

ارزیابی ریسک ویژه زمین لغزش در بخشی از البرز جنوبی

محسن شریعت جعفری*

پذیرش مقاله: ۸۸/۶/۴

دریافت مقاله: ۸۷/۷/۲

چکیده:

گرچه اغلب نمی‌توان مانع از وقوع رخداد های طبیعی مانند زمین لغزش شد، اما با شناخت، ارزیابی و مدیریت جامع ریسک زمین لغزش می‌توان خسارات و آسیب‌ها را در حد قابل قبولی کاهش داد و امکان استفاده بهینه از زمین را فراهم کرد. در این مقاله ریسک ویژه زمین لغزش در بخشی از دو حوزه هراز و دماوند از حوزه های واقع در البرز جنوبی ارزیابی شده است. ریسک ویژه زمین لغزش، عبارت از درجه آسیب پذیری مورد انتظار ناشی از وقوع رخداد لغزش زمین است. در این تحقیق اجزای اصلی ریسک پذیر شامل؛ تراکم جمعیت، سازه‌ها، منابع طبیعی و کشاورزی در منطقه‌ای است که بالقوه به وسیله خطر زمین لغزش تهدید می‌شود. در ارزیابی خطر لغزش زمین که از اجزای اصلی معادله ریسک می‌باشد، از شاخص آماری فراوانی زمین لغزش در منطقه و ضریب اهمیت نسبی عوامل استفاده شده است. دو شاخص شعاع تأثیر لغزش و فراوانی اجزای آسیب پذیر در ارزیابی و وزن دهی اجزای آسیب پذیر که جزء دوم معادله ریسک می‌باشند مورد استفاده واقع شده اند. ترکیب وزن‌ها و ساخت نقشه‌های وزنی خطر، آسیب پذیری و ریسک با استفاده از مدل همپوشانی شاخص‌های چند کلاسه انجام شده است. این مدل، عملگری افزایشی است، و وزن زیاد در پیکسل‌های خروجی آن، بیانگر حساسیت زیاد آن (تا بیش از دو برابر) نسبت به وزن زیاد در پیکسل‌های مشابه در عملگرهای کاهش می‌باشد. بنابر این کاربرد نتایج این مدل در طرح‌های توسعه و آمایش سرزمین خاص کاربری‌های حساس است.

نقشه ریسک ویژه منطقه، سطح آسیب پذیری مجموع عوامل آسیب پذیر در هر نقطه را، بالقوه برای طراحان طرح‌های توسعه و سرمایه‌گذاران محلی و منطقه‌ای نشان می‌دهد و پیش بینی افزایش زیان و آسیب پذیری را به طور کیفی در تغییر کاربری‌ها یا تغییر فراوانی منابع برای کاربران ممکن می‌سازد.

کلید واژه‌ها: ارزیابی ریسک، خطر، آسیب پذیری، زمین لغزش، البرز

مقدمه

ریسک به طور عام به مفهوم احتمال زیان ناشی از یک رخداد در آینده است. در فرآیند ریسک نتایج و آثار یک رخداد محتمل با سطوح مختلفی از عدم اطمینان تشریح می شود. این آثار ممکن است مثبت یا منفی؛ کم یا زیاد، گذرا یا پایدار باشد. در استاندارد (PMBOK, 2004) ریسک به عنوان فرآیندی غیر قطعی و نامعین تعریف شده که همراه با پیامدها و اثرات مثبت یا منفی است. آنجا که اجزای آسیب پذیر در شعاع تأثیر لغزش ها وجود داشته باشند عواقب وقوع لغزش ها با عنوان ریسک لغزش ارزیابی می شوند.

در بیان ضرورت توجه به ریسک و اهمیت موضوع در دنیا می توان اذعان داشت: با دستیابی به تکنولوژی های پیشرفته، توجه به این رویکرد مهم با هدف استفاده بهینه از توان سرزمین در برنامه های توسعه، در دهه اخیر بیش از گذشته بوده، و این نیاز در بسیاری کشورها منجر به تدوین استانداردهایی مانند: استاندارد مدیریت ریسک کانادا (CAN/CSA, 1997)، استاندارد مدیریت ریسک استرالیا و نیوزلند (AS/NZS4360, 1999)، استاندارد مدیریت ریسک بریتانیا (BSI, 2000)، استاندارد مدیریت ریسک ژاپن (JSA, 2001)، و استاندارد مدیریت ریسک ایرمیک (AIRMIC, 2002) شده است. در شرایط فعلی، راهبرد اصلی ارائه شده در برنامه مدیریت ریسک سازمان ملل (UN/ISDR, 2005) همزیستی با ریسک با تاکید بر ریسک بلایای طبیعی است. شناسایی و ارزیابی ریسک یکی از بخش های اصلی و مهم در استانداردهای مدیریت ریسک در دنیا است. از جمله اهداف مدیریت جامع ریسک، کاهش احتمال زیان و آسیب پذیری و ایجاد فرصت ها، افزایش اثر بخشی و بهره وری است. برآورد و ارزیابی ریسک بلایای طبیعی و بویژه رخدادهایی مانند زمین لغزش، نسبت به ریسک های مطرح در بخش هایی مانند صنعت، به مراتب پیچیده تر است، چرا که پیش بینی و مدل کردن رفتار عوامل طبیعی بسیار مشکل تر و در مواردی قابل پیش بینی نیست.

در تجزیه و تحلیل کیفی ریسک، اثر و احتمال به وقوع پیوستن ریسک های پیش بینی شده به طور کیفی ارزیابی می گردد. معیار متداول در اغلب استانداردهای مدیریت ریسک در تحلیل کیفی استفاده از ماتریس احتمال اثر می باشد. تحلیل کمی را معمولاً معادل با اندازه گیری ریسک می دانند. پرسشنامه، آنالیز حساسیت، توابع توزیع احتمال (مانند تابع نرمال، مثلثی، نرمال لگاریتمی، درخت تصمیم گیری، شبیه سازی) از جمله ابزار و تکنیک های مورد استفاده در تجزیه و تحلیل کمی ریسک می باشد. بنابراین با توجه به تنوع ایده ها، متدولوژی ها و ابزارهای سنجش و پیشرفت های سریع تکنولوژیکی در دنیا، برای رفع نیازها در سطح ملی، نیازمند تحقیقاتی منسجم و مدیریت شده هستیم.

آنچه امروزه در بخش بلایای طبیعی و بویژه رانش زمین توجه به ریسک را بیش از پیش ضروری ساخته، بهره برداری غیر اصولی و بیش از حد از توان زمین است که منجر به افزایش دامنه و عمق زیان های ناشی از این رخدادها شده است.

سابقه تحقیق:

مرور سوابق موجود حاکی از سه دهه تلاش علمی در جستجوی یافتن راهکارهای ارزیابی و همزیستی با خطر لغزش و استفاده بهینه از منابع سرزمین است. بیشترین تلاش ها مندرج در منابع خارجی مربوط به دهه اخیر (۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸) است، (جدول ۱).

از بین آثار پیشین، اصول و مبانی مطرح شده توسط Varnes (1984) پایه بسیاری از مطالعات و متدولوژی های ارائه شده توسط دیگر محققین است. تکیه بر تجربه و دانش ساختار اصلی مطالعات او است.

مطالعات (Laird & et al., 1979) با هدف ارزیابی ریسک در خلیج سانفرانسیسکو (کالیفرنیا) با تکیه بر آنالیز کمی قابلیت اراضی نمونه ای دیگر از مطالعات دهه های قبل است.

