

ارزیابی ریسک زمین لغزش با استفاده از مفهوم تئوری مجموعه‌های فازی (منطقه هشتچین در جنوب استان اردبیل - شمال غرب ایران)

رضا طلائی^۱، محسن شریعت جعفری^۲ و فرزانه عظیمی مطعم^۳

۱- عضو هیات علمی و محقق مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، اردبیل، صندوق پستی: ۵۴۵-۵۶۱۳۵

۲- محسن شریعت جعفری، عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، صندوق پستی: ۱۱۳۶-۱۳۴۴۵

RZTALA@yahoo.com

چکیده

ارزیابی ریسک زمین لغزش کلید اصلی کنترل و تثبیت زمین لغزش‌های یک منطقه است. ریسک زمین لغزش می‌تواند بصورت پتانسیل خسارت مالی و جانی متعاقب وقوع زمین لغزش در دامنه‌های یک منطقه تعریف شود. ارزیابی ریسک زمین لغزش می‌تواند در مقیاس ناحیه‌ای و یا سایت انجام گیرد و اطلاعات پایه را جهت هر گونه برنامه ریزی‌های توسعه‌ای فراهم سازد. ریسک زمین لغزش تابعی از پتانسیل خطر زمین لغزش و پتانسیل خسارت بر منابع است. پتانسیل خطر و خسارت منابع موجود معمولاً به ترتیب از نقشه پهنه بندی خطر و نقشه کاربری و پوشش گیاهی منطقه به دست می‌آید. روش‌های زیادی در ارزیابی ریسک زمین لغزش به کار برده می‌شود اما در این پژوهش از دو روش توابع مطلوب و تئوری مجموعه‌های فازی به ترتیب جهت ارزیابی خطر و ریسک زمین لغزش در مقیاس ناحیه‌ای استفاده شده است. به منظور تعیین رده‌های خطر در منطقه لغزش‌های که طی ۵۰ سال گذشته با شدت متوسط و بالا حداقل یک بار در منطقه فعالیت داشته‌اند انتخاب شدند. ارزیابی خطر زمین لغزش نشان می‌دهد که درجات خطر تعیین شده دارای حدود صحت ۸۰ درصدی هستند. با ترکیب دو مجموعه پتانسیل خطر و پتانسیل خسارت منابع و با استفاده از عملگر ضرب فازی پهنه بندی ریسک منطقه انجام گرفت، در این مدل ۱۳/۸٪ از محدوده در پهنه‌های با کلاس ریسک بالا و خیلی بالا و ۷۸/۱٪ از مساحت منطقه در طبقات ریسک بسیار پائین و پائین قرار می‌گیرد. استفاده از نتایج این پژوهش برای مهندسين و طراحان سازه‌ها و پروژه‌ها توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زمین لغزش، خطر، منابع، ریسک، مجموعه فازی و توابع مطلوب

۱- مقدمه

زمین لغزش‌ها یکی از مهمترین پدیده‌های مخرب طبیعی هستند که در مناطق کوهستانی مشکلات جدی بوجود می‌آورند (Intarawichian N. and Dasananda S., 2010). منطقه هشتچین در غرب البرز و در شمال غرب ایران هر سال شاهد وقوع زمین لغزش‌های جدید و یا فعالیت دوباره برخی از زمین لغزش‌های قدیمی است (طلائی ر. و همکاران، ۱۳۸۳). در این منطقه زمین لغزش‌ها نه تنها باعث تخریب ابنیه‌ها، راه‌های ارتباطی، اراضی زراعی و باغی می‌شوند بلکه خسارت‌های زیادی را بر پوشش گیاهی طبیعی مرتعی و جنگلی وارد آورده و ضمن تولید حجم زیادی از رسوبات از کیفیت منابع آب سطحی نیز می‌کاهند. در سالیان گذشته وارد شدن خسارت‌های مستقیم و غیر مستقیم زمین لغزش‌ها در بسیاری از مناطق دنیا، مسئولین و جامعه علمی را برآن داشته تا طرح‌های مختلفی را جهت کاهش خسارت این پدیده تهیه نمایند، ارائه هرگونه طرحی در راستای کنترل فعالیت و کاهش خسارت زمین لغزش‌ها، در حله اول مستلزم ارزیابی ریسک زمین لغزش در منطقه لغزش خیز است. در چند دهه گذشته، نتایج منتشر شده از مطالعات کمی ریسک زمین لغزش‌ها در دو مقیاس ناحیه‌ای (Bonnard C. and et al., 2004; Glade T. and et al., 2005) و سایت (Eberhardt E. and et al., 2005) بوده است. در ارزیابی کیفی ریسک زمین لغزش‌ها در مقیاس ناحیه‌ای نیز از متدهای مختلفی استفاده می‌شود (Shou K. and Chen Y., 2005). علاوه بر اینها، روش‌های نیمه کمی جدیدی نیز جهت ارزیابی ریسک زمین لغزش، بر مبنای پیکسل‌های خطر و تئوری مجموعه فازی، پیشنهاد شده است (Kanungo D.P. and et al., 2008). در روش‌های

