فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال دهم، شماره ۳۵، تابستان ۹۵

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: حوضه چم‌سنگر)

سیامک بهاروند*[۱]، سلمان سوری[۲]

۱- استادیار، گروه زمین‌شناسی، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران، sbbaharvand53@gmail.com

۲- کارشناس ارشد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد خرم آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، خرم‌آباد، ایران

چکیده

پهنه بندی زمین لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی را به لحاظ پایداری شیب مشخص کرده و از نقشه‌های پهنه بندی به دست آمده در برنامه‌ریزی‌های توسعه پایدار استفاده کرد. هدف از این تحقیق تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های تراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی در حوضه آبخیز چم سنگر با مساحت ۲۶۲/۸۱ کیلومترمربع در ٤٠ کیلومتری جنوب شرق شهر خرم آباد در استان لرستان است. به منظور بررسی پایداری دامنه‌ها در این حوضه، ابتدا نقاط لغزشی با استفاده از عکس‌های هوایی و بازدیدهای میدانی مشخص و متعاقب آن نقشه پراکنش زمین‌لغزش منطقه تهیه گردید. سپس هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه از قبیل شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه در محیط نرم‌افزار ArcGIS رقومی و برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی و طبقه‌بندی نتایج خروجی مدل‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش منطقه، از شاخص جمع مطلوبیت استفاده شده است. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد مدل تراکم سطح وزنی روش کارآمدتری نسبت به مدل سلسله مراتبی فازی در تهیه نقشه خطر لغزش‌های حوضه چم سنگر می‌باشد. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته با استفاده از مدل تراکم سطح وزنی به ترتیب ۳۷/٦۱، ٤٤/٤٠، ۱۵/٤٠، ۲/۳۱، ۰/۲۷ درصد از مساحت منطقه در کلاس های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، لرستان، حوضه چم‌سنگر، تراکم سطح وزنی، سلسله مراتبی فازی

مقدمه

حدود ٤٣ خطر طبیعی در سطح زمین شناسایی شده است که بطور انفرادی یا در ترکیب با یکدیگر جان و مال افراد و برنامه‌های مدیریتی، اقتصادی و اجتماعی کشورها را تحت تاثیر قرار می دهند (Ownegh, 2002). از میان این خطرات حرکت های دامنه‌ای و بخصوص زمین‌لغزش در زمره پرخطرترین و زیانبارترین آنها بشمار می‌آیند، که همگام با افزایش تاثیر بشر در سیستم‌های طبیعی در دهه اخیر شتاب فزاینده‌ای یافته است (شادفر و یمانی، ۱۳۸۷).

در دهه ۱۹۹۰ زمین لغزش‌ها به تنهایی ۹ درصد از کل بلایای طبیعی را به خود اختصاص دادند. این آمار در کشوری مثل ترکیه ۱۸ درصد تخمین زده شد (Nefeslioglu et al., 2008). همچنین این پدیده در اکثر کشورها بخصوص کشورهای جنوب شرق آسیا یکی از پر خسارت‌ترین بلایای طبیعی است (Pradhan and Lee, 2009). بطور کلی به دلیل مساعد بودن شرایط زمین شناسی، جغرافیایی و فقدان مدیریت جامع محیط و

عدم رعایت آستانه‌های محیطی، ایران به عنوان یک کشور پر خطر به شمار می‌آید، بطوریکه از حدود ٤٣ خطر طبیعی و تا حدی با دخالت انسان، تقریباً ۳۸ خطر در ایران شناسایی و ثبت شده و به دلیل تعدد، تنوع، تکرار و شدت وقوع خطرات طبیعی و نا آرامی محیط، ایران در ردیف ۱۰ کشور بلاخیز جهان قرار گرفته است (Mohammadi, et al., 2004).

حوضه چم‌سنگر از توابع بخش پاپی در استان لرستان قرار دارد. با توجه به موقعیت جغرافیایی حوضه چم سنگر تاکنون زمین لغزش‌های متعددی در این منطقه رخ داده است و این لغزش‌ها می‌تواند باعث ایجاد خسارت‌هایی از جمله از بین رفتن زمین های زراعی، افزایش بار رسوبی رودخانه منطقه، تخریب اراضی جنگلی و مرتعی در سطح حوضه شود. هدف از تحقیق حاضر بررسی عوامل تاثیرگذار در وقوع پدیده زمین‌لغزش و در نهایت ارزیابی نقشه‌های تهیه شده خطر لغزش با استفاده از روش تراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی می‌باشد تا بتوان با تشخیص پهنه‌های خطر زمینه را برای فعالیت‌های عمرانی، انسانی و اقتصادی در حوضه مورد مطالعه آماده کرد. در زمینه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های مذکور تا کنون در ایران و سایر نقاط جهان مطالعات زیادی صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادنای علیای سمیرم (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵)، بررسی و پهنه‌بندی پتانسیل خطر لغزش در حوضه آبریز سد شیرین دره با استفاده از روش‌های سلسله مراتبی و سلسله مراتبی فازی (احمدیان مقدم، ۱۳۹۱)، بررسی و تحلیل مدل هیبرید سلسله مراتبی و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز زیارت (رحیمی نسب و همکاران، ۱۳۹۱)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل سلسله مراتبی فازی در حوضه کاکاشرف استان لرستان (بهاروند و سوری، ۱۳۹۲)، ارزیابی عوامل ژئومورفولوژیکی و زمین‌شناسی در تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی و روش تحلیل سلسله مراتبی در بخشی از حوضه آبخیز هراز (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۸)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش سلسله مراتبی در حوضه کسمت (سوری و همکاران، ۱۳۹۲)، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل‌های آماری دومتغیره و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در حوضه آردسن ترکیه (Yalcin, 2008)، پیش بینی خطر زمین لغزش با استفاده از تئوری فازی در استان هوابین ویتنام (Bui et al., 2012) و تهیه نقشه خطر زمین لغزش با استفاده از روش سلسله مراتبی در حوضه تینو در کشور نپال (Kayastha et al., 2013)، اشاره کرد.