محسوس است. تدوین برنامه‌ها و استانداردهای مدیریت

(2004) Remondo et al. از آنالیز داده‌های تاریخی در ارزیابی خطر، آسیب پذیری و ریسک لغزش استفاده کرده‌اند. در بعضی مطالعات به جای ارزیابی ریسک زمین لغزش به ارزیابی ریسک گروه خاصی از زمین لغزش‌ها پرداخته شده است، مانند ارزیابی منطقه‌ای ریسک سیلان‌های واریزه‌ای توسط Liu et al. (2002, 2003) و ارزیابی ریسک سقوط سنگ توسط Guzzetti et al. (2003b).

(Xie & Xia, 2004) استفاده از تئوری سیستمی را برای ارزیابی ریسک خطر لغزش با اقتباس از مفاهیم Varnes (1984) پیشنهاد کردند. در این روش از مجموعه‌ای از مدل‌های مفهومی و ریاضی بهره گرفته می‌شود تا ویژگی‌های مهم سیستم‌های پیچیده را شناسایی و شبیه‌سازی نماید. ارزیابی ریسک در نگاه سیستمیک شامل سه مرحله: تجزیه و تحلیل و شناسایی ریسک (Risk Analysis)؛ ارزیابی و برآورد ریسک (Risk Assessment) و نهایتاً تشخیص و مقایسه ریسک (Risk Evaluation) می‌باشد. یکی از صاحب‌نظران خطرات طبیعی در سوئیس به نام Hollestein (2005) تعریف ساده‌ای را برای ریسک (R) پیشنهاد کرد: $R = F \times N$ در این رابطه F عبارت از فراوانی رخداد و N نماد زیان ناشی از آن می‌باشد.

در ارزیابی ریسک زمین لغزش در هیمالایا Rautela و Lakhera در سال 2000، نقشه پنج کلاسه فراوانی جمعیت را با نقشه خطر برازش دادند.

در دهه اخیر در ایران تحقیقات نسبتاً خوبی در موضوع ارزیابی کارائی و بومی‌سازی مدل‌های برآورد خطر زمین لغزش انجام گرفته؛ ولی در رابطه با ارزیابی و مدیریت ریسک زمین لغزش تعداد آثار موجود به چند مورد بیشتر نمی‌رسد.

ویژگی های منطقه:

منطقه طرح (شکل ۱) با تنوع قابل توجه لیتولوژیکی؛ شیب؛ لرزه‌خیزی و بارش بخش‌هایی از دو حوضه هراز و دماوند با مساحت ۱۵۵۶ کیلومتر مربع است. از دیدگاه زمین‌ساخت

با پیشرفت علم و تکنولوژی در دهه (۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸) و بویژه در سالهای اخیر، رشد علمی قابل توجه در این زمینه جدول ۱- مواردی از سابقه تحقیق در سه دهه اخیر

دوره تحقیق	تحقیقات و مطالعات ارزیابی ریسک زمین لغزش
دهه اخیر ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۸	Dai et al. (2002), Liu X. & Lei j. (2003), Spiker & Gori (2000, 2003a, b), Prina E. et al. (2004), Rocha G. (2004), Van Westen CJ (2004), Wu Q et. Al (2004), Rocha (2004), Spizzichino et. al (2004), Hollestein k. (2005) Chacon et. Al (2006)
دهه ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۸	Fell (1992/1994), Fell & Hartford (1997), Baynes & Lee (1998), Carrara et al (1992) Abbot et. al (1998a & b), Leroueil & Locat (1998)
دهه ۱۹۷۶ تا ۱۹۸۸	Aionso E. (1976), Stevenson PC (1977), Laird & et al. (1979), Varnes (1984), Einstein H. (1988)

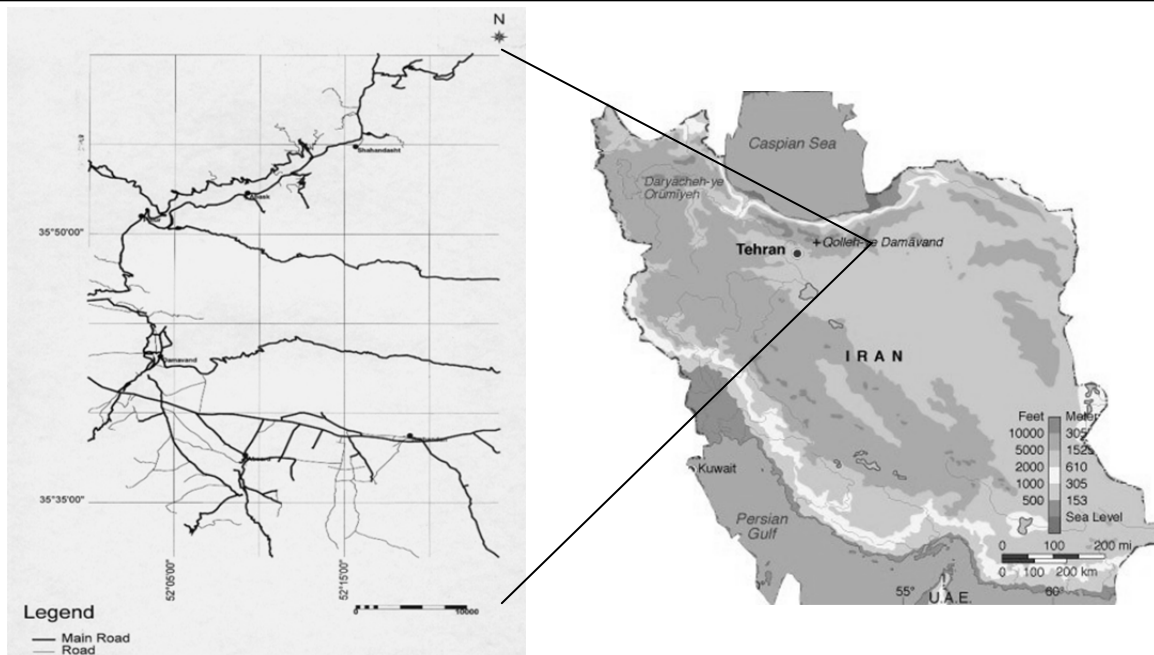
ریسک در کشورهای توسعه یافته اغلب در این دهه انجام شده است. بی تردید نیازهای روز افزون بشری به استفاده بیشتر و مدیریت شده از منابع سرزمین از عوامل اصلی این شتاب است.

در تعریف پهنه‌های هم آسیب‌پذیر، که بر پایه آنالیز آماری و GIS توسط Maquaire et al. (2004) تجربه شد، وزن هر جزء واقع در داخل یک پهنه هم آسیب‌پذیر مانند راه، واحد مسکونی و غیره براساس آنالیز آماری ویژگی‌های زمینه‌ای و هندسی و با بهره‌گیری از دانش کارشناس خبره تعیین شد.

برای برآورد آسیب‌پذیری منطقه شهری Manizales در کلمبیا، Chardon (1999) با استفاده از روش‌های آماری و ماتریس برلین یک طبقه‌بندی برای سطوح آسیب‌پذیری ارائه کرد.

(2004) Prina et al. در پروژه ارزیابی ریسک در جاده کوهستانی بین شهرهای Aigle و L'Étévaz، در سوئیس، آسیب‌پذیری اجزای مختلف را از چهار جنبه فیزیکی، اجتماعی، محیطی و اقتصادی مورد توجه قرار دادند.

