پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی) شماره ۱۰۴، پاییز ۱۳۹۳

تدوین و ارائه برنامه مدیریت زمین‌لغزش در دو سناریوی عادی و بحرانی در آبخیز زیارت استان گلستان

• **علی عبدالله زاده**
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسئول)
• **مجید اونق**
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
• **امیر سعدالدین**
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
• **رئوف مصطفی زاده**
دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری
تاریخ دریافت: فروردین ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: دی ماه ۱۳۹۳
Email: aliabdollahzadeh66@gmail.com

چکیده

خطرات طبیعی عامل بروز خسارات و تلفات بسیاری در کشور هستند که با شناسایی مناطق مستعد وقوع آن‌ها، می‌توان آسیب‌پذیری احتمالی را تا حد زیادی کاهش داد. پهنه‌بندی خطر و خسارت زمین‌لغزش از اقدامات اولیه در کاهش خسارات جانی و مالی احتمالی و مدیریت خطر است. در این پژوهش، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با مدل آماری دو متغیره تراکم سطح، وزن‌دهی شده با تحلیل سلسله مراتبی به منظور تعیین مناطق خطر زمین‌لغزش برای مدیریت خطر و خسارت در آبخیز زیارت گرگان مورد ارزیابی قرار گرفت. نقشه خسارت با ترکیب نقشه‌های شدت خطر، فراوانی عناصر در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری عناصر براساس معادله عمومی ریسک تهیه شد و برنامه مدیریت زمین‌لغزش در دو سناریوی عادی و بحرانی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره تدوین شد. نتایج نشان داد، ۲۷/۴۵ درصد از سطح حوضه مورد پژوهش در کلاس خطر زیاد و ۴/۳۷ درصد در کلاس خطر خیلی‌زیاد قرار دارد. همچنین ۷/۸۶ درصد از سطح حوضه در کلاس خسارت زیاد و ۲۵/۶۹ درصد در کلاس خسارت خیلی‌زیاد قرار می‌گیرد. کل خسارت اقتصادی برآورد شده در آبخیز زیارت حدود ۲/۲۵ میلیارد ریال می‌باشد، که با اعمال برنامه مدیریتی در سناریوی عادی ۳/۲ درصد از سطح حوضه نیاز به استراتژی اجتناب از خطر و ۵۰/۸ درصد آن (در مناطق جنگلی و مرتعی) نیاز به اقدامات کنترلی دارد. نهایتاً در سناریوی بحرانی برای قسمت میانی و نزدیک خروجی حوضه با تراکم فعالیت انسانی بالا، ۴۴/۳ درصد از سطح حوضه به اجتناب از خطر و ۲۹ درصد به اقدامات کنترلی نیاز دارد.

کلمات کلیدی: خطر زمین‌لغزش، خسارت زمین‌لغزش، برآورد خسارت اقتصادی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، برنامه مدیریت زمین‌لغزش.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 104 pp:75-84

Development of a landslide management plan under normal and critical scenarios for Ziarat Watershed, Golestan Province

By:A. Abdollahzadeh, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran (Corresponding Author). M. Ownegh, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. A. Sadoddin, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. R. Mostafazadeh, PhD, Watershed Engineering.

Destructive natural hazards are causing considerable damage in several parts of Iran. Identification of Hazard-prone areas is the key to developing effective vulnerability reduction measures regarding probable hazards. Landslide hazard and risk zonation is one of initial stages in management plans of landslide to reduce loss of life, human sufferings and economic losses. In this study, the AHP-weighted bivariate (density-area) method was used for landslide hazard mapping in the Ziarat Watershed, Golestan Province. Landslide risk zoning was implemented considering the outcomes of landslide hazard mapping, elements at risk, and vulnerability degree of according to the general risk equation. The landslide management plan was developed using the multi-criteria evaluation technique for normal and critical scenarios in the study area. The results show that 27.45% and 4.37% of the study area was determined as high and very-high hazard classes, respectively. In addition, 7.86% of the watershed area located in low risk class, and 25.69% assigned as high and very high risk class. The total estimated economic losses were around 2251405 million Iranian Rials. Considering the application of management scenario in the normal condition, 3.2% of the area requires a strategy of risk avoidance and control measures are needed for 50.8% of the area (in the forest and pasture land-uses). While in the critical scenario, 44.3% of the study area need to avoiding the risk and control measures should be employed in the 29% of the area (both located middle and adjacent to the watershed outlet) with high human activities.