مورد استفاده در ارزیابی ریسک زمین لغزش‌ها می‌بایست در ابتدا حساسیت و یا خطر زمین لغزش‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش جهت ارزیابی خطر زمین لغزش از مدل توابع مطلوب براساس نسبت درست نمائی (Likelihood ratio function) استفاده شده است. در این مدل نتایج به دست آمده از آنالیز داده‌های گروهی (Categorical) و پیوسته (Continuous data) با هم ترکیب شدند و احتمال وقوع زمین لغزش در آینده در یک دوره زمانی خاص بیان گردیده است. براساس فرکانس و حجم زمین لغزش‌های منطقه هشتچین، که از داده‌های شناسنامه‌های تهیه شده استخراج گردید، شدت زمین لغزش‌های منطقه تخمین زده شد و لغزش‌های که طی ۵۰ سال گذشته با شدت متوسط و بالا حداقل یک بار در منطقه فعالیت داشته‌اند انتخاب شدند (Talaei R., 2012). در اجرائی مدل خطر، ۷۵٪ از پیکسل‌های دارای زمین لغزش بطور تصادفی انتخاب شدند و ۲۵٪ باقیمانده نیز در تعیین دقت مدل به روش ROC (Receiver Operating Characteristic curve) بکار برده شد (Sdao F. and et al., 2013). به منظور ارزیابی ریسک زمین لغزش علاوه بر پتانسیل خطر زمین لغزش باید پتانسیل خسارت منابع موجود نیز تهیه شود. درجات عضویت دو لایه اطلاعاتی پتانسیل خطر و پتانسیل خسارت بر مبنای قوانین محاوره‌ای و طبق نظر کارشناسی تعیین گردید. در نهایت مجموعه‌های پتانسیل خطر و پتانسیل خسارت با استفاده از عملگر ضرب فازی ترکیب شدند و یک نقشه پهنه بندی ریسک به دست آمد. متأسفانه در منطقه هشتچین در خصوص پیش بینی خطر و ریسک زمین لغزش و همچنین پیشگیری از وقوع زمین لغزش‌های جدید و یا فعالیت دوباره زمین لغزش‌های که قبلاً بوقوع پیوسته‌اند مطالعات چندانی در گذشته صورت نگرفته است. انصاری ف. و بلورچی م.، (۱۳۷۴) و نیک‌اندیش ن. و میرصانعی ر.، (۱۳۷۴) ویژگی‌های کلی چند مورد از زمین لغزش‌های منطقه را توصیف کرده‌اند. هاشمی طباطبائی س.، (۱۳۷۷) عوامل اصلی موثر در وقوع لغزش‌های منطقه را بررسی کرده و نقشه پهنه بندی حساسیت به لغزش را با استفاده از مدل کیفی تهیه نموده است. مهدویفر م.، (۱۳۷۶)؛ Uromeihy A. and Mahdaviifar M.R., (2000) نیز در بخشی از منطقه هشتچین تحت نام بخش خورش رستم خلخال از روش مجموعه‌های فازی در پهنه بندی حساسیت زمین لغزش‌ها استفاده کرده‌اند. در نیمه غربی منطقه هشتچین عوامل موثر در لغزش خیزی منطقه توسط طلائی و همکاران، ۱۳۸۳، و با استفاده از روش‌های آمار ناپارامتری مورد تحلیل قرار گرفته است. بنابراین با توجه به اینکه در حال حاضر طرح‌ها و برنامه‌های مختلف صنعتی، مسکونی و توسعه‌ای در منطقه در حال اجرا بوده و پیش بینی‌های لازم جهت اجرای طرح‌های دیگر در آینده نیز صورت گرفته است، لذا ارزیابی خطر و ریسک زمین لغزش در یک دوره زمانی مشخص برای چنین منطقه‌ای ضروری به نظر می‌رسد. نتایج پهنه بندی خطر و ریسک زمین لغزش در منطقه هشتچین می‌تواند در طرح‌های تعیین کاربری اراضی، و هرگونه فعالیت توسعه‌ای، صنعتی و تعیین ضوابط ساختمان سازی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه هشتچین به مساحت ۱۶۴۵ کیلومترمربع در بخش جنوبی استان اردبیل (شمال غربی ایران) قرار دارد. این ناحیه بین طول‌های جغرافیایی $36^{\circ}54'13''$ و $48^{\circ}17'23''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $45^{\circ}17'04''$ و $59^{\circ}16'34''$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). ۹/۵۲٪ از منطقه مورد مطالعه تحت تاثیر زمین لغزش‌های منفرد و پهنه لغزشی قرار گرفته است. شواهد موجود نشان می‌دهد که در ۵۰ سال گذشته ۶۰٪ از زمین لغزش‌های منطقه فعالیت داشته‌اند، این زمین لغزش‌ها در طول دوره ۵۰ ساله یا برای اولین بار بوقوع پیوسته‌اند و یا لغزش‌های قدیمی هستند که حداقل یک بار فعالیت کرده‌اند.