(2006) Chacon et al. به توصیف نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی خطر و ریسک و مرور منابع با تاکید بر سیستم اطلاعات جغرافیائی پرداخته‌اند. (1992) Carrara et al. و (2003) Malamud از آنالیزهای آماری زمین لغزشها در ارزیابی خطر و ریسک استفاده نموده‌اند.



شکل ۱- محدوده منطقه تحقیق

در نهایت مهارت و تجربه کارشناس خبره است. ریسک ویژه زمین لغزش درجه آسیب پذیری مورد انتظار ناشی از وقوع رخداد لغزش زمین در هر نقطه از منطقه است و بیان کننده استعداد بالقوه هر نقطه از منطقه از جنبه آسیب پذیری ناشی از وقوع رخدادهای زمین لغزشی است. برای برآورد ریسک ویژه رانش زمین که عبارت است از حاصل ضرب پتانسیل خطر طبیعی (H) در پتانسیل آسیب پذیری (V) است دو نقشه کلاسه بندی شده خطر و آسیب پذیری قطع داده شدند. تلفیق کلاس های خطر و آسیب پذیری در مدل ارزیابی ریسک رانش زمین با استفاده از یک جدول دوبعدی (شریعت جعفری ۱۳۸۵) انجام شد.

در این تحقیق تهیه لایه های اطلاعات رقومی، جداول ویژگی ها، وزن دهی، هم پوشانی و قطع لایه ها، تهیه نقشه های تلفیقی، اجرای مدل ها، و استخراج و مقایسه نتایج به دلیل حجم بالای داده ها و محاسبات ریاضی و آماری در محیط GIS انجام گرفت. در ترکیب لایه ها و ساخت نقشه های وزنی خطر، آسیب پذیری و ریسک از مدل هم پوشانی شاخص های چند کلاسه استفاده شده است. در تهیه داده های اولیه از منابع مختلف شامل نقشه های زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰، عکس های

ایران به دلیل حضور گسل های فعال و قله دماوند از مناطق فعال ژئودینامیکی است. از جنبه فیزیوگرافی منطقه ای پر شیب و مرتفع است. و از لحاظ لیتولوژیکی دربرگیرنده واحدها و سازندهایی با سن پرکامبرین تا کواترنر است. رسوبات پالئوزوئیک و مزوزوئیک از شمال به جنوب منطقه به طور متوالی تکرار شده اند. این منطقه از منظر فعالیت های اقتصادی، اجتماعی، عمرانی، کشاورزی و منابع طبیعی و توسعه زیرساخت ها از مناطق حساس و پر اهمیت به شمار می رود.

منابع و روش تحقیق

عموماً همه محققین اتفاق نظر دارند که اولین قدم در سنجش و ارزیابی ریسک زمین لغزش، داشتن اطلاعات کافی از رخداد های زمین لغزشی است. تهیه و ثبت اطلاعات زمین لغزش های منطقه پیرو این ضرورت انجام گرفت. هر چند کیفیت ارزیابی ریسک از منظر های مختلف از تنوع قابل توجه برخوردار است اما در عموم متدولوژی ها بر استفاده از دو عنصر ساختاری آسیب پذیری و خطر اتفاق نظر وجود دارد و بدون هر یک از آنها ارزیابی ریسک مفهومی نخواهد داشت. کیفیت ارزیابی این دو عنصر ساختاری تابع اهداف پروژه، مقیاس، منابع مالی، تکنولوژی و

برآورد پتانسیل خطر زمین لغزش

یونسکو وانجمن بین‌المللی زمین‌شناسی مهندسی، خطر طبیعی را وقوع پدیده‌ای مخرب در مکان و زمان مشخص تحت شرایط و عملکرد عوامل خاص تعریف می‌کنند. با توجه به این اصل که، رخدادهای و خطرات طبیعی در آینده تحت شرایطی مشابه با گذشته اتفاق خواهند افتاد، Hollestein (2005) پتانسیل خطر را به‌عنوان احتمال وقوع یا دوره بازگشت یک رخداد طبیعی تعریف کرده است.

در ارزیابی پتانسیل خطر زمین لغزش پس از بررسی‌های اولیه، چهارعامل غالب با دامنه تغییرات قابل توجه در محدوده طرح برگزیده شدند: عامل لیتولوژی که بیانگر ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل دهنده شیب‌هاست، عامل شیب که بیانگر تغییرات هندسی و ریخت‌شناسی دامنه‌هاست، و دو عامل بارش باران و شتاب ناشی از زلزله که در رده مهم‌ترین عوامل محرک محیطی هستند. اطلاعات لازم از منابع مختلف استخراج و پس از پردازش و تأیید به صورت رقومی ثبت گردید. پس از تهیه و ثبت اطلاعات، تهیه نقشه‌های وزنی عوامل مؤثر در وقوع رخدادهای مهم‌ترین مرحله در فرآیند ارزیابی خطر است.

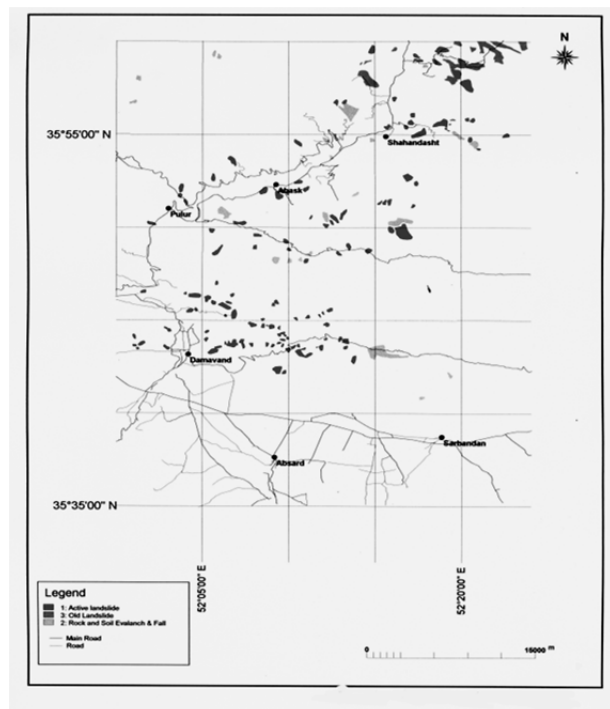
ساخت و هم‌پوشانی نقشه‌های وزنی خطر

هر یک از عوامل مؤثر در ناپایداری و لغزش زمین با یک وزن معرفی می‌شوند. وزن هر عامل ذاتی (مانند ویژگی‌های لیتولوژیکی) بیانگر میزان حساسیت یا تأثیرپذیری آن از نیروهای مخرب است، و در مورد عوامل محیطی (مانند بارندگی یا زلزله) بیانگر تأثیرگذاری یا مشارکت آن در وقوع رخدادهاست. دامنه تأثیر هر عامل در وقوع رخداد زمین لغزش دارای گستره‌ای از صفر (عدم تأثیرگذاری) تا یک (حداکثر تأثیرگذاری) است. چنانچه میزان تأثیر یا مشارکت یک عامل در وقوع رخداد زمین لغزش با وزن ۰/۸ معرفی شود. به مفهوم آن است که این عامل به طور نسبی با احتمال ۸۰ درصد در وقوع رخدادهای مشابه با آنچه در گذشته اتفاق افتاده، مؤثر خواهد بود. برای برآورد وزن یا میزان مشارکت

هوائی ۱/۲۰۰۰۰، داده‌های لرزه‌خیزی، بارش و پوشش گیاهی، استفاده شده است.

