوع زمین لغزش هستند. بنابراین، در پژوهش پیش‌رو نیز عوامل مذکور به عنوان عوامل مستقل برای مدل‌سازی در نظر گرفته شدند.

اطلاعات پایه برای تولید نقشه این عوامل از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و همچنین از مدل رقومی ارتفاع (DEM) مربوط به SRTM اخذ شد و پس از انجام اصلاحات برای تهیه نقشه هفت عامل مؤثر با تفکیک‌پذیری مکانی ۳۰ متر مورد استفاده قرار گرفت. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و اجرای مدل‌ها از نرم افزار ArcGIS با توجه به قابلیت آن در تحلیل داده‌های مکانی، بهره گرفته شده است. نگاره ۲ نقشه عوامل استفاده‌شده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

1- Frequency Ratio

2- Information Value

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از ... / ۱۲۹

می‌شود (Naghbi, et al., 2015: 179).

$$E_{ij} = \frac{FR}{\sum_{j=1}^{M_j} FR} \quad (\text{رابطه ۳})$$

FR نسبت فراوانی و E_{ij} چگالی احتمال و M_j تعداد رده‌هاست.

$$H_j = - \sum_{i=1}^{M_j} E_{ij} \log_2 E_{ij}, j = 1, \dots, n \quad (\text{رابطه ۴})$$

(رابطه ۵)

$$H_{j-max} = \log_2 M_j, M_j - \text{number of classes}$$

$$I_j = \frac{H_{j-max} - H_j}{H_{j-max}}, I = (0,1), j = 1, \dots, n \quad (\text{رابطه ۶})$$

(رابطه ۷)

$$W_j = I_j FR$$

H_j و H_{j-max} مقادیر آنتروپی، I_j ضریب اطلاعات و W_j وزن عامل در کل را نشان می‌دهد.

۲-۲-۳- ایجاد و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS

نقشه نهایی احتمال وقوع زمین‌لغزش به صورت رابطه ۸ تعریف می‌شود (Youssef, et al., 2015: 128; Al-Abadi, 2017: 708; Jaafari, et al., 2014: 916).

$$LPM = \sum_{j=1}^n \frac{Z}{M_j} \times C_j \times W_j \quad (\text{رابطه ۸})$$

که LPM درجه ریسک وقوع زمین‌لغزش، Z تعداد رده عاملی که بیش‌ترین تعداد رده را دارد، تعداد رده عامل Z ، C_j نقشه عامل Z که با توجه به نسبت فراوانی رده‌های آن باز طبقه‌بندی شده، W_j وزن هر عامل و n تعداد عوامل را نشان می‌دهد. نقشه نهایی احتمال وقوع زمین‌لغزش بر اساس مدل ارزش اطلاعات به صورت رابطه ۹ تعریف می‌شود (Chen, et al., 2015: 1587).

$$LPM_2 = \sum_{j=1}^n I_j \quad (\text{رابطه ۹})$$

(رابطه ۲)

$$W_{inf} = \ln \left(\frac{Densclass}{Densmap} \right) = \ln \left(\frac{\frac{N_{pix}(S_i)}{N_{pix}(N_i)}}{\frac{N_{pix}(S_i)}{\sum N_{pix}(S_i)}}}{\frac{N_{pix}(N_i)}{\sum N_{pix}(N_i)}} \right)$$

که در آن W_{inf} وزن مربوط به یک رده از یک عامل، $Densclass$ تراکم زمین‌لغزش در رده مشخص از یک عامل، $Densmap$ تراکم زمین‌لغزش در کل محدوده، $N_{pix}(S_i)$ تعداد سلول‌ها یا مساحت زمین‌لغزش‌های افتاده در هر رده از عامل و $N_{pix}(N_i)$ تعداد سلول‌ها یا مساحت کل هر رده از عامل است. در مورد مقدار عددی وزن‌ها، هر چه عدد منفی‌تر باشد نشان‌دهنده تأثیر کم‌تر پارامتر مربوطه در رخداد زمین‌لغزش و عدد مثبت‌تر نشان‌دهنده بیش‌ترین تأثیر است (پرتابیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۴).

