بخش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (سال چهارم / شماره چهارم) زمستان ۱۳۹۲
نمایه شده در سایت: پایگاه استنادی علوم جهان اسلام، جهاد دانشگاهی، مگ ایران، نورمگز
آدرس وب سایت: http://girs.iaubushehr.ac.ir

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعهٔ موردی: حوزه چم‌سنگر)

سلمان سوری [۱*]، سیامک بهاروند [۲]، طاهر فرهادی‌نژاد [۳]

۱. کارشناس ارشد زمین‌شناسی مهندسی، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی
۲. استادیار زمین‌شناسی ساختمانی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خرم آباد
۳. دکتری زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

چکیده

زمین‌لغزش یکی از مخرب‌ترین پدیده‌های طبیعت است که هر ساله باعث خسارت‌هایی به جان و اموال مردم می‌شود. بنابراین، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور توسعه فعالیت‌های آینده امری ضروری است. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه چم‌سنگر از عملگرهای منطق فازی استفاده شده است. به منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در حوزه چم‌سنگر ابتدا با استفاده از تصاویر گوگل ارث و بازدیدهای میدانی (ثبت نقاط لغزشی با استفاده از GPS) نقاط لغزشی شناسایی و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های حوزه تهیه گردیده است. سپس سطح همبستگی نقاط لغزشی و هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش شامل شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، ارتفاع، لیتولوژی، بارندگی، آبراهه و فاصله از جاده با استفاده از مدل نسبت فراوانی مشخص و مقادیر فازی با استفاده از نظرات کارشناسی و تعیین توابع عضویت برای هر یک از عوامل موثر در محیط ArcGIS®10.1 تعیین گردید. برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی عملگرهای مورد استفاده در برآورد خطر لغزش منطقه از شاخص جمع مطلوبیت (QS) استفاده شده است. نتایج نشان داد که عملگر گامای ۰/۹، با مقدار QS=۰/۵۵٤ روش کارآمدتری نسبت به عملگرهای جمع جبری فازی با QS=۰/۰٤۲ و ضرب جبری فازی با QS= ۰/۰۰۸، برای تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوزه چم‌سنگر می‌باشد. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته با عملگر گامای ۰/۹ به ترتیب ۱۳/۳۹، ٤۷/۵۸، ۳۲/۷، ۵/٤٤، ۰/۸۸٤٪ از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

مشخصات مقاله

پیشینه مقاله:
دریافت: ۲۹ آبان ۱۳۹۱
پذیرش: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۲
دسترسی اینترنتی: ۱۹ بهمن ۱۳۹۲

واژه‌های کلیدی:
زمین‌لغزش
چم‌سنگر
منطق فازی
سیستم اطلاعات جغرافیایی

* پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: soorisalman@yahoo.com

مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم طبیعی که از دیرباز با آن مواجه بوده‌ایم ناپایداری‌های دامنه‌ای است. افزایش روند توسعه شهرنشینی و استفاده بیش از حد از منابع طبیعی باعث تشدید این پدیده شده است (۲۰). بررسی پدیده ناپایداری دامنه‌ای به کمک تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از یک سو به منظور شناسایی مناطق دارای قابلیت لغزش در محدوده فعالیت‌های بشری و از سوی دیگر برای شناسایی مکان‌های امن برای توسعه زیستگاه‌های جدید و یا سایر کاربری‌های آتی انسان نظیر جاده‌ها، مسیرهای انتقال نیرو و انرژی حایز اهمیت بوده و در مقیاس‌های مختلف مورد توجه برنامه‌ریزان قرار دارد. به دلیل مساعد بودن شرایط جغرافیایی و فقدان مدیریت جامع محیطی و عدم رعایت آستانه‌های محیطی، ایران به عنوان یک کشور پرخطر به شمار می‌آید. به طوری که جزء ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (۱۲). مطالعات انجام شده توسط وزارت جهاد سازندگی که از سال ۱۳۷۲ آغاز شده است نشان می‌دهد که تعداد ۳۳۶۳ لغزش در ایران شناسایی شده و مشخصات آن‌ها ثبت گردیده است (٤) که این موضوع اهمیت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش را برای ما دو چندان می‌کند. هدف از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش تقسیم سطح زمین به پهنه‌های مجزا بر اساس درجه واقعی بروز خطر زمین‌لغزش می‌باشد. روش‌های مختلفی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ارائه شده است ولی هیچکدام قطعیت لازم را ندارند و روش‌های ارائه شده در بیشتر موارد برای مناطق خاص با در نظر گرفتن اصلاحات لازم کاربرد دارند. در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از منطق فازی استفاده شده است. تئوری فازی، شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند و هدف از ارائه آن، ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره است (۲). در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی در ایران و سایر نقاط جهان مطالعات زیادی انجام گرفته است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد. فاطمی عقدا و همکاران (۱۱) به مطالعه خطر زمین‌لغزش در منطقه رودبار واقع در استان گیلان با استفاده از منطق فازی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که تراکم زمین‌لغزش‌ها در رده‌های خطر بالا بسیار بیشتر از تراکم زمین‌لغزش در رده‌های خطر پایین است. عبادی‌نژاد و همکاران (۹) به بررسی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش در حوضه آبخیز شیرود واقع در شهرستان تنکابن استان مازندران پرداختند. نتایج به دست آمده از این بررسی نشان داد که عملگر فازی گامای ۰/۸ به عنوان مناسب‌ترین عملگر در تعیین توانمندی زمین‌لغزش‌های حوضه می‌باشد. سوری (٦) به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی در حوضه کشوری (نوژیان) واقع در استان لرستان پرداخت. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل منطق فازی با عملگر گامای ۰/۹، روش کارآمدتری نسبت به دیگر عملگرهای منطق فازی و همچنین روش شبکه عصبی مصنوعی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه مورد مطالعه می‌باشد. عبدوس و مزینی (۱۰) از روش شبکه عصبی مصنوعی برای حل مسائل تصمیم‌گیری استفاده کردند. نتایج نشان داد که این روش راه حلی ساده با کمترین حجم محاسبات ارائه می‌دهد و باعث کاهش زمان محاسبات می‌شود. چای و همکاران (۱۹) از منطق فازی به منظور تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش در کره استفاده کردند. در این تحقیق از شبکه استنتاج فازی با عملگرهای مختلف، به ویژه ترکیبی از عملگرهای اجتماع فازی و گامای فازی استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که تئوری مجموعه فازی با روش‌های کمی پهنه‌بندی و ترسیم نقشه خطر زمین‌لغزش تفاوت زیادی داشته و از انعطاف‌پذیری بیشتری نسبت به آن برخوردار است. اورگانوگلو و گوگسوگلی (۲۰) با استفاده از روابط فازی نقشه‌های توانمندی زمین‌لغزش را در غرب دریای سیاه تهیه کردند. نتایج به دست آمده از این روش نشان داد که بکار بردن روابط فازی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از سایر روش‌ها کارآمدتر است. وونگ و همکاران (۲٦) با استفاده از تئوری فازی اقدام به ارزیابی حساسیت رانش زمین در اطراف استان گوئیژو چین کردند. آن‌ها ابتدا شیب، سنگ‌شناسی، نزدیکی به خطوط تکتونیکی، آبراهه و بارش سالانه را به عنوان عوامل موثر بر وقوع رانش زمین در منطقه،