مقادیر عددی احتمال تخمین زده شده، یعنی مقدار عددی $\tilde{\lambda}(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_h)$ ، بین صفر (0) تا بی نهایت (∞) در تغییر است. هرچقدر این عدد بیشتر باشد نشان می‌دهد که در پیکسل مربوطه احتمال وقوع زمین لغزش در آینده بالاتر است. مقادیر به دست آمده براساس تابع همسان (Identical function) استاندارد شدند (رابطه ۴) (Chung C.J. and Fabbri A.G., 2008).

$$m(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_h) = \frac{h(\tilde{\lambda}(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_h))}{1+h(\tilde{\lambda}(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_h))} \quad (4)$$

بر مبنای مقادیر احتمال محاسبه شده برای هر پیکسل نقشه پیشگویی که سطوح مختلف خطر نسبی وقوع زمین لغزش را نشان می‌دهد، به دست آمد. تئوری مجموعه‌های فازی (Fuzzy set theory) برای اولین بار توسط Zadeh L.A., (1965) معرفی شد و در تحلیل نتایج بسیاری از مطالعات علمی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تئوری مجموعه‌های فازی، توسعه یافته همان تئوری مجموعه‌های معمولی (Ordinary set theory) است. در حقیقت، در مجموعه‌های فازی، درجات عضویت از مجموعه‌های دو عضوی $\{0, 1\}$ به بازه $[0, 1]$ توسعه داده شده است. مقادیر امتیازات اختصاصی در نقشه‌های خطر تهیه شده براساس ۷۵٪ از زمین لغزش‌های اتفاق افتاده بعد از سال ۱۹۶۰ و با استفاده از توابع مطلوب طبق قوانین زبانی می‌باشد (جدول ۱) (Kanungo D.P. and et al., 2008). منابع منطقه به ۷ گروه متفاوت بنام‌های ابنیه‌ها، راه‌ها، اراضی زراعی آبی، اراضی زراعی دیم، مراتع، باغات و جنگل تفکیک شدند. در تعیین درجه عضویت فازی پتانسیل خسارت عناصر، میزان اهمیت اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی آنها در نظر گرفته شد. در این منطقه بیشترین درجه عضویت فازی به ابنیه‌ها و راه‌ها و کمترین امتیازات به اراضی جنگلی داده شده است (جدول ۲).