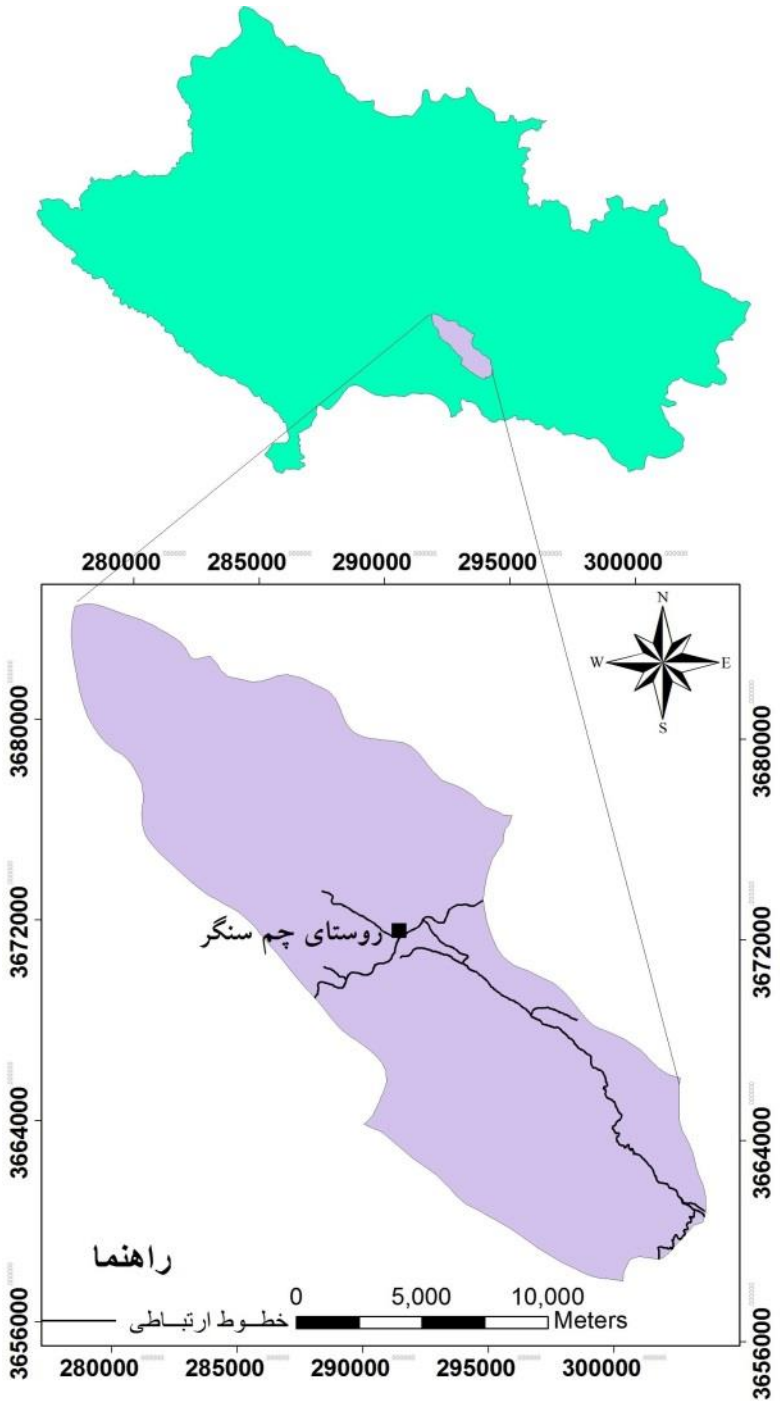
روش تحقیق

موقعیت جغرافیایی منطقه

حوضه چم سنگر از توابع بخش پاپی با مساحت ۲٦۲/۸۱ کیلومترمربع در جنوب شرق شهر خرم آباد واقع شده است (شکل ۱). بلندترین نقطه ارتفاعی این حوضه از سطح دریا ۲۷۰۷ متر و پست‌ترین نقطه ۷۹۳ متر می‌باشد.

روش جمع‌آوری اطلاعات

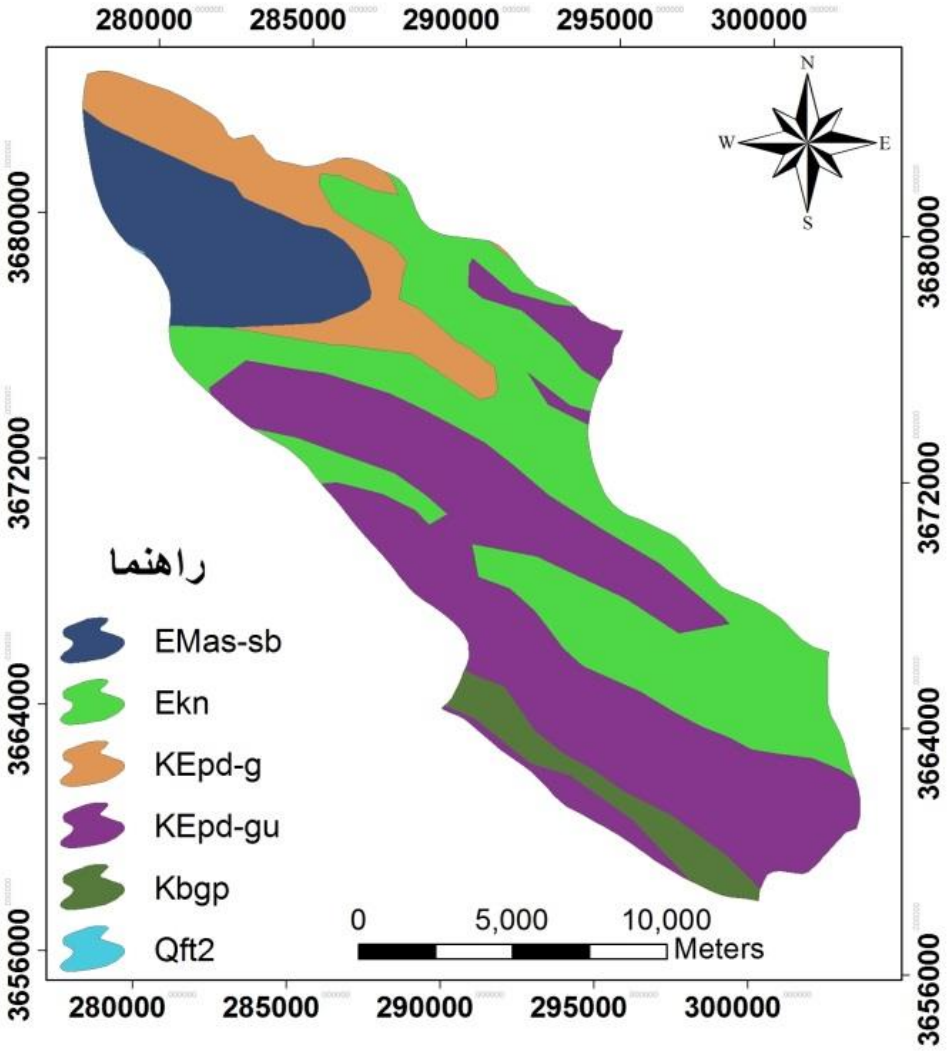
در این تحقیق ابتدا با استفاده از عکس های هوایی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه، لغزش های اتفاق افتاده و مناطق مشکوک به لغزش شناسایی شدند و از آنجا که بسیاری از لغزش‌ها به دلیل ابعاد کم یا ظاهری مشابه با دامنه‌های مجاور، در عکس‌های هوایی قابل تشخیص نیستند لذا برای تکمیل اطلاعات، تمامی لغزش‌های قابل دسترس مورد بازدید صحرایی قرار گرفت. در مرحله بعد اقدام به شناسایی و مطالعه عوامل تاثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه از جمله شیب، جهت شیب، ارتفاع، زمین‌شناسی، بارش، کاربری اراضی، فاصله از جاده و آبراهه شد و با استفاده از نقشه توپوگرافی ۱:۱۰۰۰۰۰ لرستان، نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان لرستان و ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم‌آباد، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات میدانی هر یک از عوامل مذکور به کلاسه‌هایی به شرح ذیل طبقه‌بندی و نقشه آن‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه گردید.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه چم سنگر