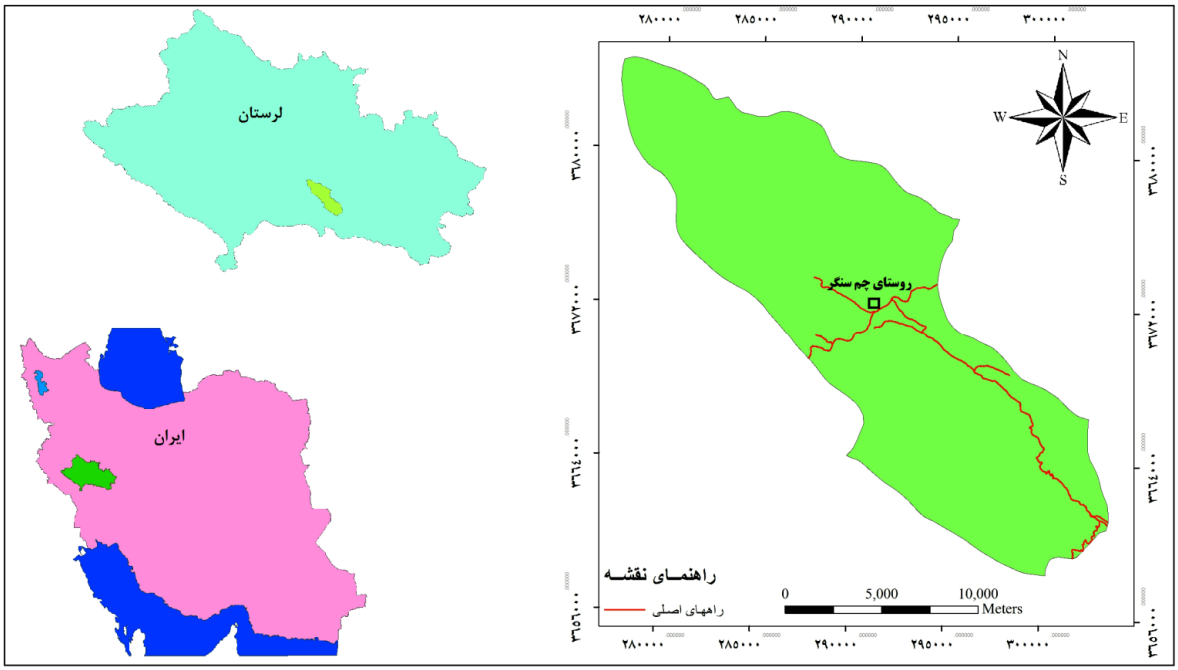
مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از اطلاعات حاصل از این عوامل به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل فازی بر اساس تابع ذوزنقه‌ای روش کارآمدی برای پهنه‌بندی رانش زمین در این منطقه است. بوی و همکاران (۱۷) به پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در استان هوابین ویتنام با استفاده از عملگرهای منطق فازی پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که تمام عملگرها نتایج معقولی ارائه دادند که از این میان عملگر جمع فازی کمترین دقت و عملگر ضرب و گاما از بیشترین دقت برخوردار بودند. ژو و همکاران (۲۷) با استفاده از منطق فازی به پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه کایژیان واقع در چین پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که منطق فازی توانایی بالایی در پیش‌بینی خطر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه را دارا می‌باشد.

این تحقیق با هدف پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه چم‌سنگر واقع در بخش پایی شهرستان خرم‌آباد صورت گرفته است. تاکنون زمین‌لغزش‌های متعددی در این حوضه آبخیز رخ داده است و این لغزش‌ها باعث ایجاد خسارت‌هایی در سطح منطقه شده است. از جمله این خسارت‌ها که ضرورت این مطالعه را نمایان می‌سازد می‌توان به افزایش بار رسوبی رودخانه منطقه، تخریب اراضی جنگلی و مرتعی و فرسایش خاک اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

حوضهٔ چم‌سنگر از توابع بخش پایی با مساحت ۲۶۲/۸۱ کیلومتر مربع در جنوب شرق شهر خرم‌آباد واقع شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی این حوضه از سطح دریا ۲۷۰۷ متر و پست‌ترین نقطه ۷۹۳ متر می‌باشد و از دیدگاه زمین‌ساختی گسترهٔ مورد بررسی در پهنه زاگرس چین‌خورده قرار دارد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوضه چم‌سنگر

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه، ۸ عامل (شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، طبقات ارتفاعی، نقشه هم‌باران، فاصله از جاده و فاصله از آبراهه) مورد بررسی قرار گرفت. نقشه هر یک از این عوامل در نرم‌افزار ArcGIS®10.1 با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی،

توپوگرافی، عکس‌های هوایی منطقه مورد مطالعه و مطالعات میدانی تهیه و از اطلاعات آن‌ها به همراه اطلاعات حاصل از نقشه پراکنش لغزش‌ها برای تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش حوضه با استفاده از عملگرهای منطق فازی استفاده شد.

روش تحقیق

نقشهٔ پراکنش زمین‌لغزش‌ها

اولین گام در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در منطقه می‌باشد. برای تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش با استفاده از عکس‌های هوایی و تصاویر گوگل ارث لغزش‌های اتفاق افتاده و مناطق مشکوک به لغزش در منطقه شناسایی شد و برای تکمیل اطلاعات و ثبت لغزش‌های جدید، بازدید صحرایی انجام شد و تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت.

عوامل مؤثر در ایجاد لغزش در منطقه

میزان شیب دامنه بررسی وضعیت شیب از آن جهت با اهمیت است که مکانیسم بسیاری از جابجایی‌های مربوط به مواد سطحی و فرآیندهای حمل، تابع میزان شیب است. با توجه به اینکه حوضه چم‌سنگر بخشی از زاگرس چین‌خورده محسوب می‌شود و تحت نیروهای فشاری قرار دارد، مقدمات ایجاد طبقات با شیب‌های مختلف در این منطقه فراهم آمده است. به منظور تهیه نقشه شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاعی استفاده گردید. مدل رقومی ارتفاعی از رقومی کردن خطوط تراز نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ لرستان در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 تهیه گردید.

زمین‌شناسی منطقه عامل سنگ‌شناسی (لیتولوژی) یک پارامتر کلیدی در وقوع زمین‌لغزش است، زیرا واحدهای مختلف لیتولوژی نسبت به فرآیندهای ژئومورفولوژیکی حساسیت متفاوتی را نشان می‌دهند (۱۸). نقشه زمین‌شناسی منطقه از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان لرستان و ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم‌آباد استفاده و واحدهای سنگ‌شناسی حوضه بر اساس جنس و سن تفکیک و تهیه گردید. طبق بررسی‌های انجام شده حوضه چم‌سنگر از لیتولوژی متنوعی برخوردار است که تأثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد (جدول ۱).