جدول ۱- قوانین زبانی (محاوره‌ای) برای امتیاز دهی ریسک در زون‌های مختلف خطر

پهنه خطر زمین لغزش	مقادیر عضویت فازی برای پتانسیل زمین لغزش	قوانین محاوره‌ای برای امتیاز دهی ریسک
بسیار پرخطر	۱	زمین لغزش‌ها بطور گسترده اتفاق افتاده‌اند و اغلب اتفاق خواهند افتاد
پرخطر	۰/۸	شواهد فعالیت زمین لغزش‌ها در بیشتر مناطق دیده می‌شود. زمین لغزش‌های احتمالی در شرایط نامطلوب اتفاق می‌افتند.
خطر متوسط	۰/۵۵	زمین لغزش‌های گذشته بطور محلی اتفاق افتاده‌اند. زمین لغزش‌ها ممکن است در شرایط نامناسب اتفاق بیافتند
کم خطر	۰/۳	احتمال وقوع زمین لغزش کم است و عموماً دامنه‌ها پایدارند.
بسیار کم خطر	۰/۱	زمین لغزش بسیار نادر اتفاق می‌افتد و یا اصلاً وجود ندارد. دامنه‌ها بطور طبیعی پایدارند.

جدول ۲- قوانین محاوره‌ای جهت امتیاز دهی ریسک در گروه‌های مختلف منابع برای پتانسیل خسارت

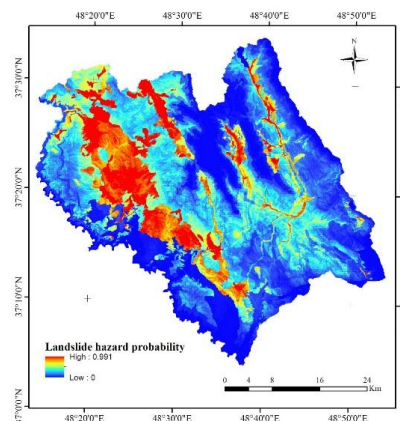
گروه‌های منابع	مقادیر عضویت فازی برای پتانسیل منابع	قوانین محاوره‌ای برای امتیاز دهی ریسک
ابنیه‌ها	۱	تاثیر مستقیم بر اهالی و دارائی آنها دارد. خسارت‌های عمده بصورت کشته، مجروح و زیان‌های مالی است.
راه‌ها و جاده‌ها	۰/۹	راه‌های مواصلاتی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. خسارت‌های عمده عبارتند از: قطع ارتباط در منطقه که می‌تواند عملیات نجات و بازسازی بعد از سانحه را نیز تحت تاثیر قرار دهد.
اراضی زراعی آبی	۰/۷	تاثیر مستقیم در اقتصاد (درآمد) و غذای مردم دارد.
اراضی زراعی دیم	۰/۳۵	در وضعیت مالی اهالی تاثیر می‌گذارد
باغ	۰/۸	تاثیر مستقیم در اقتصاد و غذای مردم دارد.
مراتع	۰/۶	علاوه بر تاثیر مستقیم در اقتصاد اهالی سبب از بین رفتن منابع ملی نیز می‌شود.
جنگل	۰/۳	منابع ملی از بین می‌رود ولی تاثیر مستقیم بر اقتصاد فردی اهالی ندارد.