ثبت رخدادهای زمین لغزشی منطقه

قدم نخست در پروسه ارزیابی ریسک زمین لغزش، شناسایی و ثبت رخدادهای زمین لغزشی است. این رخدادهای پس از شناسایی با ابعاد واقعی بر روی یک نقشه پایه رسم می‌شوند (شکل ۲). انتخاب نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب به عنوان نقشه پایه می‌تواند اولین گام محسوب می‌شود. شناسایی این رخدادهای به طور عمده با استفاده از داده‌های ثبت شده در گزارش‌های فنی موجود، و تفسیر عکس‌های هوائی بزرگ مقیاس انجام می‌گیرد. کل زمین لغزش‌های ثبت شده به ۱۵۰ مورد می‌رسد. از لایه اطلاعات پراکنش زمین لغزش‌ها به‌عنوان شاخصی مهم در قضاوت کارشناسی، وزن دهی و طبقه‌بندی عوامل استفاده می‌شود. همچنین این داده‌ها جهت ارزیابی نتایج خروجی مدل‌های تلفیق مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مجموع ۲/۶ درصد مساحت کل منطقه طرح دچار گسیختگی و لغزش شده است.



شکل ۲- نقشه زمین لغزش‌های منطقه

(شریعت جعفری و حامدپناه ۱۳۸۶)

برای تعیین اهمیت نسبی عوامل از دیگر روش ها مانند تشکیل ماتریس زوجی و استفاده از مفاهیم نرمال سازی و میانگین موزون نیز در منابعی مانند احمدی و همکاران (۱۳۸۴) استفاده شده است.

ترکیب وزن ها

برآورد پتانسیل خطر وقوع لغزش زمین لغزش در هر نقطه از منطقه حاصل برآیند اثر مجموعه عوامل فوق الذکر است، که با هم پوشانی لایه ها با استفاده از یک مدل قطعی (Deterministic) انجام می شود. در این تحقیق ترکیب وزن ها با استفاده از مدل هم پوشانی شاخص های چند کلاسه انجام شد. در این مدل میانگین اثر وزنی هر پیکسل در نقشه خروجی بر اساس رابطه ۲ تعیین می گردد. این مدل، مدلی است منطقی که امکان ترکیب لایه های اطلاعات را به نحو مطلوب فراهم می کند (بونهام - کارتر ۱۹۹۶)

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n S_{ij} W_i}{\sum_{i=1}^n W_i} \quad (2)$$

در این رابطه: $S =$ میانگین اثر وزنی هر پیکسل یا پلی گون در نقشه است، $S_{ij} =$ اثر وزنی واحد j ام از نقشه i ام و W_i : وزن i امین نقشه ورودی می باشد. برای عملیاتی شدن نقشه نهائی که در برگیرنده طیفی از وزن ها است، با استفاده از نقاط عطف منحنی فراوانی تجمعی وزن ها و تعیین آستانه ها با نظر کارشناسی نسبت به جدایش نقشه نهائی به پهنه هایی از خطر خیلی زیاد تا خطر بسیار کم اقدام شد.

ارزیابی نتایج برآورد خطر لغزش

ارزیابی نتایج خروجی مدل برآورد خطر لغزش زمین با استفاده از شاخص نسبت دانسیته (Dr)، (Gee(1991) انجام شد. رابطه ۳.

$$Dr = \frac{\frac{\sum_i S_i}{\sum_i A_i}}{\sum_i A_i} \quad (3)$$

هر یک از رده های عوامل فوق الذکر در وقوع لغزش زمین در منطقه، از شاخص آماری درصد فراوانی زمین لغزش (رابطه ۱) استفاده شده است. (Bonham Carter et al.(1990), Mukta Sharma et al. (2008)

$$X_i = \frac{A_L}{A_T} \times 100 \quad (1)$$

در این فرمول A_L مساحت پیکسل های لغزشی در هر واحد نقشه عامل و A_T مساحت کل پیکسل های نقشه عامل است. X_i درصد فراوانی زمین لغزش در رده آی ام از متغیر x است، که شاخص حساسیت یا مشارکت آن عامل در وقوع لغزش های منطقه است. در نقشه های وزنی ساخته شده بر اساس شاخص فوق، هر پیکسل در هر نقشه عامل، دارای وزنی مستقل می باشد که بیانگر حساسیت آن واحد زمینی در آن نقشه عامل است.

علاوه بر این که به اجزا یا کلاس های مختلف یک عامل مانند لیتولوژی یا شیب، یک وزن تعلق می گیرد، به هر عامل با توجه به سازوکار تأثیرگذاری آن نسبت به عوامل دیگر نیز یک وزن داده می شود. عوامل در این تحقیق با توجه به دو نوع سازوکار اصلی، در دو گروه مجزا شامل: گروه عوامل محرک محیطی نابرجا و گروه عوامل برجا (شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۴) قرار می گیرند.

با توجه به این که نقش عوامل محرک یا ماشه ای نسبت به دیگر عوامل موثر، در عمده رخدادهای لغزشی گزارش شده تعیین کننده تر بوده، به این گروه عوامل (بارندگی و زلزله) بر اساس قضاوت کارشناسی ضریب تأثیری معادل ۰/۹۲ و به دیگر عوامل مانند (لیتولوژی و شیب) با یک پله تفاوت ضریب تأثیر ۰/۸ داده شد. استدلال های تقریبی (Approximately Reasoning) مبنای قضاوت های کارشناسی و تعریف آستانه ها (Threshold) است. وزن نهائی هر پیکسل در یک نقشه عامل شامل حاصل ضرب وزن پیکسل ضرب در وزن مربوط به اهمیت نسبی آن عامل است. از آنجا که پهنه بندی نقشه خروجی بر اساس جدایش منحنی فراوانی تجمعی وزن ها انجام می گیرد، لازم است گستره عددی امتیازات بین همه نقشه ها هماهنگ و همسان باشد.

جدول ۱- ویژگی‌های پهنه‌های خطر و شاخص ارزیابی مدل در کلاس‌های خطر

ویژگی‌ها پتانسیل خطر	مساحت پهنه خطر به km ²	مساحت پهنه خطر به درصد	مساحت زمین لغزش‌ها به km ²	مساحت زمین لغزش‌ها به درصد	شاخص ارزیابی Dr
خیلی زیاد	۱۰۹/۹۱	۷/۰۶	۱۰/۸۱	۲۵/۹۱	۳/۷۷
زیاد	۳۸۰/۸۳	۲۴/۴۷	۱۵/۰۷	۳۶/۱۳	۱/۵۱
متوسط	۴۷۳/۸۵	۳۰/۴۵	۹	۲۱/۵۸	۰/۷۳
کم	۳۴۵/۱۱	۲۲/۱۸	۵/۹۴	۱۴/۲۴	۰/۶۶
خیلی کم	۲۴۶/۵۴	۱۵/۸۴	۰/۹	۲/۱۵	۰/۱۳
جمع	۱۵۵۶	٪۱۰۰	۴۱/۷۲	٪۱۰۰	---

جاب‌جایی در زمان خطر، شرایط محیطی، عوامل فنی و تکنولوژیکی است. عمده منابع مورد استفاده در ارزیابی آسیب‌پذیری شامل داده‌های تاریخی و داده‌های ثبت شده با پیمایش و اندازه‌گیری‌های دستگاهی است. اجزای آسیب‌پذیر مورد استفاده در ارزیابی ریسک ویژه در این تحقیق عبارتند از: جمعیت، سازه‌های عمرانی، منابع طبیعی و کشاورزی، که در شرایطی تحت تأثیر رخدادهای زمین لغزشی متحمل زیان خواهند شد.