جدول۱. واحدهای سنگ‌شناسی حوضه چم‌سنگر

واحد	ویژگی
Qft2	ذخایر تراستی و مخروطه‌افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم‌ارتفاع
EMas-sb	سنگ‌های تفکیک‌نشده سازندهای شهبازان و آسماری
pd	سنگ آهک و مارن سازند پابده
EKn	کنگلومرای قرمز، ماسه‌سنگ و سیلتستون (سازند کشکان)
KEpd-gu	سنگ‌های تفکیک‌نشده سازندهای پابده و گورپی
Kbgp	گره بنگستان تفکیک‌نشده، غالباً آهک و شیل، مشتمل بر کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام

فاصله از آبراهه از جمله عواملی است که با فرسایش کنار رودخانه‌ای و بر هم زدن تعادل شیب باعث ایجاد زمین‌لغزش می‌شوند. چگونگی در نظر گرفتن این عامل در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به روش‌های گوناگون انجام می‌شود. برخی فاصله از آبراهه (۲۳)، برخی تراکم آبراهه (۳) و برخی وجود یا عدم وجود آن را در واحدها (۲۲، ۲٤ و ۲۵) در نظر گرفته‌اند. به منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 رقومی گردید.

جهت شیب معمولاً به علت تأثیری که در هوازدگی و رطوبت موجود در دامنه دارد در وقوع زمین‌لغزش‌ها نقش دارد (۵). همچنین نشان‌دهنده تأثیر متفاوت نور آفتاب (تشعشعات

خورشید)، بادهای گرم و خشک و بارش در جهت‌های مختلف می‌باشد (۲۳). در این تحقیق به منظور تهیه نقشه جهت شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده شد.

کاربری اراضی پوشش گیاهی دارای اثرات هیدرومکانیکی مثبت و منفی در پایداری دامنه‌ها می‌باشد. اثرات مثبت آن شامل مسطح نمودن خاک به وسیله تبدیل تنش برشی در خاک به مقاومت کششی توسط ریشه‌ها، کاهش رطوبت خاک به وسیله تبخیر و تعرق توسط ریشه و شاخ و برگ و ایجاد شمع مهار توسط ساقه‌ها است. مهم‌ترین اثر منفی پوشش درختی بر پایداری دامنه به وزن ظاهری درختان و خطر واژگونی یا ریشه‌کنی آن‌ها در بادها و جریانات شدید مربوط می‌گردد (۱٤). در حوضه چم‌سنگر نقشه کاربری اراضی با استفاده از عکس‌های هوایی استخراج شد.

طبقات ارتفاعی این عامل به طور غیرمستقیم تعیین‌کننده بسیاری از عوامل مسبب زمین‌لغزش مانند بارش سالانه، بارش‌های شدید و رگباری، نوع بارش، تغییرات دما، یخبندان و ذوب یخ‌ها، تخریب فیزیکی و هوازدگی شیمیایی است (۱٦). نقشه طبقات ارتفاعی خود از کلاس‌بندی نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه تهیه گردید.

فاصله از جاده در بین فعالیت‌های انسانی جاده‌سازی مهم‌ترین نقش در ایجاد لغزش‌های جدید و تحریک لغزش‌های قدیمی را دارا می‌باشد. فعالیت جاده‌سازی و ترانشه‌های ایجاد شده هندسه دامنه‌ها را تغییر داده و همچنین لرزش‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه باعث ایجاد رابطه معنی‌داری بین لغزش‌های رخ داده و تراکم جاده شده، به طوری که هر جا تراکم جاده زیاد بوده تراکم لغزش نیز زیاد است. علاوه بر تراکم جاده، جاده‌سازی غیراصولی نیز از عوامل ایجاد لغزش به شمار می‌آید. به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده، شبکه جاده از روی نقشه توپوگرافی استخراج و در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1 رقومی گردید.

بارندگی با توجه به کوهستانی بودن حوضه چم‌سنگر و به دلیل تغییرات بارش با شرایط ارتفاعی منطقه، بر اساس معادله گرادیان بارش (رابطهٔ ۱) و لایه رقومی ارتفاعی منطقه، نقشه خطوط هم‌باران منطقه تهیه و کلاس‌بندی گردید.

بارش = -۰/۰٤۱۹ × ارتفاع + ۵۰۰/۰٤ [۱]

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی

علم تصمیم‌گیری یکی از زمینه‌هایی است که به سرعت در حال رشد می‌باشد. یکی از شاخه‌های مهم علم تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیری چندمعیاره است. منطق فازی به عنوان یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره قادر است بسیاری از مفاهیم، متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم هستند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد. در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه چم‌سنگر بعد از مرحله پردازش داده‌ها که شامل طبقه‌بندی داده‌ها و استخراج نقشه‌های مشتق شده از لایه‌های مختلف است برای تعیین نسبت فراوانی هر یک از طبقات عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش، ابتدا با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی درصد پیکسل‌های لغزشی و فاقد لغزش منطقه مورد مطالعه تعیین و سپس نسبت فراوانی برای هر یک از طبقه‌های عوامل از تقسیم نسبت درصد پیکسل‌های لغزشی به درصد پیکسل‌های غیرلغزشی محاسبه گردید. جهت تولید نقشه‌های فازی با نرمال‌سازی نسبت‌های فراوانی محاسبه شده، با استفاده از توابع عضویت Fuzzy Gaussian، Fuzzy large و Fuzzy Small در محیط نرم‌افزار ArcGIS®10.1، نقشه‌های عوامل مختلف به نقشه‌های فازی تبدیل گردید. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد، بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل‌گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند مؤثر باشد. بعد از تعریف تابع عضویت با استفاده از عملگرهای جمع، ضرب و گاما نقشه‌های فازی تهیه شده همپوشانی داده شده‌اند و نقشه خطر لغزش در منطقه چم‌سنگر با استفاده از هر یک از این عملگرها تهیه شد.

عملگر ضرب جبری فازی در این اپراتور تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند. این عملگر به صورت رابطهٔ ۲ تعریف شد.

$$\mu combination(x) = \prod_{i=1}^{n} \mu(x) \qquad [۲]$$

عملگر جمع جبر فازی این اپراتور مکمل حاصل ضرب

جبر فازی است و در این مطالعه از رابطهٔ ۳ تعیین شد.

$$\mu combination(x) = 1\prod_{i=1}^{n}(1-\mu) \quad [۳]$$

عملگر گاما فازی این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت زیر تعریف شد.

$$\mu Combination = (FuzzyAlg.Sum)^{y} \times (FuzzyAlg.Product)^{1-y} \quad [٤]$$

که در آن y پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی y برابر ۱ باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتیy برابر صفر باشد ترکیب اصلی برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه y بین صفر و یک مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشد.

صحت خروجی مدل

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش توسط محققین ارائه شده است، در این تحقیق برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) (رابطهٔ ۵)، استفاده شده است (۲۱).