در این پژوهش از عملگرهای ضرب فازی استفاده گردید. μ_A و μ_B به ترتیب توابع عضویت نقشه‌های پتانسیل خطر و پتانسیل خسارت در منطقه هستند که با ترکیب این دو لایه مقادیر ریسک زمین لغزش در هر پیکسل به دست آمده است.

$$\mu_{PRODUCT}(x) = \prod_{i=1}^2 \mu_i(x) \quad (5)$$

۳- نتایج

احتمال وقوع زمین لغزش با شرط استقلال شرایط متغیرها در دو گروه متغیر طبقه بندی شده و پیوسته بطور جداگانه محاسبه شد. با حاصلضرب مقادیر $\lambda(x_i)$ مقدار تابع نسبی احتمال در هر پیکسل بر حسب متغیرهای گروه بندی شده $(\lambda(x_1, \dots, x_k))$ تخمین زده شد، حداقل و حداکثر مقدار به دست به ترتیب برابر ۰ و $139/86$ است. مقادیر (y_1, \dots, y_h) براساس مقادیر متغیرهای پیوسته و با استفاده از آنالیز تشخیصی محاسبه گردید. مقادیر به دست آمده براساس تابع همسان (Identical function) $m(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_h)$ بین ۰ و ۱ تغییر می‌نماید. پیکسل با بزرگترین مقدار $m(x_1, \dots, x_k, y_1, \dots, y_h)$ برابر $0/991$ است که بیشترین احتمال وقوع زمین لغزش مربوط به آن است. مقادیر به دست آمده از این تابع بطور پیوسته خطر نسبی وقوع زمین لغزش در پیکسل‌ها را بصورت یک نقشه نشان می‌دهد (شکل ۲). صحت کلی آنالیز تشخیصی $69/6\%$ بوده و پیشگویی پیکسل‌های درگیر لغزش $76/8\%$ درست است. صحت نقشه پهنه بندی درجه خطر براساس سطح زیر منحنی برابر $79/5\%$ است.



شکل ۲- نقشه خطر زمین لغزش در منطقه هشتجین براساس زمین لغزش‌های بعد سال ۱۹۶۰ با استفاده از روش توابع مطلوب

با بکارگیری عملگر ضرب جبری فازی به دلیل اینکه درجه عضویت اعضاء در دو مجموعه فازی بین ۰ و ۱ در تغییر است لذا اعداد خروجی کوچکتر شده و بسمت صفر میل می‌کنند، در نتیجه تعداد پیکسل‌های کمتری در کلاس با ریسک بالا قرار می‌گیرند. به همین دلیل این عملگر دقت و حساسیت بسیار بالایی در تعیین میزان ریسک زمین لغزش‌ها دارد. در این روش مقادیر مختلف ریسک زمین لغزش‌ها برای ترکیب‌های مختلف از پتانسیل خسارت منابع و پتانسیل زمین لغزش با تشکیل ماتریس ارزیابی ریسک زمین لغزش در جدول (۳) نشان داده شده است. مقادیر هر پیکسل از $0/03$ تا ۱ تغییر می‌کند. مقدار $0/03$ نشان دهنده پتانسیل زمین لغزش بسیار کم در گروه اراضی جنگلی است در حالی که عدد ۱ مربوط به مناطق مسکونی با پتانسیل زمین لغزش بسیار بالا می‌باشد. به منظور پهنه بندی ریسک منطقه، مقادیر ریسک زمین لغزش در فاصله بین $0/03$ و ۱ به پنج کلاس تقسیم شدند.

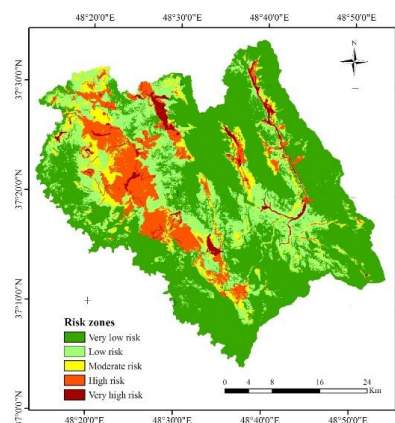
جدول ۳- ماتریس ارزیابی ریسک زمین لغزش برای ترکیب‌های مختلف پتانسیل لغزش و پتانسیل خسارت منابع. رنگ قرمز: ریسک بسیار بالا؛ رنگ صورتی: ریسک بالا؛ رنگ زرد: ریسک متوسط؛ رنگ آبی: ریسک پائین؛ رنگ سبز: ریسک بسیار پائین