۲-۲-۳- مدل آنتروپی شانون^۱

شانون (۱۹۴۸) با اصلاح اصل بولتزمن در دانش ترمودینامیک، مدل آنتروپی را در نظریه اطلاعات پایه‌گذاری کرد. آنتروپی روشی جهت اندازه‌گیری عدم قطعیت در منابع اطلاعات یک سیستم است که مقدار آن با درجه بی‌نظمی سیستم مرتبط است (تیموری یانسری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۹۱). این اندازه‌گیری می‌تواند برای تعیین ناهمگونی شاخص‌های ارزیابی یک هدف استفاده شود (Yang, et al., 2018: 274). در مورد زمین‌لغزش‌ها با اندازه‌گیری تفاوت‌ها و تنوع در محیط، پتانسیل هر عامل در ایجاد زمین‌لغزش را نشان می‌دهد.

به عبارتی دیگر آنتروپی زمین‌لغزش‌ها به وسعت اثری که عوامل مختلف در ایجاد زمین‌لغزش دارند، اشاره می‌کند و هر چه شاخص آنتروپی بزرگ‌تر باشد اثر آن عامل در ایجاد زمین‌لغزش نیز بیشتر است (Shadman Roodposhti, et al., 2016: 7). برای محاسبه ضریب اطلاعات W_j که نشان‌دهنده مقدار وزن عامل به طور کلی است، معادلات زیر استفاده

اطلاعات نشان می‌دهد که از نظر لیتولوژی، رده (مارن، ماسه‌سنگ آهکی، سنگ آهک ماسه‌ای و کنگلومرای جزئی) با مقدار ارزش اطلاعات ۱ دارای بیش‌ترین احتمال رخداد زمین لغزش و رده‌های (گدازه‌های بازالتی) و (توف سبز و شیل‌های توفی) به ترتیب با مقادیر ارزش اطلاعات ۲/۰۳- و ۱/۷۰- دارای کم‌ترین احتمال رخداد زمین لغزش است. در معیار شیب تنها دو رده با شاخص مثبت وجود دارد که بیش‌ترین مقدار ارزش اطلاعات (۰/۹۳) در رده ۵-۱۲ درجه قرار دارد و بعد از آن رده ۱۲-۲۰ درجه قرار دارد. کم‌ترین مقدار برای رده شیب‌های بیش‌تر از ۳۰ درجه است. از این مشاهده به وضوح می‌توان نتیجه گرفت که شیب‌های بین ۵ تا ۲۰ درجه مستعدترین مناطق رخداد زمین لغزش هستند. نتایج معیار فاصله از گسل نشان می‌دهد که ارزش اطلاعات بیش‌ترین مقدار (۱/۶۷) را برای فاصله ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر از گسل‌ها داراست. در مورد کاربری اراضی، کاربری‌های باغی، کشاورزی و کشاورزی-باغی به ترتیب با مقادیر ۲/۱۶ و ۱/۵۹ و ۱/۱۱ بیش‌ترین مقادیر را دارند. از نظر بارش، میانگین بارش‌های سالانه کم‌تر از ۴۰۰ میلی‌متر با مقدر ارزش اطلاعات ۱/۵۰ بیش‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. در معیار جهت شیب، بیش‌تر زمین لغزش‌ها در جهت‌های جنوب غرب، جنوب و شرق قرار دارد. جهت شیب‌های شمال شرق، غرب و شمال غربی به ترتیب دارای کم‌ترین احتمال رخداد زمین لغزش هستند. از نظر ارتفاعی نیز با افزایش ارتفاع مقادیر ارزش اطلاعات رده‌ها کاهش پیدا می‌کند و بیش‌ترین مقدار مربوط به رده ارتفاعی کم‌تر از ۱۲۰۰ متر است.

پس از تعیین وزن معیارها و رده‌های آن‌ها اقدام به تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش برای مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات گردید. نقشه‌های پهنه‌بندی حاصله بر اساس روش طبقه‌بندی شکستگی‌های طبیعی به ۵ رده خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم برای هر دو مدل تقسیم شد (نگاره ۳ قسمت الف و ب). اعتبارسنجی نقشه به‌دست آمده از مدل‌های آنتروپی

که LPM درجه ریسک وقوع زمین لغزش بر اساس مدل ارزش اطلاعات، I_j نقشه عامل زام که با توجه به ارزش اطلاعات رده‌های آن باز طبقه‌بندی شده و n تعداد عوامل را نشان می‌دهد.

۲-۲-۴- اعتبارسنجی

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پیشنهاد شده است. در این مطالعه برای اعتبارسنجی و ارزیابی نقشه‌های حاصل از اجرای دو مدل از شاخص احتمال تجربی استفاده شد (صفاری و هاشمی، ۱۳۹۵: ۶۰؛ حسن زاده نفوتی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۱). بدین منظور از ۳۰ درصد (۱۴ زمین لغزش) از داده‌های لغزشی اعتبارسنجی که به صورت تصادفی انتخاب شده بودند، استفاده شد. با استفاده از رابطه ۱۰ و بر مبنای محاسبه تعداد لغزش‌هایی که در هر طبقه از نقشه‌های دقت مدل تخمین زده شد.