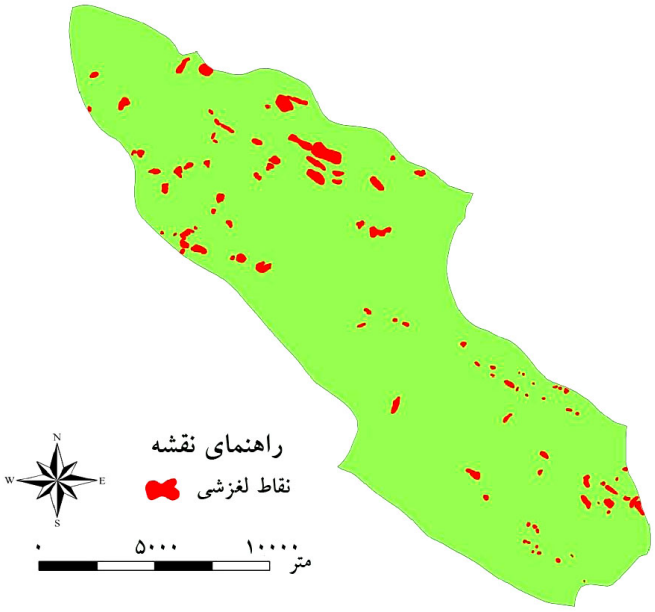
$$Qs = \sum_{i=1}^{n}(Dr-1)^2 \times \%Area \quad [۵]$$

$$Dr = \frac{\frac{Si}{Ai}}{\frac{\sum_{i}^{n} Si}{\sum_{i}^{n} Ai}} \quad [٦]$$

در این رابطه Si مساحت لغزش‌ها در هر کلاس خطر، Ai مساحت کلاس i ام و n تعداد کلاس‌ها.

نتایج و بحث

در این تحقیق به منظور تهیه نقشه خطر لغزش در حوضه چم‌سنگر ابتدا نقشه پراکنش لغزش‌ها تهیه و در کل منطقه، ۹۸ نقطه لغزشی با مساحت ٦٣٣٨٢٤٥ متر مربع در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد (شکل ۲). سپس هر یک از عوامل موثر بر لغزش‌های حوضه مورد مطالعه کلاس‌بندی (جدول ۲) و نقشه شیب (شکل ۳)، زمین‌شناسی (شکل ٤)، فاصله از آبراهه (شکل ۵)، جهت شیب (شکل ٦)، کاربری اراضی (شکل ۷)، طبقات ارتفاعی (شکل ۸)، فاصله از جاده (شکل ۹) و نقشه بارندگی (شکل ۱۰) تهیه گردید.

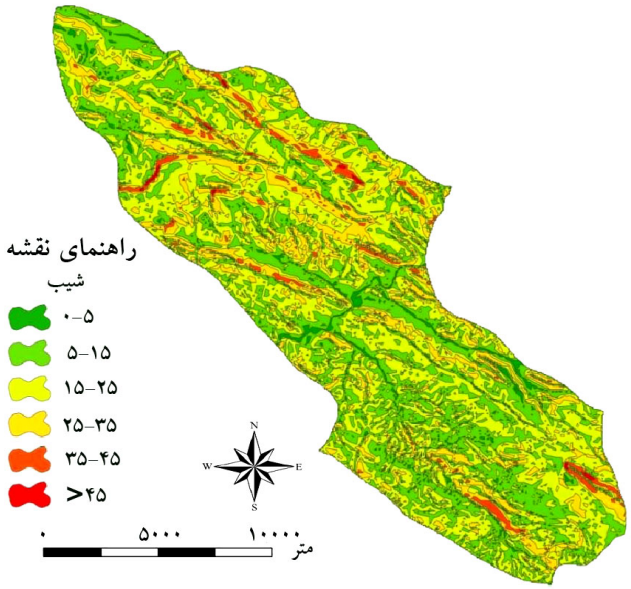


شکل ۲. نقشه پراکنش لغزش‌های حوضه چم‌سنگر

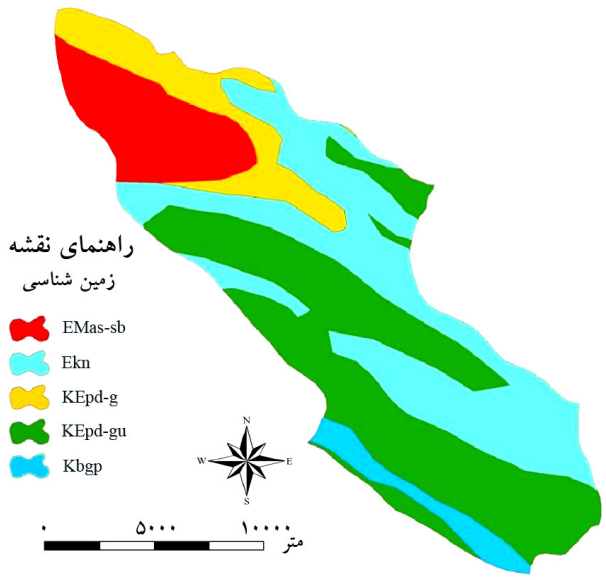
جدول۲. نسبت فراوانی هر یک از عوامل مؤثر بر لغزش در حوضه چم‌سنگر