Keywords: Economic loss estimation, Landslide management plan, Multi-criteria evaluation, Landslide risk, Landslide hazard

مقدمه

زمین‌لغزش عبارت اســت از حرکت مواد تشکیل دهنده شیب، شامل، خاک، انباشته‌های مصنوعی و یا مخلوطی از آن‌ها که توسط نیروی ثقل به ســمت پایین جابه‌جا می‌شوند (Radbruch-Hall و Varnes، 1976). زمین‌لغزش‌ها نتیجه فرآیندهای مکانی-زمانی به هم وابسته هیدرولوژیــک (بارش، تبخیر و آب زیرزمینی)، وزن پوشــش گیاهی، مقاومت ریشه، وضعیت خاک، ســنگ مادر، توپوگرافی و فعالیت‌های انسانی هستند (Wu و Sidle، 1995). توپوگرافی کوهستانی ایران، فعالیت زمین‌ســاختی و لرزه‌خیزی زیاد، وضعیت متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، افزایش جمعیت و فشــار بــر منابع طبیعی و تغییر کاربری در دهه‌هــای اخیر، شــرایط طبیعی بــرای بروز طیفی گســترده از زمین‌لغزش‌ها را فراهم نموده اســت (پورقاسمی و همکاران، ۱۳۸۸؛ مرادی و همکاران، ۱۳۸۹ و کریمی‌ســنگ‌چینی و همکاران، ۱۳۹۲). برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش سه رویکرد کیفی، نیمه‌کمی و کمی وجود دارد (Lee، 2004). روش‌های کمی بر پایه منطق‌های ریاضی و همبســتگی بین فاکتورهای موثر و وقوع زمین‌لغزش استوارند ولی روش‌های کیفی بر پایه نظرات کارشناســی استوارند (Fall، 2006 و Caniani و همکاران، 2008). روش‌های کیفی که از روش وزن‌دهی و نرخ‌دهی اســتفاده می‌کنند به عنوان روش‌های نیمه‌کمی شناخته می‌شــوند که مدل آماری دومتغیره وزن‌دهی شده با روش AHP1 در این دســته قرار می‌گیرد (Yalcin، 2008). علی‌رغم پیشــرفت دانش بشری در زمینه ارزیابی علل وقوع زمین‌لغزش‌ها و توسعه سریع قابلیت‌های مهندسی جهت پیش‌بینی و کنترل آن‌ها به دلایل رشد و توسعه مناطق و دخالت‌های غیرمجاز انسان در وضع طبیعی دامنه‌ها، خســارات و تلفات ناشی از زمین‌لغزش‌ها رو به فزونی می‌باشد. معادله عمومی ریسک، سطح خسارت را به عنوان نتیجه درون بخشی خطر، عناصر خسارت و آسیب‌پذیری زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهد. خسارت زمین‌لغزش به طور ســاده با استفاده از ســه فاکتور ۱) احتمال وقوع زمین‌لغزش با یک بزرگی معین ۲) عناصر ارزش گذاری شده خسارت ۳) آسیب‌پذیری، به دست می‌آید (Crozier و Glade، 2005).