- اولین و مهمترین رده از واحدهای آسیب‌پذیر، واحدهایی هستند که ارزش آنها تابع فراوانی و کیفیت حضور انسان در آن واحدها است. این واحدها در صورتی که در شعاع تأثیر رخدادهای لغزشی واقع شوند زمینه‌ساز وقوع آسیب‌ها و بحران‌های جدی اجتماعی و فرهنگی می‌باشند. در مدیریت بحران‌های ناشی از حوادث طبیعی، توجه به تلفات و خسارات جانی به دلیل تأثیرات اجتماعی زیاد عموماً بیش از خسارات اقتصادی-عمرانی مورد توجه است. در تهیه این لایه از اطلاعات، پراکنش و فراوانی کلیه مناطقی که بطور نسبی احتمال حضور انسان در آنها بود مورد توجه قرار گرفت. برای این منظور سه لایه مجزا (شامل: الف) مناطق مسکونی شهری و روستائی، ب) سازه‌های مسکونی منفرد (مانند کارگاه‌ها، کارخانجات و کپرهای بین شهری) و ج) مکان‌های تردد مانند جاده‌های بین شهری و روستائی، شناسائی و ثبت گردید. مجموع

در این رابطه نماد S_i مساحت لغزش‌ها در هر کلاس خطر، A_i مساحت کلاس i ام و n تعداد کلاس‌ها است. دانسیته لغزش کلاسی با $Dr = 1$ معادل متوسط دانسیته لغزش در کل منطقه و کلاس دارای نسبت دانسیته ۲ دارای دانسیته لغزشی معادل دو برابر متوسط دانسیته لغزش منطقه می‌باشد. بنابراین هر چه تفکیک بین کلاس‌های خطر توسط شاخص نسبت دانسیته بهتر صورت گرفته باشد نقشه از مطلوبیت بیشتری برخوردار است، جدول ۱.

در مجموع مدل در تمایز کلاس‌های متوسط به بالا نسبت به کلاس‌های متوسط به پایین بسیار بهتر عمل نموده است و به بیانی دیگر پیش بینی انجام شده در کلاس‌های متوسط به بالا به واقعیت نزدیک‌تر است.

ارزیابی آسیب‌پذیری (Vulnerability)

آسیب‌پذیری میزان خسارت یک جزء مشخص یا مجموعه‌ای از اجزا از وقوع یک حادثه طبیعی با بزرگی معین می‌باشد و در مقیاس صفر (بدون آسیب) تا یک (تخریب کامل) توصیف می‌گردد. ارزیابی آسیب‌پذیری بر این اصل استوار شد، که با افزایش ارزش اجزای آسیب‌پذیر در یک منطقه؛ خسارات ناشی از زمین لغزش نیز الزاماً افزایش خواهد یافت. سطح آسیب‌پذیری‌ها در مجموع تابعی از شدت و شعاع تأثیر رخدادهای، کیفیت و مقاومت سازه‌ها، کیفیت رعایت استانداردها، آگاهی از روش‌های محافظت شخصی، سهولت

وزندهی واحدهای آسیب پذیر

با توجه به عدم امکان دسترسی به اطلاعات جامع در بسیاری از مناطق، سطح ارزیابی آسیب پذیری در منابع مختلف در گستره‌ای از سطح کاملاً کمی تا نیمه کمی و تا حد یک متغیر بولین متفاوت است (Hollestein, 2005) و از این حقیقت نشأت می‌گیرد که تا به حال خسارات ناشی از رخدادهای طبیعی به‌طور سیستماتیک ثبت و ذخیره نشده‌اند. محققینی مانند Leone et al. (1996), Dai FC et al. (2002) ماتریس آسیب پذیری در ارزیابی‌ها استفاده نمودند. در این روش آسیب پذیری اجزا تابعی از ویژگی‌های لغزش (مانند سطح و دامنه تأثیر) و ویژگی‌های اجزای آسیب پذیر است. در این تحقیق در ارزیابی و وزندهی واحدهای آسیب پذیر منطقه از شاخص آماری فراوانی، شعاع تأثیر رخدادهای محتمل در پهنه‌های خطر (Runout distance) و قضاوت کارشناسی استفاده شد.

از شاخص شعاع تأثیر یا فضای عمل زمین لغزش‌ها، که بیان‌کننده شعاع تخریب و آسیب‌رسانی یک لغزش در یک دامنه با پتانسیل لغزشی است، در تعریف آستانه‌ها و اعمال حریم‌ها (Buffering) استفاده شد. در مجموع به هر زیر لایه متناسب با میزان آسیب پذیری از رخدادهای محتمل و حساسیت یا اهمیت نسبی واحد، امتیازی تعلق می‌گیرد. نتایج ارزیابی واحدهای آسیب پذیر به شرح جدول ۲ می‌باشد. بر اساس این شاخص‌ها نقشه‌های وزنی آسیب پذیری منابع به صورت رقمی تولید گردیدند.

هم‌پوشانی نقشه‌های وزنی آسیب پذیری

ترکیب لایه‌ها با استفاده از مدل هم‌پوشانی شاخص‌های چندکلاسه انجام شد. در این مدل میانگین اثر وزنی هر پیکسل در نقشه خروجی بر اساس رابطه ۲ تعیین می‌گردد. لایه‌های اطلاعات ورودی به مدل، در مجموع ۳۰ لایه اطلاعات مجزای مربوط به سه کلان لایه سازه، جمعیت، منابع طبیعی و کشاورزی است که در نتیجه انجام عملیات ایجاد حریم بر روی ۱۲ زیرلایه حاصل شده است.

مساحت مناطق مسکونی اعم از شهری، روستائی، شهرک‌ها و واحدهای منفرد (وعموماً کارگاهی) ۱۶۳۲ هکتار می‌باشد. از مجموع مساحت مذکور ۱۲۳۸ هکتار در شیب‌های کمتر از ده درجه، ۲۰۴ هکتار در شیب‌های ۱۰ الی ۲۰ درجه، ۱۰۴ هکتار در شیب‌های ۲۰ الی ۳۰ درجه، و ۸۶ هکتار در شیب‌های بیش‌تر از ۳۰ درجه واقع شده‌اند.

- دومین رده از واحدهای آسیب پذیر شامل سازه‌های مسکونی (شهری و روستائی)، سازه‌های راه (اعم از اصلی و فرعی) و سازه‌های انتقال نیرو است. در این مورد در مجموع ۵ لایه اطلاعات مجزا در محیط نرم‌افزاری GIS تهیه و پردازش شد. مجموع طول سازه‌های جاده‌ای منطقه طرح ۵۸۶ کیلومتر است که ۳۸۹ کیلومتر آن مربوط به جاده‌های اصلی و ۱۹۷ کیلومتر آن جاده‌های فرعی است. طول سازه‌های انتقال انرژی (عموماً خطوط فشار قوی برق) ۳۲۲ کیلومتر و مجموع مساحت سازه‌های مسکونی - تجاری منطقه طرح ۱۶۳۲ هکتار می‌باشد.