پتانسیل زمین لغزش (LP) پتانسیل خسارت منابع (RDP)	بسیار پرخطر (۱)	پرخطر (۰/۸)	خطر متوسط (۰/۵۵)	کم خطر (۰/۳)	بسیار کم خطر (۰/۱)
ابنیه‌ها (۱)	۱	۰/۸	۰/۵۵	۰/۳	۰/۱
راه‌ها و جاده‌ها (۰/۹)	۰/۹	۰/۷۲	۰/۵۰	۰/۲۷	۰/۰۹
باغ (۰/۸)	۰/۸	۰/۶۴	۰/۴۴	۰/۲۴	۰/۰۸
اراضی زراعی آبی (۰/۷)	۰/۷	۰/۵۶	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۰۷
مراغ (۰/۶)	۰/۶	۰/۴۸	۰/۳۳	۰/۱۸	۰/۰۶
اراضی زراعی دیم (۰/۳۵)	۰/۳۵	۰/۲۸	۰/۱۹	۰/۱۰	۰/۰۳۵
جنگل (۰/۳)	۰/۳	۰/۲۴	۰/۱۶۵	۰/۰۹	۰/۰۳

جهت این رده بندی از رنج‌های عددی پیشنهادی (Kanungo D.P. and et al., (2008) استفاده شد (جدول ۴). براساس این جدول، نقشه پهنه بندی ریسک منطقه به دست آمد (شکل ۳). در این پهنه بندی به ترتیب ۲/۳، ۱۱/۵، ۸، ۲۱/۵ و ۵۶/۶ درصد از منطقه در قلمرو پهنه‌های با درجه ریسک بسیار بالا، بالا، متوسط، پائین و بسیار پائین قرار گرفته است.

جدول ۴- تقسیم مقادیر ریسک زمین لغزش به پهنه‌های ریسک آنها

مقادیر ریسک زمین لغزش	پهنه‌های ریسک زمین لغزش
$0/1 < \text{ریسک زمین لغزش} < 0/0$	ریسک بسیار پائین
$0/2 < \text{ریسک زمین لغزش} < 0/1$	ریسک پائین
$0/4 < \text{ریسک زمین لغزش} < 0/2$	ریسک متوسط
$0/6 < \text{ریسک زمین لغزش} < 0/4$	ریسک بالا
$0/6 > \text{ریسک زمین لغزش}$	ریسک بسیار بالا