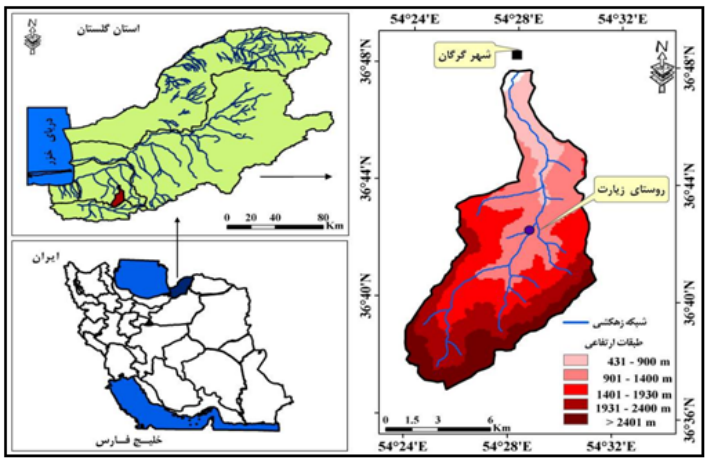
اونق (۱۳۹۱) در پژوهشــی با ترکیــب متفاوت ۱۱ پارامتر کلیدی در حوضه زیارت و تقسیم آن به دو مدل وزنی استاتیک و دینامیک هفت پارامتری و پنج کلاســه، پتانسیل خطر زمین‌لغزش را پهنه‌بندی و بر اساس نقشــه خطر مدل برتر (اســتاتیک) از معادله عمومی ریسک، پتانسیل خسارت آن را به تفکیک سازه‌های مهندسی و منابع طبیعی برآورد نموده است. کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از مــدل آمــاری دو متغیره وزن‌دهی شــده با روش AHP، نقشــه خطر زمین‌لغزش حوضه چهل‌چای در اســتان گلستان را پهنه‌بندی

نمـــوده و مبتنـــی بر معادله عمومی ریســـک، خســـارت زمین‌لغزش بـــرآورد کرد. هم‌چنین Dai و همـــکاران (2002) با ارزیابی خطر و خسارت زمین‌لغزش، چهارچوبی برای تدوین استراتژی‌های مدیریتی زمین‌لغزش شـــامل برنامه‌های کنترلی، راه‌حل‌های مهندسی، پذیرش خسارت در صورت اجتناب ناپذیر بودن واقعه و راهکارهای تسکینی و سیستم هشدار ارائه نمودند. Zezere و همکاران (2008) با استفاده از مدل آماری دومتغیره نقشـــه خطر زمین‌لغـــزش را پهنه‌بندی و با اســـتفاده از فرمول ریسک نقشه خســـارت را تهیه نمودند. بر اساس نتایج ایشان تخمین خسارت وارده به ساختمان‌ها، خودروها و راه‌ها به عنوان عناصر اصلی در معرض خطر، دشوار بوده و خسارت جانی قابل تحلیل نیســـت. Holcombe و Anderson (2010) در بررســـی فعالیت‌های غیرمجاز خانه‌ســـازی در شـــرق جزایر کارئیب، اقدامات مدیریتی پیشگیرانه را نســـبت به روش‌های درمانی و مقابله با بلایا و جبران خسارت ارجح دانســـته‌اند و مهاجرت مردم از نواحی مسکونی مســـتعد به زمین‌لغزش به پهنه‌های کم خطر را از اقدامات پیشگیری مدیریتی مهم معرفی کردند. بر اســـاس یک برآورد اولیه، سالانه ۵۰۰ میلیارد ریال خسارات مالی از طریق لغزش‌ها به کشور تحمیل می‌شود و این در صورتی است که از بین رفتن منابع طبیعی غیر قابل بازگشت به حساب آورده نشوند (نصیری، ۱۳۸۳). در آبخیز زیارت، خصوصیات لیتولوژیکی ســـازند خـــوش ییلاق و وجود لایه‌های مارنی-شـــیلی و وجود درز و شـــکاف‌های نفوذپذیر امکان وقوع لغزش را افزایش داده اســـت. افزایش بارگذاری در اثر ساخت و ساز بی رویه و توسعه مناطق مسکونی، ایجاد سطوح گسیختگی ناشی از جاده‌سازی و ایجاد ترانشه و نیز تخریب پوشش گیاهی و کشاورزی در دامنه های شیبدار آبخیز زیارت، ســـبب لغزش لایه‌های زمین و نیز وقوع جریان‌های واریزه‌ای و ایجادخســـارت جانی و مالی شده است. بر اساس مشاهدات میدانی، ۱۱۰ مورد زمین‌لغزش در آبخیز زیارت اســـتان گلســـتان شناسایی و نقشه پراکنش آنها تهیه شـــده است. انتخاب مناسب‌ترین روش برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در یک منطقه، باعث می‌شود با اطمینان بالاتری به نتایج، جهت پیشگیری و بهبود شرایط، اقدامات لازم انجام شود. با توجه به قابل قبول بودن تفکیک‌پذیری بین کلاس‌های خطر از مدل آماری دو متغیره برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش اســـتفاده شد. هم‌چنین صحت نتایج مدل آماری دو متغیره در در پژوهش‌های کلارســـتاقی و همکاران، ۱۳۸۶)، شـــادفر و همکاران (۱۳۸۷)، اونق (۱۳۹۱) و کریمی‌سنگ‌چینی و همکاران (۱۳۹۲) در مناطقی مشابه خصوصیـــات منطقه مورد مطالعـــه مورد تائید قرار گرفته اســـت. در مجموع بر اساس سوابق پژوهش، علیرغم وجود پژوهش‌های متعدد در زمینه ارزیابی خطـــر زمین‌لغزش و عوامل موثر برآن، ارائه راهکارهای کنترلی و مدیریتی زمین‌لغزش و برآورد سطح خسارت اقتصادی ناشی از وقوع آن نیازمند پژوهش بیش‌تر در این زمینه است. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی خطر و خســـارت زمین‌لغـــزش در آبخیز زیارت گرگان بـــه منظور ارائه برنامه مدیریت با تدوین اســـتراتژی‌های مدیریتی در راستای کاهش خسارت ناشی از این پدیده مخرب است.