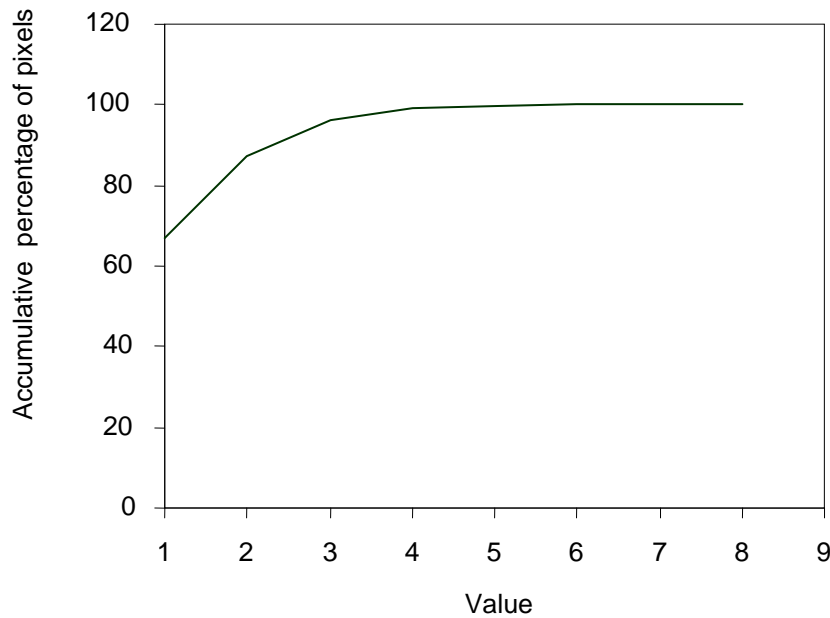
- سومین رده از واحدهای آسیب پذیر، واحدهای منابع طبیعی و کشاورزی می‌باشند که اطلاعات آن‌ها به صورت سه لایه مجزا شامل: الف) باغات، ب) زمین‌های کشاورزی و ج) جنگل‌ها ثبت گردید. آسیب پذیری و تخریب باغات میوه، زمین‌های کشاورزی و منابع طبیعی در پی ناپایداری و لغزش زمین همواره یکی از عوامل ایجاد بحران‌های محلی و زیست‌محیطی بوده است. حفظ جنگل‌ها بعنوان ثروت ملی در کنار دیگر منابع زیست‌محیطی و کشاورزی و ایجاد تمهیدات لازم در مقابله با بلایای طبیعی تخریب کننده موضوعی است که با برآورد ریسک، مدیریت می‌شود. هر چند ممکن است تخریب این منابع به اندازه تخریب سازه‌های عمرانی مانند راه‌ها و واحدهای مسکونی بحران‌ساز نباشد اما با درجات کم‌تر تأثیر مورد توجهی در ایجاد بحران‌های محلی دارد. لذا از این پارامتر نیز به عنوان یکی از اجزای تأثیرگذار مهم در ریسک استفاده شده است. در مجموع ۳۹۳۸ هکتار باغ، ۱۸۲۴۶ هکتار مزرعه، و ۹۳۹۸ هکتار جنگل در منطقه ثبت شد.

جدول ۲- وزن دهی به ویژگی‌های طبقه‌بندی شده واحدهای آسیب‌پذیر از لغزش زمین در منطقه (شریعت جعفری ۱۳۸۵)

واحد های کلان آسیب پذیری	وزن (حساسیت)	واحد های خرد آسیب پذیری	وزن	کلاس	وزن کلاس	وزن نهایی		
جمعیت (آسیب پذیری‌های انسانی)	۱	پلی گون شهر- شهرک- روستا	۱	داخل پلی گون	۱	۱		
				۰-۸۰۰ m	۰/۷	۰/۷		
				خارج پلی گون	۰/۱	۰/۱		
		پلی گون موضعی (کپر، کارگاه...)	۱	داخل پلی گون	۱	داخل پلی گون	۱	۱
						۰-۵۰۰ m	۰/۷	۰/۷
						> ۵۰۰ m	۰/۱	۰/۱
		مسیر آمد و شد بین شهری (جاده‌های اصلی)	۰/۸	سطح جاده اصلی	۱	سطح جاده اصلی	۱	۰/۸
						۰-۱۰۰ m	۰/۵	۰/۴
						خارج از جاده	۰/۱	۰/۰۸
		مسیر آمد و شد شهری- روستائی (جاده‌های فرعی)	۰/۸	سطح جاده فرعی	۱	سطح جاده فرعی	۱	۰/۸
						۰-۵۰ m	۰/۵	۰/۴
						خارج از جاده	۰/۱	۰/۰۸
سازه ها (آسیب پذیری‌های عمرانی- مسکونی)	۰/۸	سازه‌های جاده‌ای اصلی	۱	جاده اصلی	۱	۰/۸		
				۰-۱۰۰ m	۰/۴	۰/۳۲		
				خارج از جاده	۰/۱	۰/۰۸		
		سازه‌های جاده‌ای فرعی	۰/۸	سطح جاده فرعی	۱	سطح جاده فرعی	۱	۰/۶۴
						۰-۵۰ m	۰/۴	۰/۲۵
						خارج از جاده	۰/۱	۰/۰۶
		سازه‌های انتقال نیرو (برق)	۱	خط انتقال	۱	خط انتقال	۱	۰/۸
						خارج از خط	۰/۱	۰/۰۸
						سازه‌های مسکونی (شهر و روستا و شهرک)	۱	داخل پلی گون
		خارج پلی گون	۰/۱	۰/۰۸				
		سازه‌های مسکونی- تجاری موضعی	۰/۸	داخل پلی گون	۱	داخل پلی گون	۱	۰/۶۴
						خارج پلی گون	۰/۱	۰/۰۶
منابع طبیعی و کشاورزی	۰/۶	باغ	۱	داخل پلی گون	۱	۰/۶		
				خارج پلی گون	۰/۱	۰/۰۶		
		اراضی زراعی	۰/۸	داخل پلی گون	۱	۰/۴۸		
				خارج پلی گون	۰/۱	۰/۰۴		
جنگل	۰/۶	داخل پلی گون	۱	۰/۳۶				

نقشه تولید شده یک نقشه رقومی است که هر پیکسل آن مربعی به ابعاد 63×63 متر می باشد. هر پیکسل دارای یک اثر وزنی است که عبارت از میانگین وزنی مجموعه شاخص های آسیب پذیری است. با توجه به اینکه استفاده از نقشه رقومی با

راهنمای پیوسته برای کاربر مشکل است، با جدایش منحنی فراوانی تجمعی وزن ها (شکل ۳) براساس نقاط عطف، نقشه آسیب پذیری به سه کلاس حساس، حساسیت متوسط و کم تا بدون حساسیت تفکیک گردید (شکل ۴).