شیب: به منظور تهیه نقشه شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاع که از رقومی کردن خطوط تراز نقشه توپوگرافی محدوده مورد مطالعه در محیط نرم افزار Arc GIS تهیه گردید، استفاده شده است. سپس این نقشه در ٦ کلاس ٥-٠، ١٥-٥، ٢٥-١٥، ٣٥-٢٥، ٤٥-٣٥ و بیشتر از ٤٥ درجه تهیه گردید.زمین شناسی: در این تحقیق واحدهای سنگ شناسی حوضه بر اساس جنس و سن مجزا شده است. طبق بررسی نقشه‌های زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ استان لرستان، ۱:۲۵۰۰۰۰ خرم‌آباد و مطالعات میدانی؛ حوضه چم سنگر از لیتولوژی متنوعی برخوردار بوده که تاثیر بسزایی در لغزش‌های منطقه دارد (شکل ۲) (جدول ۱).

جهت شیب: در این تحقیق به منظور ارتباط بین جهت شیب و لغزش‌های رخداده نقشه جهت شیب به ۹ کلاس شمال (^{o}۲۲/۵-۰ و ۳۶۰-^{o}۳۳۷/۵)، شمال شرقی (^{o}۶۷/۵-۲۲/۵)، شرق (۶۷/۵-^{o}۱۱۲/۵)، جنوب شرقی (۱۱۲/۵-^{o}۱۵۷/۵)، جنوب (۱۵۷/۵-^{o}۲۰۲/۵)، جنوب غربی (۲۰۲/۵-^{o}۲۴۷/۵)، غرب (۲۴۷/۵-^{o}۲۹۲/۵) و شمال غربی (۲۹۲/۵-^{o}۳۳۷/۵) طبقه‌بندی گردید.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی حوضه چم سنگر

جدول ۱- واحدهای سنگ‌شناسی حوضه چم سنگر

واحد	ویژگی
Qft2	ذخایر تراستی و مخروطه افکنه های کوهپایه ای جدید کم ارتفاع
EMas-sb	سنگ های تفکیک نشده سازندهای شهبازان و آسماری
pd	سنگ آهک و مارن سازند پابده
EKn	کنگلومرای قرمز، ماسه سنگ و سیلتستون (سازند کشکان)
KEpd-gu	سنگ های تفکیک نشده سازندهای پابده و گورپی
Kbgp	گره بنگستان تفکیک نشده، غالباً آهک و شیل، مشتمل بر کژدمی، سروک، سورگاه و ایلام

کاربری اراضی: در حوضه چم سنگر نقشه کاربری اراضی از عکس‌های هوایی استخراج و با مطالعات میدانی تکمیل شده است. بر اساس مطالعه صورت گرفته کاربری‌های اراضی زراعی، اراضی جنگلی، اراضی صخره‌ای و اراضی مرتعی در منطقه شناسایی شد.

طبقات ارتفاعی: نقشه طبقات ارتفاعی خود از کلاس بندی نقشه DEM منطقه تهیه شده است و به منظور بیان ارتباط بین عامل ارتفاع و زمین‌لغزش‌های رخداده در منطقه، نقشه طبقات ارتفاعی به ۷ کلاس ۱۱۰۰-۷۹۳، ۱۴۰۰-۱۱۰۰، ۱۷۰۰-۱۴۰۰، ۲۰۰-۱۷۰۰، ۲۳۰۰-۲۰۰۰، ۲۶۰۰-۲۳۰۰ و بیشتر از ۲۶۰۰ متر طبقه بندی شده است.

بارش: با توجه به کوهستانی بودن حوضه چم سنگر و به دلیل تغییرات بارش با شرایط ارتفاعی منطقه، بر اساس معادله گرادیان بارش و لایه رقومی ارتفاعی منطقه، نقشه خطوط هم باران منطقه تهیه و کلاس بندی گردید. بر اساس نتایج به دست آمده نقشه هم باران منطقه به ٤ کلاس ۴۰۳-۳۸۳، ۴۲۳-۴۰۳، ۴۴۳-۴۲۳ و ٤٦٦-٤٤٣ میلیمتر تقسیم بندی شد.

آبراهه: به منظور تهیه نقشه حریم فاصله از آبراهه، شبکه آبراهه از روی نقشه توپوگرافی مشخص و در محیط نرم افزار GIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل ۰-۳۰۰، ۳۰۰-۶۰۰، ۶۰۰-۹۰۰، ۹۰۰-۱۲۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰ متر تقسیم و به منظور بیان ارتباط بین خطر زمین‌لغزش و حریم فاصله از آبراهه به‌کار گرفته شد

جاده: به منظور تهیه نقشه فاصله از جاده، شبکه جاده از روی نقشه توپوگرافی استخراج و در محیط نرم افزار GIS رقومی گردید. سپس نقشه مورد نظر به ۵ کلاس با فواصل ۰-۳۰۰، ۳۰۰-۶۰۰، ۶۰۰-۹۰۰، ۹۰۰-۱۲۰۰ و بیشتر از ۱۲۰۰ متر تقسیم شد.

روش‌های استفاده شده در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

در این تحقیق به منظور اولویت‌بندی عوامل موثر بر لغزش از روش تحلیل سلسله مراتبی و برای پهنه‌بندی خطر وقوع لغزش از روش‌های تراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی استفاده شده است.

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یک روش نیمه کمی در مطالعه زمین لغزش است که شامل یک ماتریس وزن‌دهی بر مبنای مقایسات زوجی بین عوامل بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل را در وقوع زمین‌لغزش مشخص می‌کند (Ayalew, 2005). از مزایای این روش این است که اعمال نظر کارشناسی توسط افراد را تا حد زیادی آسان‌تر کرده و احتمال خطا را کاهش می‌دهد. همچنین در این روش می‌توان تعداد زیادی از عوامل را دخالت داد و با استفاده از نظر کارشناسی وزن هر عامل را به دست آورد.

در مدل‌های آماری؛ رابطه‌ی پارامترهای موثر در وقوع لغزش با پراکندگی زمین‌لغزش‌ها مورد سنجش و ارزیابی است و با توجه به اینکه تجزیه و تحلیل‌ها بر مبنای نقشه

پراکنش لغزش‌ها صورت می‌گیرد این مدل‌ها از دقت نسبتاً بالایی در پهنه‌بندی خطر لغزش برخوردارند.