عامل	کلاس	درصد پیکسل لغزشی	درصد پیکسل غیر لغزشی	نسبت فراوانی	مقدار نرمال‌سازی شده
شیب (۸)	۰–۵	۰/۵۱۳	۳/۶۳	۰/۱۴۱	۰/۰۱۳
	۵–۱۵	۹/۴	۳۴/۹	۰/۲۶۹	۰/۰۲۵
	۱۵–۲۵	۳۴/۸۴	۴۳/۹۹	۰/۷۹۲	۰/۰۷۴
	۲۵–۳۵	۳۸/۳۲	۱۵/۲۷	۲/۵	۰/۲۳۵
	۳۵–۴۵	۱۴/۹۷	۲/۰۱	۷/۴۴	۰/۶۹۹
	>۴۵	۱/۹۳	۰/۱۸۲	۱۰/۶۴	۱
جهت شیب (۷)	۰–۲۲/۵	۱۴/۸۵	۸/۲۱	۱/۸	۱
	۲۲/۵–۶۷/۵	۲۸/۰۹	۱۵/۹۲	۱/۷۶	۰/۹۷۵
	۶۷/۵–۱۱۲/۵	۱۲/۹۹	۹/۷۲	۱/۳۳	۰/۷۴
	۱۱۲/۵–۱۵۷/۵	۱۱/۷۳	۹/۷۱	۱/۲	۰/۶۶۷
	۱۵۷/۵–۲۰۲/۵	۱۳/۱۹	۱۵/۳۶	۰/۸۶	۰/۴۷۵
	۲۰۲/۵–۲۴۷/۵	۱۱/۴۵	۱۸/۵۸	۰/۶۱	۰/۳۴
	۲۴۷/۵–۲۹۲/۵	۳/۰۰۲	۹/۶۲	۰/۳۱	۰/۱۷۲
	۲۹۲/۵–۳۳۷/۵	۱/۷۷	۷/۷۴	۰/۲۳	۰/۱۲۶
	۳۳۷/۵–۳۶۰	۲/۸۸	۵/۱	۰/۵۶	۰/۳۱۲
زمین‌شناسی	Qft2	۱۶/۲۸	۱۲/۶۱	۱/۲۹	۰/۸۴۲
	EMas-sb	۴۲/۶۷	۳۳/۲۵	۱/۲۸	۰/۸۳۷
	pd	۱۶/۲۸	۱۰/۶۲	۱/۵۳	۱
	EKn	۲۴/۷۶	۳۹/۰۳	۰/۶۳	۰/۴۱۳
	KEpd-gu	۰	۰/۰۱	۰	۰
	Kbgp	۰	۴/۴۶	۰	۰
ارتفاع (۱۵)	۷۹۳–۱۱۰۰	۴/۷	۲۱/۱۱	۰/۲۲	۰/۰۹۱
	۱۱۰۰–۱۴۰۰	۱۴/۸۹	۳۱/۵۴	۰/۴۷	۰/۱۹۴
	۱۴۰۰–۱۷۰۰	۲۵/۴۴	۱۷/۴۳	۱/۴۶	۰/۶۰۱
	۱۷۰۰–۲۰۰۰	۲۲/۴۴	۹/۹۶	۲/۲۵	۰/۹۲۷
	۲۰۰۰–۲۳۰۰	۲۰/۹۸	۸/۴	۲/۴۲	۱
	۲۳۰۰–۲۶۰۰	۱۱/۵۳	۹/۰۳	۱/۲۷	۰/۵۲۵
	>۲۶۰۰	۰	۲/۲۸	۰	۰
کاربری اراضی	اراضی زراعی	۰/۶۵	۲/۰۲	۰/۳۲	۰/۲۷۱
	اراضی جنگلی	۱۵/۴۱	۲۱/۸۶	۰/۷	۰/۵۹۵
	اراضی صخره‌ای	۴/۳۴	۳/۶۶	۱/۱۸	۱
	اراضی مرتعی	۷۹/۵۸	۷۲/۴۴	۱/۰۹	۰/۹۲۷
آبراهه (۱)	۰–۳۰۰	۳۷/۵۳	۳۶/۴۹	۱/۰۲	۰/۸۷۷
	۳۰۰–۶۰۰	۲۸/۴۴	۲۴/۲۷	۱/۱۷	۱
	۶۰۰–۹۰۰	۱۶/۲۴	۱۷/۶۶	۰/۹۲	۰/۷۸۵
	۹۰۰–۱۲۰۰	۹/۵۶	۱۰/۶۷	۰/۸۹	۰/۷۶۴
	>۱۲۰۰	۸/۲۲	۱۰/۹	۰/۷۵	۰/۶۴۳

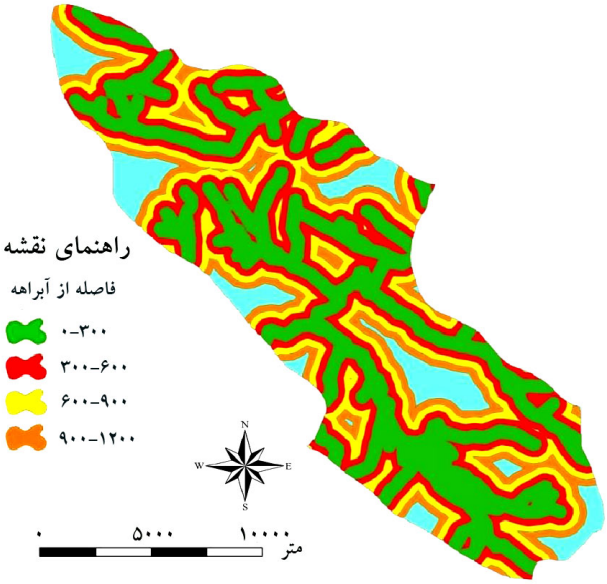
جاده (۱)	۰–۳۰۰	۵/۸۲	۹/۳۳	۰/۶۲	۰/۵۳۷
	۳۰۰–۶۰۰	۳/۳۸	۶/۵۳	۰/۵۱	۰/۴۴۶
	۶۰۰–۹۰۰	۲/۶۷	۶/۲۳	۰/۴۲	۰/۳۶۹
	۹۰۰–۱۲۰۰	۴/۰۱	۵/۴۴	۰/۷۳	۰/۶۳۴
	>۱۲۰۰	۸۴/۱	۷۲/۴۵	۱/۱۶	۱
بارندگی (۱۳)	۳۸۳–۴۰۳	۱۰/۳۹	۱۰/۷۸	۰/۹۶	۰/۴۱۳
	۴۰۳–۴۲۳	۳۳/۱۰	۱۴/۲۰	۲/۳۳	۱
	۴۲۳–۴۴۳	۳۹/۳۹	۲۶/۲۲	۱/۵۰	۰/۶۴۴
	۴۴۳–۴۶۶	۱۷/۱۰	۴۸/۷۸	۰/۳۵	۰/۱۵۰