(رابطه ۱۰)

$$p = \frac{ks}{s}$$

که در آن p احتمال تجربی، ks تعداد لغزش‌ها در رده‌های خطر متوسط به بالا و s تعداد کل لغزش‌های منطقه است. هر چه احتمال تجربی به یک نزدیک‌تر باشد، مدل برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مناسب‌تر و دارای دقت بیشتری است.

۳- نتایج

نتایج حاصل از ارتباط مکانی بین زمین لغزش‌ها، عوامل مؤثر و میزان اثر هر یک از آن‌ها با استفاده روش‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات در جدول ۱ ارائه شده است. اولویت بندی عوامل مؤثر با استفاده از مدل آنتروپی شانون نشان می‌دهد که سه عامل کاربری اراضی، ارتفاع و بارش به ترتیب بیشترین تأثیر را در وقوع لغزش‌های منطقه داشته‌اند. بعد از این سه عامل، عامل‌های شیب، فاصله از گسل (تقریباً برابر با شیب)، لیتولوژی و جهت شیب مؤثرترین متغیرها بوده‌اند. همچنین نتایج مدل ارزش

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)
 پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از ... / ۱۳۱

جدول ۱: ارتباط بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل موثر آن‌ها با استفاده از مدل‌های آن‌تروپی شانون و ارزش اطلاعات

W_{inf}	W_j	I_j	H_{j-max}	H_j	E_{ij}	FR	مساحت طبقه %	زمین لغزش %	رده	عامل
۰	۰/۲۱	۰/۸۴	۳/۵۸	۰/۵۷	۰	۰	۱۸/۸۵	۰	Cb	لیتولوژی
-۲/۰۳					۰/۰۴	۰/۱۳	۲۱/۶۷	۲/۸۵	Ebv	
-۱/۷۰					۰/۰۶	۰/۱۸	۱۵/۷۱	۲/۸۵	Ek	
۰					۰	۱/۲۱	۰	۰	Ekgy	
۰					۰	۰/۰۴	۰	۰	Kbv	
۰					۰	۰/۱۲	۰	۰	Ktzt	
۱					۰/۹۰	۲/۷۱	۳۴/۷۹	۹۴/۲۸	Mm,s,l	
۰					۰	۰	۱/۶۸	۰	Pgkc	
۰					۰	۰	۲/۴۸	۰	Pr	
۰					۰	۰	۰/۵۲	۰	Qabv	
۰					۰	۰	۰/۹۹	۰	TRJs	
۰					۰	۰	۱/۸۹	۰	TRe	
۰					۰/۳۷	۰/۳۴	۲/۳۲	۱/۵۲	۰	
۰/۹۳	۰/۴۷	۲/۵۴	۱۱/۲۶	۲۸/۵۷					۱۲-۵	
۰/۷۵	۰/۳۹	۲/۱۲	۲۱/۵۵	۴۵/۷۱					۲۰-۱۲	
-۰/۴۶	۰/۱۲	۰/۶۳	۳۶/۳۱	۲۲/۸۵					۳۰-۲۰	
-۲/۲۹	۰/۰۲	۰/۱۰	۲۸/۰۹	۲/۸۵					>۳۰	
۰	۰/۳۷	۰/۲۰	۲/۸۱	۲/۲۶	۰/۰۸	۱	۸/۵۷	۸/۵۷	۵۰۰-۰	فاصله از گسل (متر)
۱/۶۷					۰/۴۲	۵/۳۳	۸/۵۷	۴۵/۷۱	۱۰۰۰-۵۰۰	
۰/۹۵					۰/۲۰	۲/۵۷	۷/۷۷	۲۰	۱۵۰۰-۱۰۰۰	
۰/۵۲					۰/۱۳	۱/۶۸	۶/۷۹	۱۱/۴۲	۲۰۰۰-۱۵۰۰	
-۰/۱۹					۰/۰۶	۰/۸۳	۶/۸۸	۵/۷۱	۲۵۰۰-۲۰۰۰	
۰/۳۴					۰/۱۱	۱/۴۰	۶/۱۳	۸/۵۷	۳۰۰۰-۲۵۰۰	
۰					۰	۵۵/۲۶	۰	>۳۰۰۰		
۲/۱۶	۰/۸۰	۰/۴۵	۳/۴۶	۱/۹۲	۰/۴۵	۸/۶۵	۰/۹۹	۸/۵۷	باغ	کاربری اراضی
۰					۰	۰/۴۶	۰	بایر		
۰					۰	۰/۲۷	۰	جنگلی		
۰					۰	۰/۲۴	۰	دیم		
۰					۰	۰/۰۱	۰	شهری		
۰					۰	۰/۳۶	۰	صخره‌ای		
۰					۰	۱/۸۰	۰	مرتع خوب		
-۰/۸۴					۰/۰۲	۰/۴۳	۷۲/۱۸	۳۱/۴۲	مرتع متوسط	
۰/۸۵					۰/۱۲	۲/۳۴	۱۸/۳۱	۴۲/۸۵	مرتع فقیر	
۱/۵۹					۰/۲۵	۴/۹۱	۰/۵۸	۲/۸۵	کشاورزی	
۱/۱۱					۰/۱۶	۳/۰۴	۴/۶۹	۱۴/۲۸	کشاورزی باغی	