مواد و روش‌ها

خصوصیات منطقه مورد مطالعه

حوضـــه آبخیز زیـــارت بـــا مســـاحت ۱۰۲ کیلومترمربـــع و یکی از زیرحوضه‌های رودخانه قره‌ســـو می‌باشد که در بالا دست جنوب شهر گرگان قـــرار دارد. در محدوده جغرافیایی "۱ '۳۷ °۳۶ تا "۵۵ '۴۵ °۳۶ عرض شـــمالی و "۴۷ '۲۳ °۵۴ تا "۱۱ '۳۱ °۵۴ طول شرقی واقع شده اســـت. موقعیت آبخیز مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده اســـت. میانگین بارش ســـالانه منطقه ۵۷۵ میلی‌متر، میانگین دمای ســـالانه ۱۷ درجه سانتی‌گراد و شـــیب متوسط حوضه ۲۳/۱۸ درصد اســـت. پایین‌تریـــن ارتفاع آن ۳۵۶ متـــر و بالاترین ارتفاع آن ۲۹۵۰ متر می‌باشـــد. سازندهای زمین‌شناســـی حوضه زیارت شامل ســـازند خوش ییلاق، لار، مبارک، شمشک و شیست گرگان می‌باشد و بخش عمده حوضه کوهســـتانی می‌باشد. کاربری‌های اراضی منطقه به ترتیب مساحت شامل جنگل، مرتع، کشاورزی و مسکونی می‌باشد. گونه‌های جنگلی شـــامل توســـکا، ممرز، بلوط، راش، انجیلی و نمدار و درختچه ژونیپروس و گونه‌های مرتعی بروموس ســـاختار پوشـــش گیاهی منطقه را تشـــکیل داده است (مهندسین مشاور پژوهاب شرق گلستان، ۱۳۸۸).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