با توجه به اینکه بسیاری از معیارهـا در پهنـه‌بنـدی خطـر زمین‌لغزش ذاتاً کیفی و ذهنی بوده و برای تصمیم گیرنـده اختصاص یک عدد کمی مطلق و قطعی برای ارزیابی آنهـا غیر ممکن است، از طرفی به علت وجود مقیاس نامتقـارن در قضاوت‌ها و نادقیق بـودن مقایسـات زوجـی؛ تصـمیم گیرندگان استفاده از اعداد فاصله‌ای یا فـازی را بـه جـای اعداد ثابت ترجیح می‌دهند. بر همین اساس روش تحلیـل سلسله مراتبی فازی تعریـف و گسـترش یافـت و در ایـن مطالعه در کنار روش تراکم سطح وزنـی اسـتفاده و مـورد ارزیابی قرار گرفته است.

اولویت بندی عوامل موثر بر لغزش

پس از تهیه و تحلیل تمامی لایه‌های اطلاعاتی منطقه با استفاده از نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ArcGIS) عوامل موثر بر لغزش اولویت‌بندی؛ و مشخص شد که کدام عوامل تاثیر بیشتری بر لغزش‌های حوضه چم‌سنگر دارند. در تحلیل سلسله مراتبی روش کار بدین صورت است که ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمی از قضاوت‌های شفاهی (نظر کارشناسی) بر مبنای مقایسات زوجی استفاده می‌شود، به طوری که تصمیم گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به صورت جدول ۲ در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ الی ۹ تبدیل می‌نماید. سپس نتایج این مقایسات، برای محاسبه شاخص ناسازگاری به نرم‌افزار Expert Choice وارد می‌شود. اگر شاخص محاسبه شده کمتر از ۰/۱ باشد نتایج قابل قبول بوده و در غیر این صورت باید دوباره در وزن‌دهی تجدید نظر شود.

پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌هـای تـراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی

برای پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آماری دومتغیره تراکم سطح وزنی، علاوه بر لایه های اطلاعاتی عوامل کلیدی موثر در وقوع این پدیده، نیاز به نقشه

جدول ۲- طبقه‌بندی ارجحیت مقادیر وزن‌ها بر اساس قضاوت کارشناسی (Saaty and Vargas, 2001)

توصیف زبانی ارجحیت طبقات	مقدار عددی وزن‌ها
کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب تر	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت یا مطلوبیت قوی	۵
کمی مطلوب تر یا کمی مهم تر	۳
اهمیت یا مطلوبیت یکسان	۱
اولویت بین فواصل	۲، ٤، ٦ و ۸

پراکنش زمین لغزش ها نیز می‌باشد. برای پهنه‌بندی خطـر لغزش بر اساس این روش ابتدا نقشه هـر یـک از عوامـل هشت گانه با نقشه پراکنش زمین لغزش‌های حوضه قطع داده شد و مساحت و درصد زمین لغزش در هر طبقـه از نقشه‌ی عوامل موثر بر لغزش محاسبه گردیـد. سـپس بـا استفاده از معادله مدل تراکم سطح (معادلـه ۱)، نـرخ هـر طبقه محاسبه و بر اساس آنها نقشه تراکم سطح عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. سپس هر یک از نقشه‌ها در وزن عوامل هشت گانـه کـه بـا اسـتفاده از تکنیک تحلیـل سلسـله مراتبـی و مقایسـه هـای زوجـی محاسبه شد؛ ضرب می‌شود. در نهایت نقشه خطر از تلفیق نقشه عوامل بر اساس نرخ و وزن تهیه شده و بـر اسـاس نقـاط عطـف منحنـی فراوانـی تجمعـی پیکسـل هـا، کلاسه‌بندی گردیده است.

$$W_{area} = 1000\left(\frac{A}{B}\right) - 1000\left(\frac{C}{D}\right)$$ رابطه (۱)

در مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی با ترکیب روش‌های سلسله مراتبی و فازی به پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه چم‌سنگر پرداخته شده است. بدین‌منظور نقشه تمام عوامل با استفاده از توابع عضویت

فازی در نرم‌افزار GIS استانداردسازی گردید. به موازات این کار وزن هر یک از معیارها که از روش سلسله مراتبی محاسبه گردیده بود در نقشه‌های استانداردسازی شده عوامل ضرب گردید. در مرحله استنتاج فازی که در حقیقت استفاده از عملگرهای مختلف به منظور تلفیق نقشه‌ها می‌باشد از عملگر گاما استفاده شده است. عملگر گاما بر حسب حاصل ضرب جبر فازی و حاصل جمع جبری فازی به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

رابطه (۲)

$$\text{Combination} = (\text{Fuzzy A lg .Sum})^{y} \mu^{*}(\text{Fuzzy A lg .Pr oduct})^{1-y}$$

که در آن y پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است. وقتی y برابر ۱ باشد ترکیب جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی y=0 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 نشان دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایشات کاهشی و افزایشی دو عملگر جمع و ضرب فازی می‌باشند. نتایج به دست آمده از این عملگر نسبت به سایر عملگرها از دقت بیشتری برخوردار می‌باشد.

در این تحقیق از عملگر گامای ۰/۹ به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه استفاده شده است.

ارزیابی مدل‌های استفاده شده

روش‌های مختلفی برای ارزیابی مدل‌های پهنه بندی خطر زمین لغزش توسط محققین ارائه شده است، در این تحقیق برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر یک از روش‌های استفاده شده از نسبت تراکم (Dr) و برای ارزیابی و طبقه بندی نتایج خروجی روش‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) (Gee, 1992) (رابطه ۳) استفاده شده است.

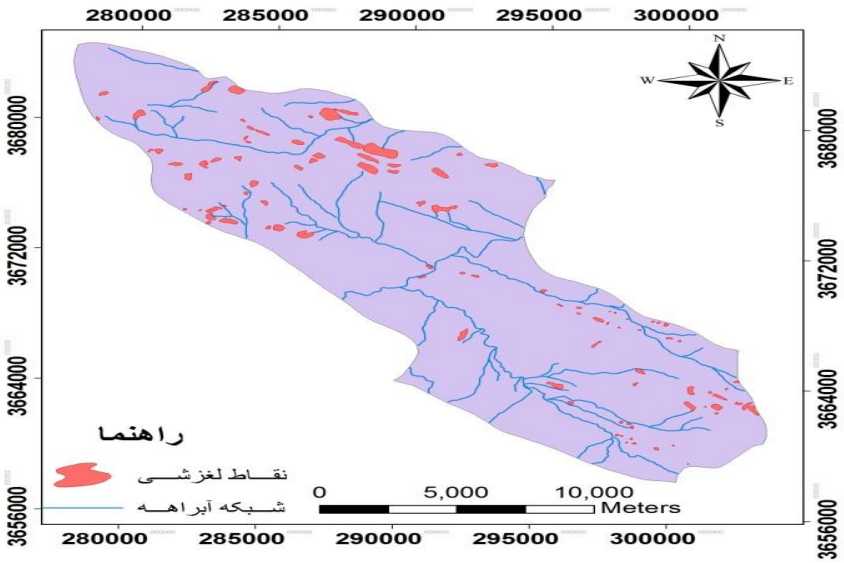
رابطه (۳)