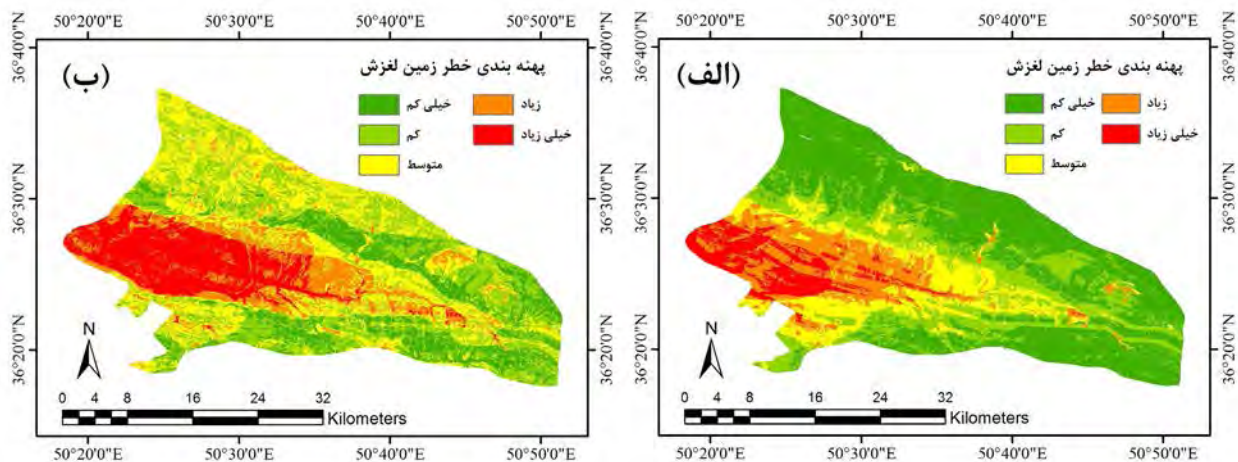
۱/۵۰	۰/۵۴	۰/۳۵	۲/۳۲	۱/۵۱	۰/۵۸	۴/۴۸	۸/۹۳	۴۰	< ۴۰۰	بارش (میلیمتر)
۰/۷۳					۰/۲۷	۲/۰۷	۱۹/۳۴	۴۰	۵۰۰-۴۰۰	
-۰/۹۹					۰/۰۵	۰/۳۷	۲۳/۱۲	۸/۵۷	۶۰۰-۵۰۰	
-۰/۲۵					۰/۱۰	۰/۷۸	۱۴/۶۶	۱۱/۴۲	۷۰۰-۶۰۰	
۰					۰	۰	۳۳/۹۴	۰	> ۷۰۰	
۰	۰/۰۶	۰/۰۷	۳/۱۷	۲/۹۴	۰	۰	۰	۰	هموار	جهت شیب
۰					۰/۱۳	۱	۱۱/۴۳	۱۱/۴۲	شمال	
-۰/۶۶					۰/۰۷	۰/۵۲	۱۱/۰۴	۵/۷۱	شمال شرق	
۰/۲۱					۰/۱۵	۱/۲۳	۹/۲۶	۱۱/۴۲	شرق	
-۰/۰۲					۰/۱۲	۰/۹۸	۱۱/۷۱	۱۱/۴۲	جنوب شرق	
۰/۲۱					۰/۱۶	۱/۲۴	۱۳/۸۵	۱۷/۱۴	جنوب	
۰/۳۶					۰/۱۸	۱/۴۴	۱۵/۹۲	۲۲/۸۵	جنوب غرب	
-۰/۵۱					۰/۰۸	۰/۶۰	۱۴/۲۲	۸/۵۷	غرب	
-۰/۰۹					۰/۱۱	۰/۹۱	۱۲/۵۲	۱۱/۴۲	شمال غربی	
۱/۸۱					۰/۶۲	۰/۲۵	۲/۳۲	۱/۷۴	۰/۴۹	
۱/۲۴	۰/۲۷	۳/۴۵	۱۲/۴۳	۴۲/۸۵					۱۵۰۰-۱۲۰۰	
۰/۶۱	۰/۱۵	۱/۸۳	۱۵/۶۰	۲۸/۵۷					۱۸۰۰-۱۵۰۰	
۰/۰۹	۰/۰۹	۱/۱۰	۱۳/۰۱	۱۴/۲۸					۲۱۰۰-۱۸۰۰	
۰	۰	۰	۵۶/۶۰	۰					> ۲۱۰۰	