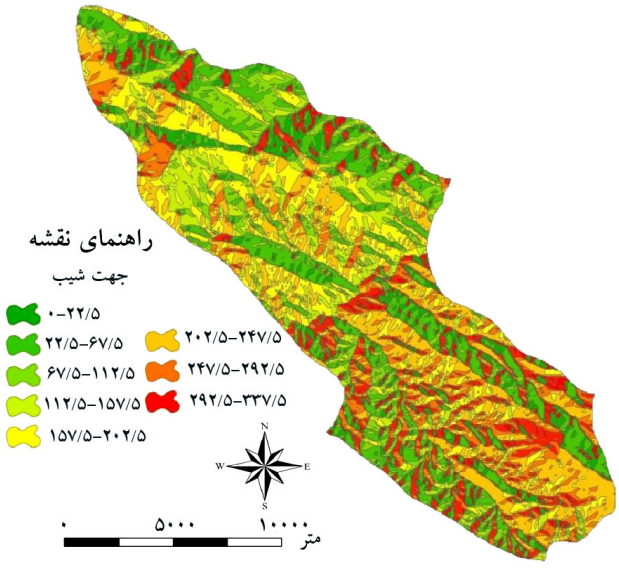
شکل۳. نقشه شیب حوضه چم‌سنگر



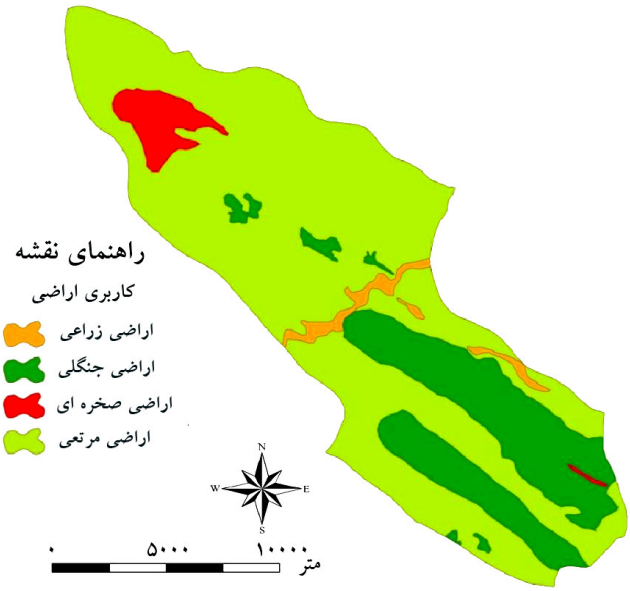
شکل۴. نقشه زمین‌شناسی حوضه چم‌سنگر



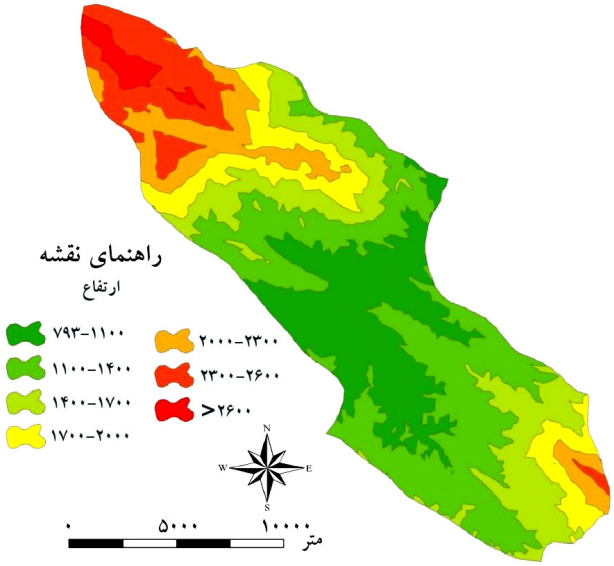
شکل۵. نقشه فاصله از آبراهه حوضه چم‌سنگر



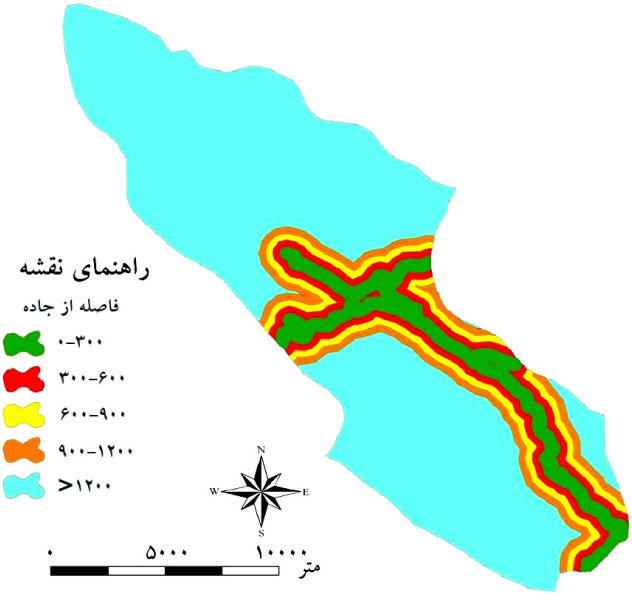
شکل۶. نقشه جهت شیب حوضه چم‌سنگر



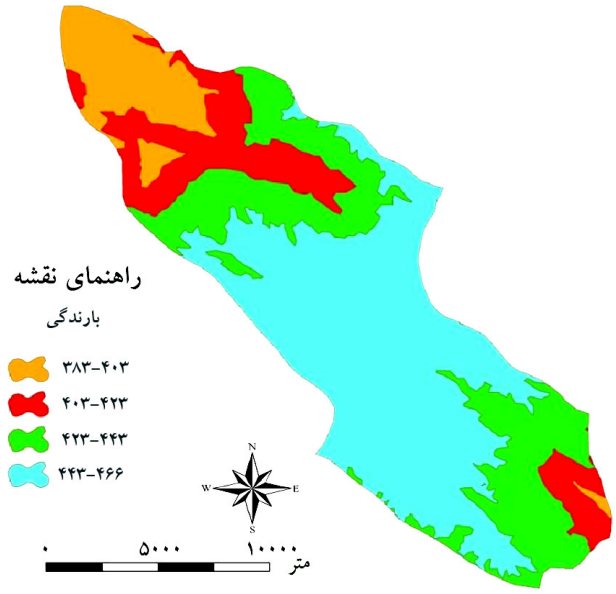
شکل۷. نقشه کاربری اراضی حوضه چم‌سنگر



شکل۸. نقشه طبقات ارتفاعی حوضه چم‌سنگر



شکل۹. نقشه فاصله از جاده حوضه چم‌سنگر



شکل۱۰. نقشه بارندگی حوضه چم‌سنگر

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگرهای فازی، نسبت فراوانی نقاط لغزشی در هر یک از کلاس‌های عوامل موثر بر لغزش محاسبه شده است (جدول ۲).

بر اساس نسبت‌های فراوانی به دست آمده و استفاده از توابع عضویت Fuzzy Gaussian، Fuzzy large و Fuzzy Small در محیط نرم‌افزار Arc Map، نقشه‌های عوامل مختلف به نقشه‌های فازی تبدیل گردیده و با استفاده از عملگرهای ضرب فازی (شکل ۱۱)، جمع فازی (شکل۱۲) و گامای فازی (شکل ۱۳) نقشه‌های فازی تمام عوامل هم‌پوشانی داده شده‌اند و نقشه خطر لغزش بر اساس هر یک از این عملگرها تهیه و به پنج کلاس خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است (جدول ۳).

بررسی خروجی هر یک از عملگرهای استفاده شده نشان می‌دهد که عملگر ضرب جبری فازی: به دلیل ماهیت اعداد بین صفر و یک که همان درجه عضویت اعضا در مجموعه

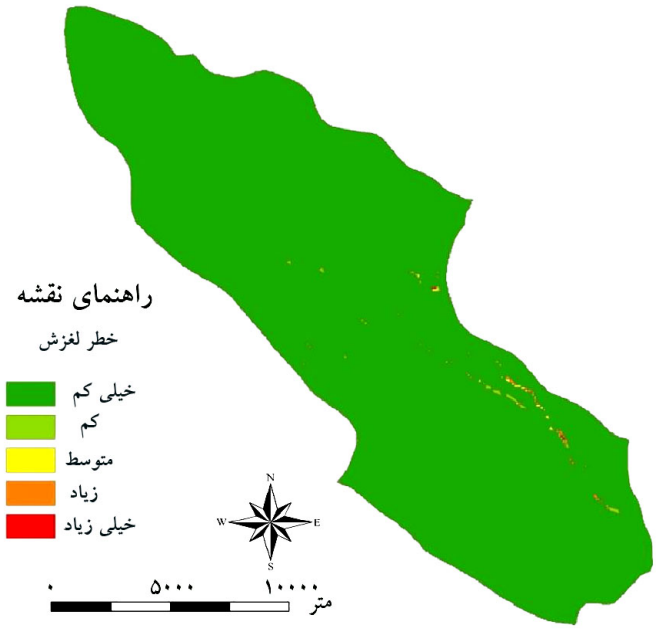
فازی می‌باشد این اپراتور باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل کنند. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور از حساسیت بالایی در پهنه‌بندی برخوردار است. عملگر جمع جبری فازی: همانطور که گفته شد این اپراتور مکمل حاصل ضرب جبر فازی است. به همین دلیل در نقشه خروجی بر خلاف اپراتور ضرب جبری فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی بالا قرار می‌گیرد.

عملگر گامای فازی: با توجه به سازگاری قابل انعطاف این عملگر میان گرایشات کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد.