$$Qs = \sum_{i=1}^{n} (Dr - 1)^2 * \%Area$$

رابطه (٤)

$$Dr = \frac{S_i}{A_i} \Big/ \frac{\sum_i^n S_i}{\sum_i^n A_i}$$

Si: مساحت لغزش ها در هر کلاس خطر، Ai: مساحت کلاس i ام، n: تعداد کلاس‌ها



شکل ۳- نقشه نقاط لغزشی حوضه چم‌سنگر

نتایج

بررسی عوامل موثر بر لغزش

در این تحقیق ابتدا نقشه نقاط لغزشی تهیه گردیده است و در کل ۹۸ نقطه لغزشی با مساحت ٦٣٣٨٢٤٥ متر مربع در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد (شکل ۳). برای بررسی ارتباط عوامل تاثیر گذار بر وقوع زمین‌لغزش در حوضه چم‌سنگر بعد از تهیه نقشه عوامل موثر بر لغزش، با قطع دادن نقشه هر یک از آنها با نقشه نقاط لغزشی منطقه، با استفاده از روش تراکم سطح پراکندگی نقاط بررسی آبراهه های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین تراکم لغزش در فواصل نزدیک به آبراهه‌ها قرار دارد و با دور شدن از آبراهه‌ها تراکم کمتر می‌شود.

بررسی طبقات کاربری اراضی نشان می‌دهد بیشترین تراکم لغزش در اراضی صخره‌ای و مرتعی قرار دارد.

نتایج بررسی کلاس‌های جهت شیب نشان می‌دهد بیشترین تراکم لغزش در جهت ۲۲/۵-۰ درجه و کمترین تراکم در کلاس ۳۳۷/۵-۲۹۲/۵ واقع شده است.

بررسی طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد بیشترین تراکم لغزش در کلاس ۲۳۰۰-۲۰۰۰ متر از سطح دریا قرار دارد و در کلاس بیشتر از ۲٦۰۰ متر تراکم به صفر می‌رسد.

بررسی طبقات بارندگی و فاصله از جاده‌های منطقه نشان می‌دهد که بیشترین تراکم لغزش به ترتیب در طبقات با لغزشی نسبت به این عوامل در محیط نرم افزار ArcGIS محاسبه شد (جداول ۳ تا ۱۰) و نتایجی به شرح زیر حاصل گردیده است:

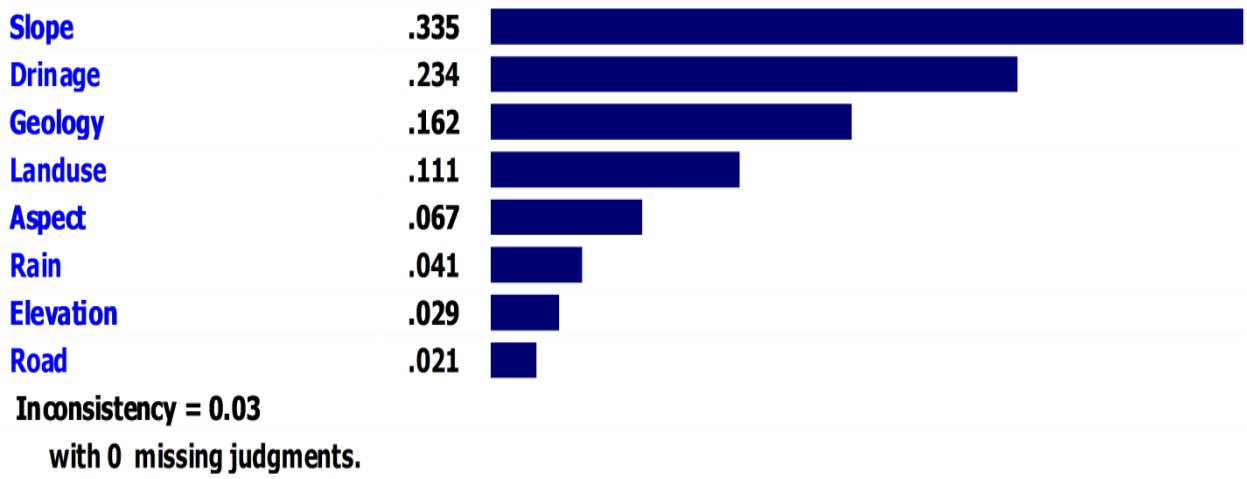
نتایج بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد هرچند بیشترین درصد لغزش‌ها مربوط به شیب ۳۵-۲۵ درجه است اما بیشترین تراکم لغزش در شیب بیشتر از ٤٥ درجه و کمترین تراکم در شیب ۵-۰ درجه واقع شده است.

نتایج بررسی زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد بیشترین تراکم لغزش در سازنده پابده قرار دارد.

بارندگی کم و فواصل بیشتر از جاده وجود دارد که تاثیر کمتر این عوامل را در ایجاد لغزش‌های حوضه چم‌سنگر را نشان می‌دهد.

اولویت بندی عوامل موثر بر لغزش

برای اولویت بندی و محاسبه وزن هر یک از عوامل موثر بر لغزش در حوضه چم سنگر نتایج حاصل از مقایسات زوجی به نرم‌افزار Expert Choice انتقال داده شد. نتایج به دست آمده از محاسبه ضریب ناسازگاری این مقایسات نشان داد که مقایسه عوامل به درستی صورت گرفته است و با محاسبه کردن وزن هر یک از عوامل به وسیله این نرم افزار، عوامل اولویت‌بندی شدند (شکل ٤).



شکل ٤- اولویت‌بندی عوامل موثر بر خطر زمین‌لغزش در حوضه چم سنگر بر اساس قضاوت کارشناسی

پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش‌های تراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی

به منظور پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از روش‌های تراکم سطح وزنی نرخ طبقات مختلف با استفاده از رابطه ۱ محاسبه (جداول ۳ تا ۱۰) و نقشه تهیه شده هر یک از عوامل بر اساس نرخ‌های به دست آمده از روش تراکم سطح در وزن عوامل به دست آمده از مدل سلسله مراتبی (شکل ٤) ضرب و با جمع جبری تمام نقشه‌ها، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر تهیه شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد به ترتیب ۳۷/٦۱، ٤٤/٤۰، ۱۵/٤۰، ۲/۳۱، ۰/۲۷ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است.در روش سلسله مراتبی فازی ابتدا وزن طبقات هر یک از عوامل موثر که بر لغزش بر اساس مقایسات زوجی محاسبه شد (شکل ٤) در نقشه فازی هر یک از عوامل ضرب گردیده است. باتوجه به شکل ٤ که وزن محاسبه شده توسط نرم افزار برای هر یک از معیارها را نشان می‌دهد، ضریب ناسازگاری برابر ۰/۰۳ محاسبه شد که این مقدار از ۰/۱ کمتر بوده که نشان از درستی مقایسات زوجی انجام گرفته دارد.بعد از تهیه نقشه عوامل بر اساس اوزان سلسله مراتبی و توابع عضویت فازی؛ وارد مرحله استنتاج فازی می‌شویم. در این تحقیق در مرحله استنتاج فازی از عملگر گاما استفاده شده است (شکل ٦) (جدول ۱۱).