نشان دهنده قابلیت بهتر مدل ارزش اطلاعات است. برای مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات مجموع پهنه‌های خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۳۴٪ و ۵۶٪ از منطقه مورد مطالعه و مجموع پهنه‌های خطر زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۲۰٪ و ۲۹٪ از منطقه مورد مطالعه را در برمی‌گیرد.

۴- بحث

نتایج حاصل از بررسی ارتباط هر یک از عوامل مؤثر با لغزش‌های منطقه نشان می‌دهد که در بخش‌های کم ارتفاع منطقه و بخش‌هایی که باغ‌ها و گسل‌های اصلی منطقه قرار دارند بیشترین احتمال وقوع زمین‌لغزش وجود دارد. باغ‌ها، اراضی با ارتفاع کمتر از ۱۲۰۰ و در اراضی با فاصله ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متری از گسل‌ها که به ترتیب نسبت‌های فراوانی ۸/۶۵، ۶/۱۰ و ۵/۳۳ و ارزش‌های اطلاعات ۲/۱۶، ۱/۸۱

شانون و ارزش اطلاعات، نشان داد که از ۱۴ لغزشی که برای اعتبارسنجی در نظر گرفته شده بود، در مدل آنتروپی شانون ۳ لغزش در پهنه خطر خیلی زیاد، ۷ لغزش در پهنه خطر زیاد، ۲ لغزش در پهنه خطر متوسط، ۱ لغزش در پهنه خطر کم و ۱ لغزش در پهنه با خطر خیلی کم و در مدل ارزش اطلاعات ۸ لغزش در پهنه خطر خیلی زیاد، ۴ لغزش در پهنه خطر زیاد، پهنه خطر متوسط بدون لغزش، ۱ لغزش در پهنه خطر کم و ۱ لغزش در پهنه با خطر خیلی کم قرار گرفته‌اند (جدول ۲). به این ترتیب شاخص احتمال تجربی مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات ۸۶٪ به دست آمد که بیانگر دقت خیلی خوب هر دو مدل در پیش‌بینی مناطق مستعد زمین‌لغزش است. همچنین شاخص احتمال تجربی با در نظر گرفتن تعداد لغزش‌ها صرفاً در رده‌های خطر زیاد و خیلی زیاد، مقدار ۷۲٪ برای مدل آنتروپی شانون و ۸۶٪ برای مدل ارزش اطلاعات به دست آمد که



نگاره ۳: نقشه نهایی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش: الف) مدل آنتروپی شانون، ب) مدل ارزش اطلاعات

جدول ۲: مساحت پهنه‌های خطر زمین لغزش و تعداد زمین لغزش مشاهده شده در مدل‌های آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات

ارزش اطلاعات			آنتروپی شانون			مدل	
درصد وقوع زمین لغزش	تعداد زمین لغزش	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد وقوع زمین لغزش	تعداد زمین لغزش	مساحت (کیلومتر مربع)	پهنه خطر	ردیف
۷	۱	۱۲۴/۸۷	۷	۱	۴۰۱/۷۵	خیلی کم	۱
۷	۱	۲۷۸/۰۱	۷	۱	۲۰۴/۸۰	کم	۲
۰	۰	۲۵۴/۸۹	۱۴	۲	۱۳۱/۸۹	متوسط	۳
۲۹	۴	۱۲۳/۴۴	۵۰	۷	۱۱۶/۴۵	زیاد	۴
۵۷	۸	۱۳۹/۷۹	۲۲	۳	۶۶/۱۱	خیلی زیاد	۵
۱۰۰	۱۴	۹۲۱	۱۰۰	۱۴	۹۲۱	مجموع	