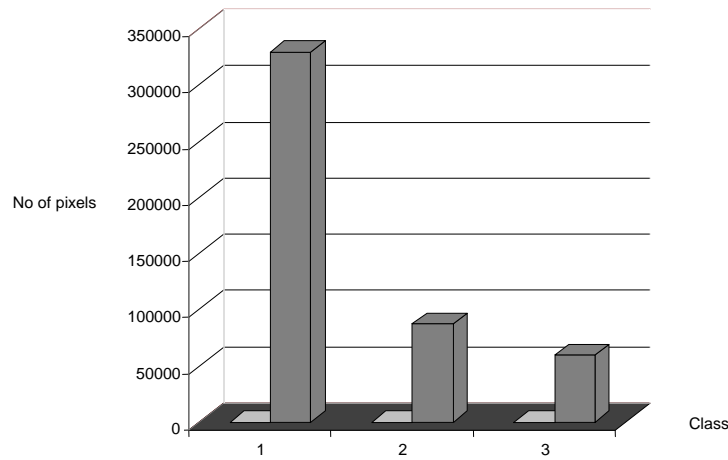


شکل ۳- منحنی فراوانی تجمعی اوزان مستخرج از نقشه وزنی آسیب پذیری

برآورد ریسک ویژه زمین لغزش

برای برآورد ریسک ویژه رانش زمین دو نقشه کلاسه بندی شده خطر و آسیب پذیری قطع داده شدند. سپس براساس جدول دوبعدی زیر (جدول ۳) تلفیق کلاس های خطر و آسیب پذیری در مدل ارزیابی ریسک رانش زمین (شریعت جعفری ۱۳۸۵) انجام شد. حاصل عملیات نقشه وزنی ریسک ویژه منطقه است. در این نقشه هر پیکسل دارای یک مقدار عددی است که وزن نامیده می شود و به طور نسبی نشان دهنده پتانسیل آسیب پذیری آن نقطه از رخدادهای احتمالی لغزش در آینده است. رخدادهای لغزشی در آینده تحت شرایطی مشابه با گذشته اتفاق خواهند افتاد.

در مجموع $77/66$ درصد مساحت منطقه در کلاس کم تا بدون حساسیت، $18/4$ درصد در کلاس متوسط و $12/84$ درصد در کلاس حساس قرار می گیرند (شکل ۳). از کل مساحت منطقه $0/3$ درصد معادل ۱۲ پیکسل دارای وزن ۷ تا ۸ می باشند. نقاطی با وزن ۴ تا ۶ در مجموع کمتر از یک درصد (معادل ۴۳۳۶ پیکسل) را شامل می گردند. بقیه منطقه که شامل ۹۹ درصد است دارای وزنی بین ۱ تا ۴ می باشند. بر این اساس نقاط بحرانی (بسیار آسیب پذیر) منطقه به سهولت قابل شناسایی است و در مدیریت بحران بسیار کارا است.



شکل ۴- هیستوگرام فراوانی پهنه‌های آسیب‌پذیر در منطقه (۱: کم ۲: متوسط ۳: زیاد)

جدول ۳- جدول دو بعدی تلفیق کلاس‌های خطر و آسیب‌پذیری در مدل ارزیابی ریسک رانش زمین (شریعت جعفری ۱۳۸۵)

E (بسیار پایین)	D (پایین)	C (متوسط)	B (بالا)	A (بسیار بالا)	خطر رانش زمین آسیب‌پذیری
E	D	C	B	A	A) بسیار بالا)
E	D	C	B	B	C) (متوسط)
E	E	E	E	E	E) (بسیار پایین)

بحث و نتیجه‌گیری

- هدف نهائی همه تئوری‌های مورد استفاده در ارزیابی و تحلیل ریسک، حل و تعیین عدم قطعیت‌ها است که در بسیاری از مسائل ناشی از ابهام است. ابهام در حدود و مرز صفات نسبت داده شده به رخدادهای طبیعی (مانند دامنه و کیفیت تأثیر رخدادهای زمین‌لغزشی) که عموماً مشتق از تعریف آستانه‌ها (Threshold) توسط کارشناس خبره و قضاوت‌های کارشناسی است. این تعاریف همراه با نوعی استدلال تقریبی است که اساس نظرات کارشناسی می‌باشد و کاملاً بستگی به اهداف کاربر دارد. بنابراین صحبت از کارائی یک مدل، یک امر نسبی است.
- مدل هم‌پوشانی شاخص‌های چند کلاسه که در ترکیب داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته، مانند مدل ضرب جبری

چنانچه آمار و ویژگی‌های رخدادهای گذشته و متغیرهای مرتبط با آن‌ها برای منطقه‌ای ثبت شده برآورد احتمال ریسک کل نیز برای دوره‌های بازگشت مختلف مقدور خواهد بود. برای این‌که نقشه وزنی ریسک ویژه برای کاربران قابل استفاده باشد با کلاسه‌بندی منحنی تجمعی اوزان، منطقه به پنج کلاس از ریسک بسیار بالا تا ریسک بسیار پائین تقسیم گردید. آنچه که مسلم است تغییر کاربری‌های موجود، بر مقدار ریسک تأثیر خواهد داشت و بنابراین هرگونه تغییر کاربری و یا تغییر فراوانی منابع یا اجزای ریسک باید همراه با تمهیدات لازم و کافی باشد.

با توجه به این‌که مدل هم‌پوشانی شاخص‌های چندکلاسه مورد استفاده در ساخت نقشه‌های وزنی ریسک، عمل‌گری افزایشی است، کاربرد مقادیر ریسک نقشه خروجی این تحقیق در طرح‌های توسعه و آمایش سرزمین، خاص کاربری‌های حساس است.

- نقشه ریسک ویژه منطقه، به طور بالقوه سطح آسیب پذیری مجموع عوامل آسیب پذیر در هر نقطه را برای طراحان طرح های توسعه و سرمایه گذاران محلی و منطقه ای نشان می دهد و پیش بینی افزایش زیان و آسیب پذیری را به طور کیفی در تغییر کاربری ها یا تغییر فراوانی منابع، برای کاربران ممکن می سازد.
 - با توجه به تنوع ایده ها، متدولوژی ها و ابزارهای سنجش و پیشرفت های سریع تکنولوژیکی در دنیا، برای رفع نیازها در سطح ملی، نیازمند تحقیقاتی منسجم و مدیریت شده در غالب برنامه های راهبردی هستیم.
- فازی عملگری افزایشی است. بنابراین امتیاز زیاد در پیکسل های خروجی این مدل، بیانگر حساسیت زیاد آن (تا بیش از دو برابر) نسبت به امتیاز زیاد در پیکسل های مشابه در عملگرهای کاهشی است. بنابراین کاربرد نتایج این مدل در طرح های توسعه و آمایش سرزمین خاص کاربری های حساس است. نتایج این مدل در این منطقه می تواند مبنای تعریف مقررات حفاظتی، طراحی راهکارها و طراحی فوریت ها باشد. این ها از عناصر اصلی مدیریت ریسک بلایای طبیعی هستند.