جدول ۳- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل شیب

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
۵-۰	۳۷۲٦	۱۳	-۲۰/٦٦
۱۵-۵	۳۵۹۳۵	۲۳۸	-۱۷/۵۳
۲۵-۱۵	٤۵۸٦۸	۸۸۲	-٤/۹۲
۳۵-۲۵	۱٦۵۹۲	۹۷۰	۳٤/۳
٤۵-۳۵	۲٤۳۵	۳۷۹	۱۳۱/٤۹
٤۵<	۲۳۵	٤۹	۱۸٤/۳۵

جدول ٤- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل زمین‌شناسی (لیتولوژی)

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
EMas-sb	۱۳۳۲۳	٤۱۲	٦/۷۷
EKn	۳۵۰۵٦	۱۰۸۰	٦/٦۵
pd	۱۱۲٦۲	٤۱۲	۱۲/٤۳
KEpd-gu	٤۰۵۸٤	٦۲۷	-۸/۷
Kbgp	۱۰۲۳	۰	-۲٤/۱۵
Qft2	۳۵٤۳	۰	-۲٤/۱۵

جدول ۵- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل جهت شیب دامنه

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
۲۲/۵-۰	۸۷۷٦	۳۷٦	۱۸/٦۹
٦۷/۵-۲۲/۵	۱٦۹۹٦	۷۱۱	۱۷/٦۸
۱۱۲/۵-٦۷/۵	۱۰۲۷۱	۳۲۹	۷/۸۸
۱۵۷/۵-۱۱۲/۵	۱۰۲۳۱	۲۹۷	٤/۸۷
۲۰۲/۵-۱۵۷/۵	۱٦۰٤۲	۳۳٤	-۳/۳۳
۲٤۷/۵-۲۰۲/۵	۱۹۲۹۵	۲۹۰	-۹/۱۲
۲۹۲/۵-۲٤۷/۵	۹۹۲۱	۷٦	-۱٦/٤۹
۳۳۷/۵-۲۹۲/۵	۷۹٦۸	٤۵	-۱۸/۵
۳٦۰-۳۳۷/۵	۵۲۹۱	۷۳	-۱۰/۳۵

جدول ٦- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل فاصله از آبراهه

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
۳۰۰-۰	۳۸۲۸۰	۹۵۰	۰/٦٦
٦۰۰-۳۰۰	۲۵۵٤۲	۷۲۰	٤/۰۳
۹۰۰-٦۰۰	۱۸٤۳۵	٤۱۱	-۱/۸٦
۱۲۰۰-۹۰۰	۱۱۱٤۱	۲٤۲	-۲/٤۳
۱۲۰۰<	۱۱۳۹۳	۲۰۸	-۵/۸۹

جدول ۷- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل کاربری اراضی

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
AL	۲۱۲۷	۱٦	-۱٦/٦۳
F	۲۲۷۵۳	۳۹۰	-۷/۰۱
R	۳۸٤٤	۱۱۰	٤/٤٦
RL	۷٦۰٦۷	۲۰۱۵	۲/۳۳

جدول ۸- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل طبقات ارتفاعی

رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
۱۱۰۰-۷۹۳	۲۱۷۱۱	۱۱۹	-۱۸/٦۷
۱٤۰۰-۱۱۰۰	۳۲٦۲۸	۳۷۷	-۱۲/۵۹
۱۷۰۰-۱٤۰۰	۱۸٤٦۷	٦٤٤	۱۰/۷۲
۲۰۰۰-۱۷۰۰	۱۰۷۵٤	۵٦۸	۲۸/٦٦
۲۳۰۰-۲۰۰۰	۹۳٦٦	۵۳۱	۳۲/۵٤
۲٦۰۰-۲۳۰۰	۹۵۳۱	۲۹۲	٦/٤۸
۲٦۰۰<	۲۳۳٤	۰	-۲٤/۱۵

جدول ۹- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل بارندگی

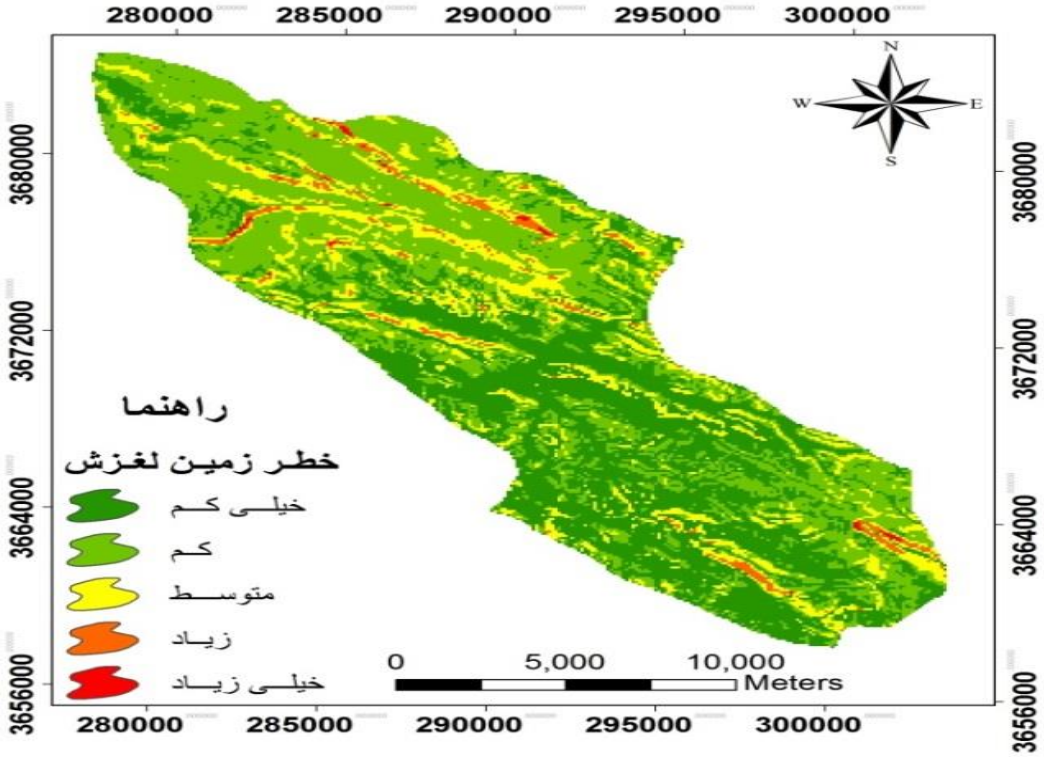
رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
٤۰۳-۳۸۳	۱۱۲۹۰	۲٦۳	-۰/۸۵
٤۲۳-٤۰۳	۱۵۳۵۹	۸۳۸	۳۰/٤
٤٤۳-٤۲۳	۲۷۸۱۸	۹۹۷	۱۱/٦۸
٤٦٦-٤٤۳	۵۰۳۲٤	٤۳۳	-۱۵/۵٤