یکی دیگر از عوامل مؤثر بر بروز زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه است. عامل بارندگی همواره به عنوان یکی از مهمترین عوامل شناسایی شده است (Pham et al., 2018; Tien Bui et al., 2019)

نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی حساسیت بیانگر تمرکز طبقات حساسیت زیاد و بسیار زیاد در بخش میانی منطقه است که محل عبور دو گسل اصلی منطقه، باغ‌ها و مراتع فقیر هستند. حذف پوشش گیاهی از دیگر عواملی است که در کنار فعالیت گسل‌ها باعث بروز لغزش می‌شود (Jaafari et al., 2014; Xiao et al., 2017)

اگرچه دو نقشه حاصل از دو مدل پراکنش تقریباً مشابهی

و ۱/۶۷ را به دست آوردند، حساس‌ترین مناطق به وقوع لغزش‌های آینده هستند. اثر فعالیت‌های انسانی بر افزایش احتمال وقوع زمین‌لغزش در پژوهش‌های متعددی به اثبات رسیده است (Tarantino et al., 2007). از این فعالیت‌ها می‌توان به فعالیت‌های باغداری و کشاورزی و همچنین ساخت جاده اشاره کرد (Jaafari et al., 2017; Pham et al., 2019). به طور کلی، در منطقه رودبار الموت همراه با افزایش ارتفاع از حساسیت احتمال زمین‌لغزش کم می‌شود که این موضوع بیانگر کاهش دسترسی و دخالت‌های انسانی و همچنین افزایش مقاومت واحد زمین‌شناسی در مناطق مرتفع منطقه است. مدل آنتروپی شانون نیز نشان داد که عامل بارندگی

اطلاعات در برآورد مناطق با خطر بیشتر، موفق تر از مدل آنتروپی شانون عمل کرده است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی لغزش، پهنه‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد اکثراً در غرب منطقه واقع شده‌اند. از آنجایی که مناطق با خطر زیاد تا بسیار زیاد وقوع زمین لغزش در باغ‌ها و مراتع فقیر و امتداد گسل‌های منطقه قرار دارند، باید فعالیت‌های انسانی با هدف ساخت و ساز و توسعه را در این مناطق محدود کرد.

۶- منابع و مأخذ

- ۱- اصغری کلجاهی، نمکچی، واعظی هیر؛ ابراهیم، فاطمه، عبدالرضا (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه غرب شهرستان خوی به روش آنبالاگان. جغرافیا و برنامه ریزی. ۵۶. ۱۹-۳۸
- ۲- پرتابیان، فتوحی، ریگی؛ عبدالرضا، صمد، حامد (۱۳۹۶). مقایسه کارایی پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و تراکم سطح در استان سیستان و بلوچستان. زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته. ۲۴. ۱-۱۱
- ۳- تیموری یانسری، حسین زاده، کاویان، پورقاسمی؛ زینب، سیدرضا، عطالله، حمیدرضا (۱۳۹۶). تعیین پهنه‌های حساس به وقوع لغزش با استفاده از روش آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز چهاردانگه - استان مازندران). جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۸۳-۲۰۴
- ۴- جمالی، فلاحی؛ لقمان، غلامرضا (۱۳۹۶). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبریز سیمینه رود بوکان با تلفیق مدل‌های آماری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی و سامانه اطلاعات مکانی. علوم و فنون نقشه برداری. ۱۸۵-۱۹۹
- ۵- حسن‌زاده نفوتی، چابک بلداجی، ابراهیمی خوسفی؛ محمد، مسلم، زهره. (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره مکانی (SMCE) (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شلمانرود). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۱. ۹۹-۱۱۶
- ۶- خسروی‌ان، انتظار، کرمی، ابراهیمی؛ مریم، علیرضا، مختار، مجید (۱۳۹۵). مدل‌سازی عرصه‌های حساس به

از طبقات مختلف خطر زمین لغزش ارائه دادند، اما ارزیابی دقت نقشه‌ها نشان داد که مدل ارزش اطلاعات عملکرد بهتری نسبت به مدل آنتروپی شانون داشته است. اگرچه پژوهش‌های مختلف نتایج اغلب متفاوتی را در مقایسه عملکرد مدل‌های مختلف ارائه کرده‌اند، اما به نظر می‌رسد که عملکرد مدل‌ها کاملاً وابسته به کیفیت اطلاعات مورد استفاده و وسعت منطقه مورد مطالعه است (Jaafari et al., 2017). تفاوت عملکرد مدل‌ها در مناطق مختلف از مهمترین دلایل گسترش و ادامه یافتن تحقیقات مرتبط با مدل‌سازی زمین لغزش است (Van Dao et al., 2020).