شکل ۳- نقشه ارزیابی ریسک زمین لغزش بر اساس خطر تخمینی با روش تابع نسب درستمائی

۴- بحث

هدف اصلی ارزیابی ریسک زمین لغزش تعیین "درجه خسارت مورد انتظار در اثر زمین لغزش" در یک منطقه است (Varnes D.J., 1984) معمولاً دستیابی به این هدف به روش‌های ارزیابی کیفی و کمی ریسک ممکن است (Chowdhury R. and Flentje P., 2003). ارزیابی ریسک زمین لغزش در مقیاس ناحیه‌ای که انواع زمین لغزش‌ها اتفاق می‌افتند و در ایجاد خطرهای متعدد دخالت دارند، به روش کمی اغلب غیر عملی است (Guzzetti F., 2002). در این حالت تعیین شدت، فراوانی، شکل و روند تحول زمین لغزش‌ها در یک منطقه به سادگی امکان پذیر نیست. همچنین ممکن است جزئیات اتفاقات گذشته (تاریخی) بطور کامل موجود نباشد. اما در دامنه‌های کم وسعت (site-specific slopes) روش‌های ارزیابی کمی ریسک می‌تواند به راحتی اجرا شود (Dai F.C., 2002 and et al., 2002). علاوه بر این دو روش مرسوم، در چند سال‌های گذشته روش نیمه کمی نوینی نیز جهت ارزیابی ریسک زمین لغزش‌ها پیشنهاد شده است (Arora M.K. and Anbalagan R., 2010; Kanungo D.P., and et al., 2008). در این روش با داشتن معلوماتی از منطقه از جمله نقشه سازه‌ها در قالب GIS (structures and infrastructures) و داده‌های پرسش‌نامه‌های تکمیل شده و با یک عملیات ساده ژئوگرافیکی می‌توان مکان‌های را که ممکن است زمین لغزش‌ها در آینده بر منابع در معرض ریسک خسارت وارد سازند را تعیین کرد. با اجرای این مدل مدل، ۱۳/۸٪ از منطقه هشتچین در پهنه‌های با کلاس ریسک بالا و خیلی بالا قرار می‌گیرد. عملگر ضرب فازی به دلیل تفکیک مناسب طبقات ریسک نسبت به روش‌های دیگر مطلوبیت بیشتری دارد اما به دلیل ضرب درجه عضویت رده‌های خطر و منابع در معرض خطر، اعداد به دست آمده به سمت صفر میل می‌کنند و به این دلیل ۷۸/۱٪ از مساحت منطقه در طبقات ریسک بسیار پائین و پائین قرار گرفته است. از این پهنه بندی ریسک زمین لغزش می‌توان در بیشتر برنامه ریزی‌های محیطی و طراحی‌ها استفاده کرد، بطوریکه (Kanungo D.P. and et al., 2008) نیز با استفاده از مفهوم تئوری فازی و عملگر ضرب فازی پهنه بندی ریسک زمین لغزش در منطقه Darjeeling Himalayas را انجام داده‌اند و استفاده از آن را برای مهندسی و طراحی سازه‌ها و پروژه‌ها توصیه نموده‌اند. روش بکار رفته در ارزیابی ریسک زمین لغزش منطقه هشتچین تفاوت‌های با روش پیشنهادی (Kanungo D.P. and et al., 2008) دارد بطوریکه در این پژوهش در تهیه لایه پتانسیل خطر از پهنه بندی خطر مبتنی بر روش اساسی توابع مطلوب استفاده گردید که در آن دقت برآوردها خوب تعیین شده است. به نظر می‌رسد که بهترین کاربرد نتایج ارزیابی ریسک زمین لغزش در زمان احداث سازه‌های زیربنایی مانند شهرک‌های مسکونی و صنعتی، جابجایی و اسکان اهالی روستاها در مکان‌های جدید و احداث یا تعمیر راه‌های منطقه باشد. هرچند ممکن است به دلیل هزینه‌های گزاف کنترل و کاهش خسارت وقوع زمین لغزش‌ها، سیاست "منتظر اتفاق باش و بعداً تعمیر و بازسازی کن" استراتژی مناسبی به نظر برسد، اما با توجه به خسارت‌های مستقیم (و غیر مستقیم) زیادی که سالانه به منطقه وارد می‌شود، مصلحت در استفاده از روش‌های پیشگیرانه است و یکی از اساسی‌ترین نیازهای برنامه‌ریزی همین پهنه‌بندی ریسک زمین لغزش در منطقه است.

۵- نتیجه گیری

ارزیابی ریسک زمین لغزش در این منطقه بر مبنای عملگرهای ضرب جبری بوده و نتایج آن شرایط اپتیمم ریسک در منطقه را نشان می‌دهد و می‌تواند مبنای بسیاری از برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌ها باشد. این پهنه بندی میزان خسارت زمین لغزش در ۵۰ سال آینده را در منطقه هشتچین بطور نسبی نشان می‌دهد. روش بکار رفته در این پژوهش شناسایی مناطقی را که بیشتر تحت خطر و ریسک زمین لغزش هستند تسهیل نموده و زون‌های که کوشش در کاهش خطر در آنها مقرون به صرفه خواهد بود را نشان می‌دهد.