جدول ۱۰- نتایج به‌دست آمده از بررسی عامل فاصله از جاده

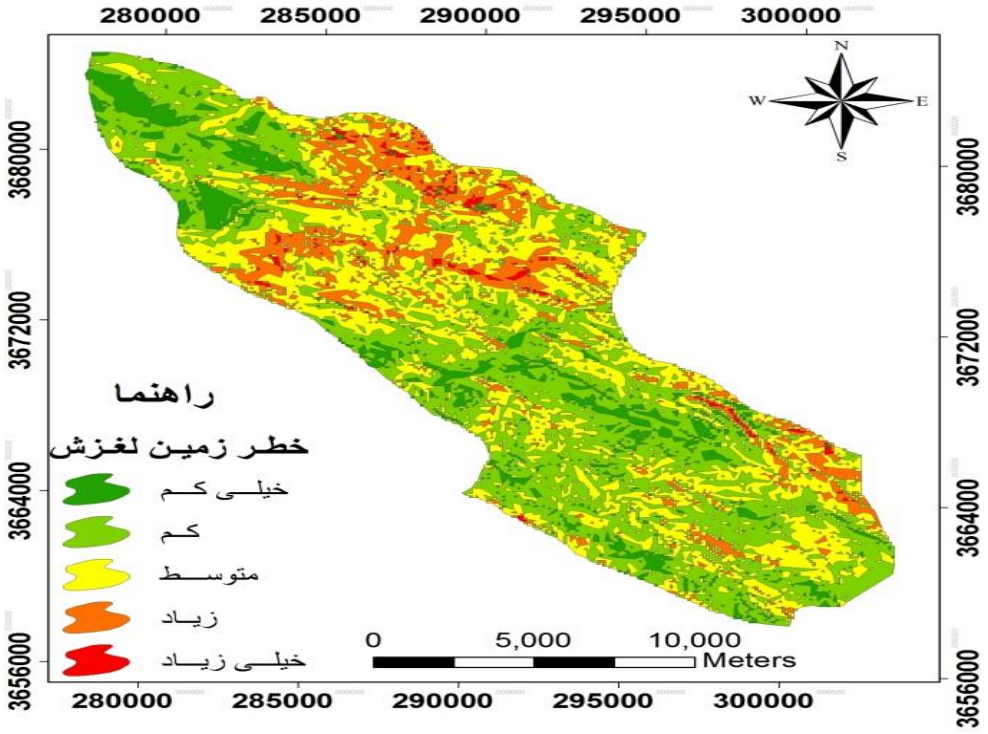
رده کلاس	تعداد پیکسل‌های هر کلاس	تعداد پیکسل‌های لغزشی در هر کلاس	وزن مدل تراکم سطح
۳۰۰-۰	۹٦۹۳	۱٤۸	-۸/۸۸
٦۰۰-۳۰۰	٦۷٦۲	۸٦	-۱۱/٤۳
۹۰۰-٦۰۰	٦٤۳۱	٦۸	-۱۳/۵۸
۱۲۰۰-۹۰۰	۵٦۷۹	۱۰۲	-٦/۱۹
۱۲۰۰<	۷٦۲۲٦	۲۱۲۷	۳/۷۵

جدول ۱۱- نتایج به دست آمده از پهنه بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم سنگر با استفاده از روش سلسله مراتبی فازی

مدل استفاده شده	کلاس خطر	درصد مساحت
گامای فازی	خیلی کم	۹/۸
	کم	٤۰/۱۸
	متوسط	۳۵/٤٦
	زیاد	۱۳/۲۲
	خیلی زیاد	۱/۳٤



شکل ۵- نقشه پهنه بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تراکم سطح وزنی



شکل ٦- نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس روش سلسله مراتبی فازی

ارزیابی مدل‌های استفاده شده

در این تحقیق برای ارزیابی و مقایسه دقت بین پهنه‌ها یا رده‌های خطر در هر یک از روش‌های استفاده شده از نسبت تراکم (Dr) و برای ارزیابی و طبقه بندی نتایج خروجی روش‌های مورد استفاده در برآورد خطر لغزش از شاخص جمع مطلوبیت (Qs) استفاده شد (جدول ۱۲).

جدول ۱۲ نتایج به دست آمده از ارزیابی مدل‌های استفاده شده در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر

مدل استفاده شده	کلاس خطر	Dr	Qs
تراکم سطح وزنی	خیلی کم	۰/۱۷	۱/٤۰
	کم	۰/۸۸	
	متوسط	۲/٤۱	
	زیاد	٦/٤۳	
	خیلی زیاد	۸/٥٤	
سلسله مراتبی فازی (گاما)	خیلی کم	۰/٥۸۲	۰/٦٦۷
	کم	۰/٤٥۸	
	متوسط	۰/۹۸۱	
	زیاد	۲/٦۹	
	خیلی زیاد	٤/٥۲	

نتیجه‌گیری

در این تحقیق برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه ۸ عامل مورد بررسی قرار گرفته است. این عوامل شامل شیب، آبراهه، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، جهت شیب، بارش، ارتفاع و فاصله از جاده می‌باشند. بررسی عوامل موثر بر لغزش بر اساس قضاوت کارشناسی و در محیط نرم‌افزار Expert Choice انجام شده است. در تحلیل وزن عوامل بر اساس قضاوت کارشناسی هرچه وزن عاملی بیشتر باشد نشان دهنده اثرگذاری بیشتر آن عامل بر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. نتایج به دست آمده بیانگر این موضوع بود که به ترتیب سه عامل شیب، آبراهه و زمین‌شناسی با اوزان ۰/۳۳٥، ۰/۲۳٤ و ۰/۱٦۲ از مهمترین عوامل موثر در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های حوضه بوده و عوامل دیگر با توجه به وزن‌های بدست آمده به ترتیب کاربری اراضی، جهت شیب، بارندگی، ارتفاع و فاصله از جاده می باشند. نتایج بررسی طبقات مهمترین عوامل موثر بر لغزش‌های حوضه چم‌سنگر با استفاده از مدل تراکم سطح نشان می‌دهد:

بررسی کلاس‌های شیب نشان می‌دهد به دلیل وجود ریزش‌های سنگی بیشترین حساسیت نسبت به لغزش‌های رخ داده در منطقه در شیب بیشتر از ٤٥ درجه اتفاق افتاده است. در شیب‌های خیلی پایین به دلیل کاهش نیروی ثقل حساسیت کمتر می‌شود.

بررسی نتایج به دست آمده از زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که سازند پابده از بیشترین حساسیت در مقابل لغزش برخوردار است که علت آن را می‌توان به حساسیت لیتولوژی مارن (دارای قابلیت جذب آب) نسبت داد.

نتایج به دست آمده از بررسی نقشه پراکندگی زمین لغزش‌ها نسبت به آبراهه‌ها نشان می‌دهد که در اثر فرسایش کنار رودخانه‌ای و بر هم زدن تعادل شیب‌ها، بیشترین حساسیت به لغزش در طبقات نزدیک به آبراهه‌ها وجود دارد.