۵- نتیجه‌گیری

زمین لغزش به عنوان یک بلای طبیعی شناخته شده است که هم از نظر تلفات جانی و هم از نظر خسارات مالی یکی از مهیب‌ترین مخاطرات طبیعی در جهان محسوب می‌شود. شرایط اجتماعی، اقتصادی، افزایش مهاجرت‌ها و تمایل مردم برای اسکان در مناطقی که دارای جذابیت‌های طبیعی و شرایط اقلیمی مناسب هستند، باعث شده است بخش زیادی از جمعیت جوامع انسانی در مناطقی ساکن شوند که درباره خطرات احتمالی این مناطق هیچ گونه اطلاعی ندارند. وقوع زمین لغزش‌های متعدد در مناطق مختلف کشور همواره خسارات فراوانی را در زمینه‌های مختلف به همراه داشته است. از این رو تهیه و تدوین یک طرح جامع و کامل در زمینه مدیریت زمین لغزش و شناسایی پهنه‌های در معرض خطر برای کاهش آسیب‌های ناشی از زمین لغزش و به حداقل رساندن خسارت و کنترل آن در محیط شهری و روستایی امری ضروری است.

در این پژوهش به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه رودبار الموت از دو مدل آنتروپی شانون و ارزش اطلاعات استفاده شده است. ارزیابی صورت گرفته با استفاده از شاخص احتمال تجربی نشان می‌دهد که هر دو مدل، دارای روش‌های کارآمدی در برآورد خطر زمین لغزش در بخش رودبار الموت شرقی هستند با این حال مدل ارزش

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (۱۳۸۵)

پهنه‌بندی احتمال وقوع زمین‌لغزش با استفاده از ... / ۱۳۵

شهرستان فریدون شهر). علوم زمین. ۸۵. ۱۴۹-۱۵۸

۱۵- صفاری، محمدی؛ امیر، زکیه (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر بر رخداد زمین لغزش در ایران بر پایه دیدگاه فرا تحلیل، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، تهران، دانشگاه خوارزمی

۱۶- صفاری، هاشمی؛ امیر، معصومه (۱۳۹۵). پهنه بندی حساسیت وقوع زمین لغزش با مدل‌های آنتروپی و منطق فازی (مطالعه موردی: شهرستان کرمانشاه). جغرافیای طبیعی. ۴۳-۶۲

۱۷- طولابی، عابدینی؛ سوسن، موسی (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش حوضه نوزیان با مدل‌های همپوشانی فازی و AHP. علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۹۳-۱۰۳

۱۸- عرب عامری، رضایی، شیرانی، یمانی؛ علیرضا، خلیل، کورش، مجتبی (۱۳۹۷). تعیین عرصه‌های حساس به لغزش با استفاده از روش ترکیبی نوین آنتروپی شانون- ارزش اطلاعات (مطالعه موردی: حوضه سرخون کارون). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۹ (۱۷). ۱۳۲-۱۴۴

۱۹- کامران زاد، محصل افشار، مجرب، معماریان؛ فرناز، عماد، مسعود، حسین (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در استان تهران با استفاده از روش‌های داده محور و تحلیل سلسله مراتبی. علوم زمین. ۹۷. ۱۰۱-۱۱۴

۲۰- متولی، حسین زاده، جمشیدی صالح؛ صدرالدین، محمد مهدی، زهرا (۱۳۹۱). پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه شلمانرود گیلان به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP). ۴. ۷۵-۹۲

۲۱- مقیمی، باقری سید شکری، صفرزاد؛ ابراهیم، سجاده طاهر (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل آنتروپی (مطالعه‌ی موردی: تاق‌دیس نثار زاگرس شمال غربی). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی. ۴۴(۱)، ۷۷-۹۰

۲۲- منصوری، شیرانی، قاضی فرد، امامی؛ معصومه، کورش، اکبر، سید نعیم (۱۳۹۵). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش‌های آنتروپی و وزن شاهد (مطالعه موردی: منطقه

وقوع زمین لغزش و شناسایی عوامل مؤثر بر وقوع آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بار نیشابور). علوم جغرافیایی. ۱۵-۳۲