منابع

- انصاری ف. و بلورچی م.، (۱۳۷۴). "زمین لغزش در استان اردبیل"، مدیریت لرزه زمین ساخت و ژئوتکنیک، سازمان زمین شناسی کشور. ۴۶ صفحه.
- طلائی ر.، غیومیان ج.، شریعت جعفری م.، علی اکبرزاده ا.، (۱۳۸۳). "بررسی عوامل موثر در لغزش خیزی جنوب غرب خلخال"، سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی و وزارت جهاد کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۵۳ صفحه.
- محمدی، ج.، (۱۳۸۵). "پدومتری"، جلد اول: آمار کلاسیک. ۵۳۱ صفحه.
- مهدویفر، م.، (۱۳۷۶). "پهنه بندی خطر زمین لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غرب شهرستان خلخال)"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۵۵ صفحه.
- نیک اندیش ن.، میرصانعی ر.، (۱۳۷۴). "نگرشی بر زمین لغزش های استان اردبیل"، معاونت آبخیزداری، ۶۳ صفحه.
- هاشمی طباطبائی س.، (۱۳۷۷). "پهنه بندی خطر زمین لغزش در بخشی از استان اردبیل"، وزارت مسکن و شهرسازی. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. سازمان مسکن و شهر سازی استان اردبیل. جلد ۲، ۷۲ صفحه.
- Arora, M.K., Anbalagan, R., (2010). "Overview of Landslide Hazard and Risk, Practices in India", Department of Civil Engineering and Earth Sciences, Indian Institute of Technology Roorkee, Roorkee, SafeLand, 247 667, pp. 187.
- Bonnard, C., Forlati, F., Scavia, C., (2004). "Identification and mitigation of large landslide risk in Europe", Advances in risk assessment. IMIRILAND Project. A. A. Balkema, Leiden, London, 317 p.
- Chowdhury, R., Flentje, P., (2003). "Role of slope reliability analysis in landslide risk management", Bull Eng Geol. Env., Vol. 62, pp. 41-46.
- Chung, C.J., (2006). "Using likelihood ratio functions for modeling the conditional probability of occurrence of future landslides for risk assessment", Computers & Geosciences, Vol. 32, pp. 1052-1068.
- Chung, C.J., and Fabbri, A.G., (2008). "Predicting landslides for risk analysis - spatial models tested by a cross-validation technique", Geomorphology, Vol. 94, pp. 438-452.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y. Y., (2002). "Landslide risk assessment and management: an overview", Engineering Geology, Vol. 64 (1), pp. 65- 87.
- Eberhardt, E., Thuro, K., Luginbuehl, M., (2005). "Slope instability mechanisms in dipping interbedded conglomerates and weathered marls—the 1999 Rufi landslide, Switzerland", Engineering Geology, Vol. 77, pp. 35-56.
- Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J., (2005). "Landslide risk assessment", John Wiley, 832 p.
- Guzzetti, F., (2002). "Landslide hazard assessment and risk evaluation: limits and prospective", Mediterranean Storms, Proceedings of the 4th EGS Plinius Conference held at Mallorca, Spain, October 2002. 4 pp.
- Intarawichian, N., Dasananda, S., (2010). "Analytical hierarchy process for landslide susceptibility mapping in Lower Mae Chaem watershed, Northern Thailand", Suranaree J. Sci. Technol., Vol. 17(3), pp. 277-292.
- Kanungo, D.P., Arora, M.K., Gupta, R.P., Sarkar, S., (2008). "Landslide risk assessment using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas" Landslides, Vol. 5, pp. 407-416.
- Sdao, F., Lioi, D.S., Pascale, S., Caniani, D., and Mancini, I.M., (2013). "Landslide susceptibility assessment by using a neuro-fuzzy model: a case study in the Rupestrian heritage rich area of Matera", Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 13, pp. 395-407. www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/395/2013/
- Shou, k. and Chen, Y., (2005). "Spatial risk analysis of Li-shan landslide in Taiwan", Engineering Geology, Vol. 80, pp. 199-213.
- Talaei, R., (2012). "Determination and assessment of landslide hazard index in the Hashtjin area (northwestern region of Iran)", Bulletin of the Moscow State Regional University, Series «Natural Sciences», Vol. 1, pp. 69-74.
- Uromeihy, A. and MahdaviFar, M.R., (2000). "Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran", Bull. Eng. Geol. Env., Vol. 58, pp. 207-213.
- Varnes, D.J., (1984). "Landslide hazard zonation: A review of principles and practice", IAEG Commission on landslides and other mass movements. Paris: UNESCO Press. 63 pp.
- Zadeh, L.A., (1965). "Fuzzy sets, Information and control", Vol. 8, pp. 338-353.