منابع

- احمدی، حسن. ابادر، اسماعیلی. سادات، فیض نیا. محسن، شریعت جعفری (۱۳۸۲) پهنه بندی خطر حرکت های توده های با دو مدل رگرسیون چندمتغیر (MR) و تحلیل سلسله مراتبی (AHP) مجله علمی - پژوهشی منابع طبیعی ایران (دانشگاه تهران)، جلد ۵۶ شماره ۴
- گریم اف. بوهام کارتر: ۱۳۷۹. سیستم های اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین، ترجمه و نشر گروه GIS سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شریعت جعفری، محسن. رامین، حامد پناه. (۱۳۸۶) پیش بینی خطر ناپایداری شیب های طبیعی با استفاده از عملگرهای ضرب و جمع جبری فازی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۰، شماره ۳، ص ۷۴۵-۷۵۸
- شریعت جعفری، محسن. جعفر، غیومیان. نادر، جلالی. علی، غفاری (۱۳۸۵) پهنه بندی خطر و ریسک ویژه زمین لغزش در البرز مرکزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش نهائی طرح تحقیقاتی خاص، ۱۱۰ص
- مهدویفر، محمدرضا (۱۳۸۶) ارزیابی تحلیلی و طراحی سامانه جامع مدیریت ریسک زمین لغزش های ناشی از زلزله، پایان نامه دکتری، لرزه شناسی، پژوهشکده ژئوتکنیک، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
- Abbot B, Bruce I, Savigny W, Keegan T, Oboni F (1998b) Application of a new methodology for the management of rockfall risk along a railway. In: Moore D, Hungr O (eds) Proceedings of the 8th IAEG Congress, Vancouver, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1195-1200
- Abbut B, Bruce I, Savigny W, Keegan T, Oboni F (1998a) A methodology for the assessment of rockfall hazard and risk along linear transportation corridors. In: Moore D, Hungr O (eds) Proceedings of the 8th IAEG Congress, Vancouver, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1195-1200
- AS/NZS 4360 (1999). Risk Management, Standards Australia/Standards New Zealand.
- AIRMIC, ALARM, IRM,(2002). A Risk Management Standard, www.airmic.com
- Baynes FJ, Lee EM (1998) Geomorphology in landslide risk analysis, an interim report. In: Moore D, Hungr O (eds) Proceedings of the 8th IAEG Congress, Vancouver. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1129-1136
- BSI. (2000), British Standard Project Management Part 3: Guide to the management of business related project risk (BS6079-3:2000). Technica Committee MS/2 British Standards Institutio
- Carrara A, Cardinali M, Guzzetti F (1992) Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. ITC J 2:172-183
- Chacon J, Irigaray C, Fernandez T, El Hamdouni r, (2006) Engineering geology maps: landslides and GIS, Bull Eng. Geo. Environ. 65: 341 -411

- Chardon AC. (1999) A geographic approach of the global vulnerability in urban area, *Geo. Journal* 49: 197 – 212
- CAN/CSA- Q850-97 (1997) Risk Management: Guideline for Decision Makers, Canadian Standards Association. Rexdale, Ontario.
- Dai FC, Lee CF, Ngai YY (2002) Landslide risk assessment and management: an overview. *Eng Geol* 64(1):65-87
- Einstein HH (1988) Special lecture: landslide risk assessment procedure. In: *Proceedings of the Vth ISL Lausanne*, vol 2, pp 1075-1090
- Fell R (1992) Some landslide risk zoning schemes in use in Eastern Australia and their application. In: *Proceedings of the VIth Australian-New Zealand conference on geomechanics society*, Christchurch, NZ, pp 505-512
- Fell R (1994) Landslide risk assessment and acceptable risk. *Can Geotech J* 31:261-272
- Fell R, Hartford D (1997) Landslide risk assessment. In: Cruden D, Fell R (eds) *Landslide risk assessment. Proceedings of the international workshop on landslide risk assessment*, Honolulu. Balkema, Rotterdam, pp 51-110
- Gee, D. Michael. (1991) Classification of Landslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability. *Proceeding of the 6th International Symposium on Landslide*, Balkema, Landslides. 31: 947-958
- Guzzetti F, Reichenbach P, Wieczorek GF (2003b) Rockfall hazard and risk assessment in the Yosemite Valley, California, USA. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 3:491-503
- Hollestein K (2005) Reconsidering the risk assessment concept: standardizing the impact description as a building block for vulnerability assessment. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 5:301-307
- JSA. (2001) Guidelines for development and implementation of risk management system. Japanese Standards Association, Japan
- Laird RT, Perkins JB, Bainbridge DA, Baker JB, Boyd RT, Huntsman D, Staub PE, Zucker MB (1979) Quantitative land-capability analysis. *US Geological Survey Professional Paper 945*. US Department of Interior, Washington, 115 pp
- Leroueil S, Locat J (1998) Slope monements__geotechnical characterization, risk assessment and mitigation. In: Moore D, Hungr O (eds) *Proceedings of the 8th IAEG Congress*, Vancouver. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 933-944
- Liu X, Lei J (2003) A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaoton of Yunnan province (SW China). *Geomorphology* 52:181-191
- Liu X, Yue ZQ, Tham LG, Lee CF (2002) Empirical assessment of Debris flow risk on a regional scale in Yunnan, southwestem China. *Environ Manage* 30(2):249-264
- Leone F, Aste J.P, Leroi E, (1996) Vulnerability assessment of elements exposed to mass-moving; working toward a better risk perception, In: Senneset, K.(Ed.), *Landslides*, Balkema, Rotterdam, pp. 263-269.
- Mallamud BD (2003) A universal probability distribution for landslide events. *Geophys Res Abstr* 5:04399
- Maquaire O, Thiery Y, Malet P, Weber C, Puissant A, Wania A (2004) Current practices and assessment tools of landslide vulnerability in mountainous basins identification of exposed elements with a semiautomatic procedure. In: Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (eds) *Landslides: evaluation and stabilization*. Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp171-176
- Prina E, Bonnard Chr, Vulliet L (2004) Vulnerability and risk assessment of a mountain road crossing landslides. *Riv Ital Giotec* 2:67-79
- PMBOK GUIDE (2004) A Guide to the Project Management Body of Knowledge, Project management Institute, Four campus Boulevard Square, PA19073-3299 USA,
- Remondo J, Bonachea J, Cendrero A (2004) Probabilistic landslide hazarde and risk mapping on the basis of occurrence and damages in the recent past. In: Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (eds) *Landslides:evaluation and stabilization*. Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp 125-130
- Rocha GC (2004) Landslide risk mapping methodology applied to medium size urbanities in Brazil:case study of Juiz de For a town, Minas Gerais syate. In:Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (eds) *Landslides: evaluation and stabilization*. Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp 297-302
- Rautela P, Lakhera RC (2000) Landslide risk analysis between Giri and Tons rivers in Himachal Himalaya. *IAG* 2(3/4):153-160

- Spiker EC, Gori PL (2000) National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction. Open-file report 00-450, Department of Interior, U.S.G.S., USA, 49 PP
- Spiker EC, Gori PL (2003a) Partnerships for reducing landslide strategy. The National Academy of Sciences Press, Washing, DC
- Spiker EC, Gori PL (2003b) National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction. USGS Circular 1244. US Department of Interior, U.S.G.S. Reston, Virginia, 56 pp
- Spizzichino D, Falconi L, Delmonaco G, Margottini C, Puglisi V (2004) Integrated approach for landslide risk assessment of Craco village (Italy). In: Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (eds) Landslides: evaluation and stabilization. Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp 273-242
- Stevenson PC (1977) An empirical method for the evaluation of relative landslide risk. Int Ass Eng Geol Bull 16:69-72
- Van Westen CJ (2004) Geoinformation tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (eds) Landslides: evaluation and stabilization. Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp 39-56
- UN/ISDR (2005) Living with Risk: focus on disaster risk reduction - United Nations International Strategy for Disaster Reduction - p16
- Varnes DJ (1984) International Association of Engineering Geology Commission on landslides and Other Mass Movements on Slopes. Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Int Assoc Eng Geol, UNESCO Natural Hazards Series no. 3, 63 pp
- Wu Q, Ye S, Wu X, Chen P (2004) Risk assessment of earth fractures by constructing an intrinsic vulnerability map, a specific vulnerability map, and a hazard map, using Yuci city, Shanxi, China as an example. Environ Geol 46:104-112
- Xie QM, Xia YY (2004) Systems theory for risk evaluation of landslide hazard. Int. J. Rock Mech Min Sci, Vol 41, no.3, CD-ROM, Elsevier, Netherland