در این مطالعه مدل‌های تراکم سطح وزنی و سلسله مراتبی فازی برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش در حوضه چم‌سنگر بکار گرفته شده است. نتایج به دست آمده از مدل تراکم سطح وزنی نشان می‌دهد که به ترتیب ۳۷/٦۱، ٤٤/٤۰، ۱٥/٤۰، ۲/۳۱، ۰/۲۷ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار گرفته است و در روش سلسله مراتبی فازی به ترتیب ۹/۸، ٤۰/۱۸، ۳٥/٤٦، ۱۳/۲۲، ۱/۳٤ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. ارزیابی رده‌های خطر در هر یک از این روش‌ها بر اساس نسبت تراکم (Dr) نشان می‌دهد که دقت رده‌های خطر با افزایش

خطرپذیری افزایش یافته است که این امر می‌تواند به علت اولویت‌بندی مناسب عوامل موثر بر لغزش باشد. همچنین ارزیابی روش‌های استفاده شده نشان می‌دهد که مدل تراکم سطح وزنی با شاخص جمع مطلوبیت (Qs) برابر با ۱/٤۰؛ از دقت بالاتری برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضه مورد مطالعه برخوردار است که با نتایج حاصل از پژوهش‌های شیرانی و همکاران (۱۳۸۵) و رحیمی نسب و همکاران (۱۳۹۱) مطابقت دارد. بر اساس نقشه تهیه شده با استفاده از مدل تراکم سطح وزنی بیش از ۱۸ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر متوسط به بالا قرار دارد لذا پیشنهاد می‌شود هرگونه تغییر در کاربری منطقه با بررسی‌های لازم صورت گیرد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از همکاری صمیمانه معاونت پژوهشی و باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد تشکر و قدردانی می‌نماید.

منابع

احمدیان مقدم. ر. (۱۳۹۱)، "بررسی و پهنه‌بندی پتانسیل خطر لغزش در حوضه آبریز سد شیرین دره"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۰٦ص.

بهاروند، س.، سوری، س.، (۱۳۹۲)، "پهنه بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل سلسله مراتبی فازی (مطالعه موردی: حوضه کاکاشرف)"، دومین کنفرانس بین‌المللی مخاطرات محیطی، دانشگاه خوارزمی، ٦ص.

پورقاسمی، ح.، مرادی، ح.، فاطمی عقدا، م.، مهدوی فر، م.، محمدی، م.، (۱۳۸۸)، "ارزیابی خطر زمین لغزش با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره فازی"، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره ۸، ص ۵۱-٦۲.

رحیمی نسب، ع.ا.، عبقری، ه.، عرفانیان، م.، ندیری، ع.، (۱۳۹۱)، "بررسی و تحلیل مدل هیبرید AHP و تراکم سطح در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش"، فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۲(۵): ۱-۱۱.

سوری، س.، بهاروند، س.، احمدیان مقدم، ر.، دهبان، م.، (۱۳۹۲)، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوضه کسمت)"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، ۹(۲): ۱۰۱-۱۱۰.

شادفر، ص.، یمانی، م.، (۱۳۸۷)، "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز جلیسان با استفاده از مدل LNRF"، نشریه پژوهش‌های جغرافیایی، ٤۰(۱): ۱۱-۲۳.

شیرانی، ک.، چاوشی، س.، غیومیان، ج.، (۱۳۸۵)، "بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادنای علیای سمیرم"، مجله پژوهش علوم دانشگاه اصفهان، ۲۳-۳۵.

علیجانی، ب.، قهرودی، م.، امیراحمدی، (۱۳۸٦)، "پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه جهان با استفاده از GIS (مطالعه موردی: حوضه اسطرخی شیروان)"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۸٤: ۱۱٦-۱۳۱.

Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H., Kanno, T., (2005), "Landslide in Sado Island of Japan part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from to methods and verifications", Engineeing Geology, 81, 432-445.

Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O., (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 (2012) 28–40.

Gee, M.D., (1992), "Classification of landslhde hazard zoning methods and a test of predictive capability", Bell, Davi H.(ed). Proceedings 6 th International Symposium on Landslids, pp 110-121.

Kayastha, P., Dhital, M.R., De Smedt, F., (2013), "Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed", Computers & Geosciences, 52, 398-408.

Mohammadi, A., Heshmatpoor, A., Mosaedi, A., (2004), "Study on efficiency of an Iranian method for landslide hazard zonation in Golstan Province". EGU-1 st General Assembly.Nice. France, 10 pp.

Nefeslioglu, H.A., Gokceoglu, C., Sonmez, H., (2008), "An assessment on the use of logistic regression and Artificial neural networks with different sampling strategies for the preparation of landslide susceptibility maps", Engineering Geology, 97,171-191.

Ownegh, M., (2002), "Landslide hazard, and risk assessment in the southern Sunbirds of Newcastle", Sabbatical research report No. 2, University of Newcastle, Australia, 85 pp.

Pradhan, B., Lee, S., (2009), "Landslide risk

analysis using artificial neural networks model focusing on different training sites", International Journal of Physical Sciences, 4, 001-015.

Saaty, T.L., Vargas, L.G., (2001), "models, methods, concepts, and applications of the Analytica Hierarchy process", 1st ed. Kluwer Academic, Boston, 333p.

Yalcin, A., (2008), "GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations", Catena, 72: 1-12.

Landslide hazard zonation using Weigthed density area and AHP Fuzzy method (case study: Chamsangar watershed)

Siamak Baharvand[*1] and Salman Soori[2]

1- Assistant Professor, Department of Geology, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran, (sbbaharvand53@gmail.com)
2- Young Researchers and Elite club, Khorramabad Branch, Islamic Azad University, Khorramabad, Iran

Abstract
Zoning Landslide is one of the approaches which can be used to define the critical areas regarding the slope stability and the maps prepared based on this demarcating are used in programming stable development. The purpose of this research is landslide hazard mapping using Weigthed density area model and AHP Fuzzy models in Chamsangar watershed with an area about 262.81 km^2 in the 40 kilometer far from the south east of Khorram Abad city in Lorestan province.In order to check the stability of slopes in this basin, At first landslide points were recognized by using aerial photographs, extensive field studies and subsequently the distribution of landslide map was made.Then each effective factors on landslide occurred in study area such as: slope, aspect, altitude, geology, rainfall, landuse and distance from the road and drainages Digited in Arc GIS environment and for hazard zonation landslide were used. The used for assessment and classification of models outputs in approximation of landslide risk. Results show that, the Weigthed density area model has more efficiency than AHP Fuzzy model for landslide hazard mapping in Chamsangar watershed. According the zoning based on the Weigthed density area model, the 37.61, 44.40, 15.40, 2.31, and 0.27 percent of the area is located in very low, low, medium, high and very high risk classes, respectively.

Keywords: Landslide, Lorestan, Chamsangar watershed, Weigthed density area model, AHP Fuzzy model