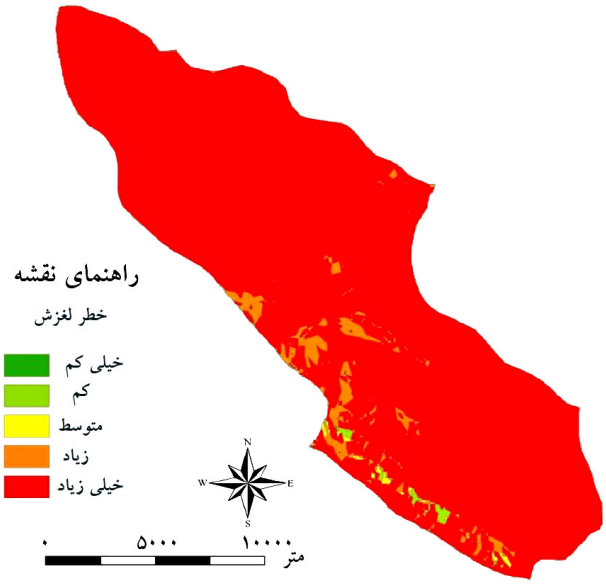
ارزیابی نتایج به دست آمده بر اساس شاخص جمع مطلوبیت (Qs) نشان می‌دهد عملگر گامای فازی (در این تحقیق از گامای ۰/۹ استفاده شده است) کارآمدترین مدل در تهیه نقشه حساسیت لغزش در حوضه مورد مطالعه می‌باشد (جدول ٤) که با نتایج حاصل از تحقیقات مرادی و همکاران (۱۵)، سوری (٦) و بوی و همکاران (۱۷) مطابقت دارد. نتایج به دست آمده از پهنه‌بندی خطر لغزش نشان می‌دهد که حدود ٤۰٪ از کل گستره منطقه در پهنه‌های خطر متوسط به بالا قرار دارند. بر این اساس در منطقه مورد مطالعه ارائه راهکارهای مناسب جهت تثبیت دامنه‌های لغزشی مهم می‌باشد؛ چون ممکن است موجب خسارت‌هایی در سطح حوضه شود.

بر اساس نتایج حاصل و بازدیدهای صحرایی، عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش به ترتیب اولویت شامل شیب، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، جهت شیب، بارندگی، ارتفاع و فاصله از جاده می‌باشند. بررسی این عوامل و ارائه راهکاری جهت کاهش و یا حذف اثرات هر کدام از این عوامل، می‌تواند تأثیر بسزایی را در کاهش زمین‌لغزش‌های منطقه داشته باشد.

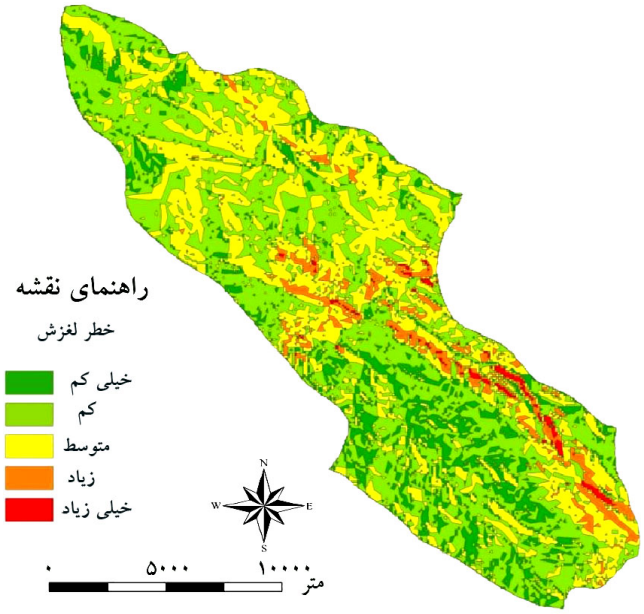
با عنایت به اینکه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ابزاری برای پیش‌بینی و احیاناً پیشگیری از وقوع زمین‌لغزش‌ها هستند، پیشنهاد می‌گردد نقشه‌های تهیه شده به منظور برنامه‌ریزی جهت هر گونه فعالیت عمرانی و کاربری اراضی توسط مسئولین مربوطه به کار گرفته شود.



شکل۱۱. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگر ضرب فازی



شکل۱۲. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگر جمع فازی



شکل۱۳. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از عملگر گامای فازی

جدول۳. نتایج پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر با استفاده از عملگرهای فازی

مدل استفاده شده	کلاس خطر	درصد مساحت
گامای فازی	خیلی کم	۱۳/۳۹
	کم	٤۷/۵۸
	متوسط	۳۲/۷
	زیاد	۵/٤٤
	خیلی زیاد	۰/۸۸٤
جمع فازی	خیلی کم	۰/۰۱۲
	کم	۰/۳۹۳
	متوسط	۰/۳۳۹
	زیاد	۳/۳۳
	خیلی زیاد	۹۵/۹۲
ضرب فازی	خیلی کم	۹۹/۵٤
	کم	۰/۲۵
	متوسط	۰/۰۹۳
	زیاد	۰/۰۹۷
	خیلی زیاد	۰/۰۱۵

جدول۴. نتایج ارزیابی عملگرهای فازی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه چم‌سنگر

مدل استفاده شده	کلاس خطر	Dr	Qs
گامای فازی	خیلی کم	۰/۱۵٦	۰/۵۵٤
	کم	۰/۵۰۹	
	متوسط	۱/۷۷	
	زیاد	۲/٦٤	
	خیلی زیاد	۱/۵۲	
جمع فازی	خیلی کم	۰	۰/۰٤۲
	کم	۰	
	متوسط	۰	
	زیاد	۰	
	خیلی زیاد	۱/۰٤۲	
ضرب فازی	خیلی کم	۰/۹۹٦	۰/۰۰۸
	کم	۲/٦۹	
	متوسط	۱/٦۹	
	زیاد	۰	
	خیلی زیاد	۰	

تشکر و قدردانی

مطالعه حاضر با حمایت مالی باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد و در قالب طرح پژوهشی با کد ۹۱۳۳۱ به انجام رسید. به موجب همکاری صمیمانه مسئولین این باشگاه، نویسندگان این مقاله مراتب تشکر و قدردانی خود را نسبت به ایشان ابراز می‌دارند.

منابع مورد استفاده

۱. احمدیان مقدم، ر. ۱۳۹۱. بررسی و پهنه‌بندی پتانسیل خطر لغزش در حوضه آبریز سد شیرین‌دره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۰٦صفحه.

۲. اشقلی فراهانی، ع. ۱۳۸۰. ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت معلم، ۱٤۱صفحه.

۳. حائری، س. م. و ا. ح. سمیعی. ۱۳۷٦. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران. علوم زمین، ٦(۲۳-۲٤): ۲-۱۵.

٤. خالدی، م.، م. ک. قاسمیان، م. مرادی و م. ح. بازیار. ۱۳۸۹. طرح پایدارسازی زمین‌لغزش با استفاده از سیستم میکروپایل (مطالعه موردی: کیلومتر ۵٦ محور یاسوج- اصفهان). همایش ملی یافته‌های نوین در مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.