۷- رجبی، خسروی؛ علی محمد، حسین (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی در پهنه بندی خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله (مطالعه موردی). علوم و مهندسی زلزله. ۴. ۳۱-۴۲

۸- رضایی مقدم، نیک جو، ولی زاده کامران، بلواسی، بلواسی؛ محمد حسین، محمدرضا، خلیل، ایمانعلی، مهدی (۱۳۹۶). کاربرد مدل شبکه عصبی مصنوعی در پهنه بندی خطر زمین لغزش. جغرافیا و برنامه ریزی. ۵۹. ۸۹-۱۱۱

۹- روستایی، علیزاده؛ شهرام، راحله (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه صوفی چای (مراغه) با استفاده از روش آنالگان. فضای جغرافیایی. ۳۹. ۱۷-۳۵

۱۰- زارع، احمدی، غلامی؛ محمد، حسن، شعبانعلی (۱۳۹۰). پهنه بندی و ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های عامل اطمینان، ارزش اطلاعات و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز واز). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۷. ۱۵-۲۲

۱۱- زندی، امیراحمدی، محمدنیا؛ رحمان، ابوالقاسم، ملیحه (۱۳۹۷). استفاده از مدل آنتروپی در ارزیابی مخاطره زمین لغزش در مسیر جاده پیشنهادی طبقه- درود (مشهد- نیشابور). جغرافیا و روابط انسانی. ۱(۲). ۳۷-۵۸

۱۲- شادفر، یمانی؛ صمد، مجتبی (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRF. پژوهش‌های جغرافیایی. ۶۲. ۱۱-۲۳

۱۳- شعبانی، جوادی، زارع خوش اقبال؛ عباد، محمدرضا، مریم (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های ارزش اطلاعاتی و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شلمانرود). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز. ۱۰. ۱۵۷-۱۶۹

۱۴- شیرانی، سیف؛ کورش، عبدالله (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های آماری (منطقه پیشکوه،

- 32- Youssef, A. M., Al-Kathery, M., & Pradhan, B. (2015). Landslide susceptibility mapping at Al-Hasher area, Jizan (Saudi Arabia) using GIS-based frequency ratio and index of entropy models. *Geosciences Journal*, 19(1), 113-134.
- 33- Zhao, H., Yao, L., Mei, G., Liu, T., & Ning, Y. (2017). A Fuzzy Comprehensive Evaluation Method Based on AHP and Entropy for a Landslide Susceptibility Map. *Entropy*, 19(8), 396.
- دوآب صمصامی استان چهارمحال و بختیاری). علوم زمین. ۲۶۷-۲۸۰
- ۲۳- نصر آزادانی، قاضی فرد، شیرانی، صفایی؛ احمد، اکبر، کورش، همایون (۱۳۹۲). ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی آماری دومتغیره زمین‌لغزش، با استفاده از GIS در حوضه آبخیز دز علیا. مهندسی فناوری اطلاعات مکانی. ۱. ۶۵-۸۰
- 24- Al-Abadi, A. M. (2017). Modeling of groundwater productivity in northeastern Wasit Governorate, Iraq using frequency ratio and Shannon's entropy models. *Applied Water Science*, 7(2), 699-716.
- 25- Chen, Y., Ba, Q., Wu, Q., & Li, X. (2015, December). Landslide susceptibility evaluation based on GIS and information value model. In 2015 4th National Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering. Atlantis Press.
- 26- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H. R., Rezaeian, J., & Sattarian, A. (2014). GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11(4), 909-926.
- 27- Naghibi, S. A., Pourghasemi, H. R., Pourtaghi, Z. S., & Rezaei, A. (2015). Groundwater qanat potential mapping using frequency ratio and Shannon's entropy models in the Moghan watershed, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1), 171-186.
- 28- Shadman Roodposhti, M., Aryal, J., Shahabi, H., & Safarrad, T. (2016). Fuzzy shannon entropy: a hybrid GIS-based landslide susceptibility mapping method. *Entropy*, 18(10), 343.
- 29- Shannon, C. E. (1948). A note on the concept of entropy. *Bell System Tech. J*, 27(3), 379-423.
- 30- Yang, W., Xu, K., Lian, J., Ma, C., & Bin, L. (2018). Integrated flood vulnerability assessment approach based on TOPSIS and Shannon entropy methods. *Ecological Indicators*, 89, 269-280.
- 31- Yin, K. L. & Yan, T. Z. (1988). Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. *Proceedings of the 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, v.2, pp.1269-1272*