۵. رضایی مقدم، م. ح.، ر. اسماعیلی و م. م. حسین‌زاده. ۱۳۸۵. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبریز لاویج‌رود (البرز شمالی). علوم انسانی و اجتماعی (تبریز)، ۲۰: ۱۵۵-۱۷٦.

٦. سوری، س. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی حوضه کشوری). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۱۲ صفحه.

۷. سوری، س.، غ. ر. لشکری‌پور، م. غفوری و ط. فرهادی‌نژاد. ۱۳۹۲. اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه نقشه خطر آن با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کشوری). نشریه زمین‌شناسی مهندسی ایران، ٦(۱-۲): ۱-۱۲.

۸. شریعت جعفری، م و ر. حامدپناه. ۱۳۸٦. پیش‌بینی خطر ناپایداری شیب‌های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی در البرز مرکزی. نشریه منابع طبیعی ایران،

۶۰(۳): ۷۴۵-۷۵۷.

۹. عبادی نژاد، س. ع.، م. یمانی، م. مقصودی و ص. شادفر. ۱۳۸۶. ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش (مطالعه موردی حوضه آبخیز شیرود). مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، ۱(۲): ۳۹-۴۴.

۱۰. عبدوس، م. و ن. مزینی. ۱۳۸۶. حل مسایل تصمیم‌گیری چندمعیاره با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، ۵(۱): ۴۷-۵۲.

۱۱. فاطمی عقدا، س. م.، ج. غیومیان، م. تشنه‌لب و ع. اشقلی فراهانی. ۱۳۸۴. بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار). مجله علوم دانشگاه تهران، ۳۱(۱): ۴۳-۶۴.

۱۲. کرم، ع. ۱۳۸۰. مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سرخون واقع در استان چهار محال بختیاری). رساله دکتری جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۳۵۴ صفحه.

۱۳. کریمی، ح.، ف. نادری، ا. مرشدی و م. نیک‌سرشت. ۱۳۹۰. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز چرداول ایلام با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS). زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی)، ۷(۴): ۳۱۹-۳۳۲.

۱۴. متشرعی، آ.، ج. قمی، ا. افتخاری، ب. پوزش و م. شاهماری. ۱۳۹۱. پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش بر روی جاده تهران-چالوس و بزرگراه در دست احداث. زمین‌شناسی ژئوتکنیک (زمین‌شناسی کاربردی)، ۸(۲): ۱۴۷-۱۵۸.

۱۵. مرادی، ح. م.، ح. ر. پورقاسمی، م. محمدی و م. ر. مهدوی‌فر. ۱۳۸۹. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از اپراتور فازی گاما (مطالعه موردی: حوضه آبخیز هراز). علوم محیطی، ۷(۴): ۱۲۹-۱۴۲.

۱۶. امجد، م. و ع. قربان‌پور. ۱۳۸۷. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوضه چرمله شهرستان سنقر استان کرمانشاه. جغرافیا و توسعه، ۶(۱۲): ۱۸۱-۱۹۸.

17. Bui DT, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB. 2012. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): A comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. CATENA, 96: 28-40.
18. Carrara A, Cardinali M, Detti R, Guzzetti F, Pasqui V, Reichenbach P. 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surface Processes and Landforms, 16(5): 427-445.
19. Chi KH, Park NW, Chung CJ. 2002. Fuzzy logic integration for landslide hazard mapping using spatial data from Boeun, Korea, Symposium on Geospatial Theory. Processing and Aplications, Ottawa.
20. Ercanoglu M, Gokceoglu C. 2004. Use of fuzzy relations to produce landslide susceptibility map of a landslide prone area (West Black Sea Region, Turkey). Engineering Geology, 75 (3-4): 229-250.
21. Gee MD. 1992. Classification of landslide hazard zoning methods and a test of predictive capability. Bell, Davi H.(ed). Proceedings 6th International Symposium on Landslides, 110-121.
22. Higgs G. 2006. Integrating multi-criteria techniques with geographical information systems in waste facility location to enhance public participation. Waste Management & Research, 24(2): 105-117.
23. Komac M. 2006. A Landslide Susceptibility Model Using the Analytical Hierarchy Process method and Multivariate Statistics in prialpine Slovenia. Geomorphology, 74: 17-28.
24. Mathew J, Jha VK, Rawat GS. 2007. Weights of evidence modelling for landslide hazard zonation mapping in part of Bhagirathi valley, Uttarakhand. Current Science, 92(5): 628-638.
25. Neaupane KM, Piantanakulchai M. 2006. Analytic network process model for landslide hazard zonation. Engineering Geology, 85(3-4): 281-294.
26. Wong W-D, Xie C-M, Du X-G. 2009. Landslides susceptibility mapping in Guizhou province based on fuzzy theory. Mining Science and Technology (China), 19(3): 399-404.
27. Zhu A-X, Wang R, Qiao J, Qin C-Z, Chen Y, Liu J, Du F, Lin Y, Zhu T. 2014. An expert knowledge - based approach to landslide susceptibility mapping using GIS and fuzzy logic. Geomorphology, 214: 128-138.

RS & GIS for Natural Resources
(Vol. 4/ Issue 4) Winter 2014
Indexed by ISC, SID, Magiran and Noormags
http://girs.iaubushehr.ac.ir

Landslide hazard zonation using Fuzzy logic (A case study: ChamSangar watershed)

S. Soori [1*], S. Bharvand [2], T. Farhadinejad [3]

1. MSc. of Engineering Geology, Young Researchers and Elite club, Khorramabd Branch, Islamic Azad University
2. Assis. Prof. Structural Geology, Islamic Azad University Khoramabad Branch
3. PhD. of Economic Geology, Islamic Azad University Science and Research Branch

ARTICLE INFO

Article history:
Received 19 November 2012
Accepted 15 May 2013
Available online 8 February 2014

Keywords:
Landslide
Chamsangar
Fuzzy logic
Geographic Information System

ABSTRACT

Landslides are one of the most destructive phenomena of nature that cause damage to both property and life every year, therefore, landslide susceptibility zonation (LSZ) is necessary for planning future developmental activities. In this study, the operator of fuzzy logic in landslide hazard zonation has been used in the Chamsangar watershed. For study the stability of slopes in the Chamsang field, in first step the sliding point and subsequent distribution maps of landslide were prepared using satellite images and field excursions (recording the sliding points by GPS). The correlation level between sliding points and each effective factor in landslide occurrence including slope, aspect, landuse, elevation, lithology, rainfall, drainage and distance to road determined using frequency ratio model. The fuzzy values prepared by expert view and the membership functions appointed for all effective factors in ArcGIS®10.1environment. The Sum of Quality (QS) index used for evaluation and deviation of operators outputs which applied in estimation of sliding risk. Results show that Gama operator 0.9 with QS=0.554 is the more suitable than Fuzzy Algebraic Sum with QS=0.042 and Fuzzy Algebraic Product with QS=0.008 for prepare the landslide risk maps in Chamsangr field. According the zoning based on the gamma operator 0.9, the 13.39, 47.58, 32.7, 5.44, and 0.884 percent of the area is located in very low, low, medium, high and very high risk classes, respectively.

* Corresponding author e-mail address: soorisalman@yahoo.com