روش پژوهش

یکی از مهمترین مراحل ارزیابی خطر زمین‌لغزش، شناسایی و تهیه نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌های موجود در حوضه می‌باشد. بدین منظور با انجام بازدید میدانی، استفاده از اطلاعات محلی و GPS و هم‌چنین با استفاده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش (تهیه شده از تفسیر عکس هوایی و بازدید میدانی توسط اداره آبخیزداری استان گلستان سال ۱۳۸۶ نقشه نهایی پراکنش زمین‌لغزش‌ها به صورت پلی‌گونی تهیه و اصلاح گردید (پورقاسمی و همکاران، ۲۰۱۲). در مرحله بعد، نقشه عوامل موثر وقوع زمینلغزش با نقشه پراکنش لغزش‌ها همپوشانی شدند و با استفاده از روش آماری تراکم سطح، نرخ تراکم سطح در هر یک از طبقات نقشه‌های عوامل موثر مشخص گردید و سپس وزن‌دهی عوامل با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام گرفت و خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش با فرمول عمومی ریسک برآورد گردید و در نهایت با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره، برنامه مدیریت زمین‌لغزش تهیه گردید که جزئیات آن در بخش‌های بعدی ارائه شده است.

پهنه‌بندی خطر با مدل آماری دومتغیره تراکم سطح، وزن‌دهی شده با AHP

برای انجام این پژوهش نقشه عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش شامل شامل زمین‌شناسی، بارندگی، فاصله از آبراهه، فاصله از گسل و شیب در محیط GIS تهیه سپس نقشه هر یک از عوامل موثر با نقشه پراکنش زمین‌لغزش در محیط سامانه اطلاعات جغرافیائی همپوشانی شدند و مساحت و درصد زمین‌لغزش در هر طبقه از نقشه عوامل محاسبه و سپس استفاده از معادله تراکم سطح، نرخ هر طبقه محاسبه گردید (کلارستاقی و همکاران، ۱۳۸۶) معادله (۱).

$$R\ a = 1000 \times (A/B) - 1000 \times (C/D) \qquad (۱)$$

که در آن، Ra: نرخ تراکم سطح، A: مساحت لغزش‌های هر واحد، B : مساحت هر واحد C: مساحت کل لغزش در حوضه، D : مساحت کل حوضه می‌باشد. در این مدل وزن عوامل در نظر گرفته شده توسط تحلیل سلسله مراتبی یا مقایسه زوجی محاسبه شد. مقایسات زوجی توسط ۸ متخصص دانشگاهی و ۶ متخصص اجرایی (کارشناسان زمین‌لغزش) و با نرم‌افزار 11-Expert Choice انجام شد (Saaty، 1980). در نهایت با ضرب نرخ در وزن هر عامل، نقشه خطر تهیه گردید.

ارزیابی خسارت کیفی و ریالی زمین‌لغزش

خسارت کلی زمین‌لغزش با معادله عمومی ریسک R=H. E. V برآورد می‌شود (Varnes، 1984). که در آن، R خسارت، H بزرگی خطر، E عناصر در معرض خطر و V درجه آسیب‌پذیری عناصر می‌باشد. حرکت‌های توده‌ای نقش موثری در تخریب جاده‌های ارتباطی، مراتع، مناطق مسکونی و ایجاد فرسایش و رسوب در آبخیزها دارند. بنابراین، عناصر خسارت در این مطالعه شامل جاده‌ها، ساختمان‌ها، پراکنش جمعیت و منابع طبیعی (جنگل، مرتع، کشاورزی و چشمه) در نظر گرفته شدند. پس از شناسایی عناصر در معرض خطر، در مرحله بعد، طبقات کلاس‌های خطر زمین‌لغزش با نقشه عناصر خسارت همپوشانی شده و فراوانی و یا وجود هر یک از عناصر در کلاس‌های خطر لغزش، مبنای ارزیابی خسارت زمین‌لغزش در حوضه مورد قرار گرفت. سپس با اعمال درجه آسیب‌پذیری هر عنصر، عدد خسارت با استفاده از معادله عمومی ریسک محاسبه و کلاس‌های خسارت کیفی و ریالی تهیه گردید، که نتایج در شکل ۴، شنان داده شده است. به منظور تعیین خسارت ریالی ناشی از زمین‌لغزش به عناصر در معرض خطر در هر واحد، از اطلاعات محلی، اسناد و مدارک سازمان‌های جهاد کشاورزی، وزارت نیرو و حوادث غیرمترقبه در سال ۱۳۹۱ به عنوان مبنا استفاده شد.

مدیریت زمین‌لغزش با رویکرد تحلیل سناریو

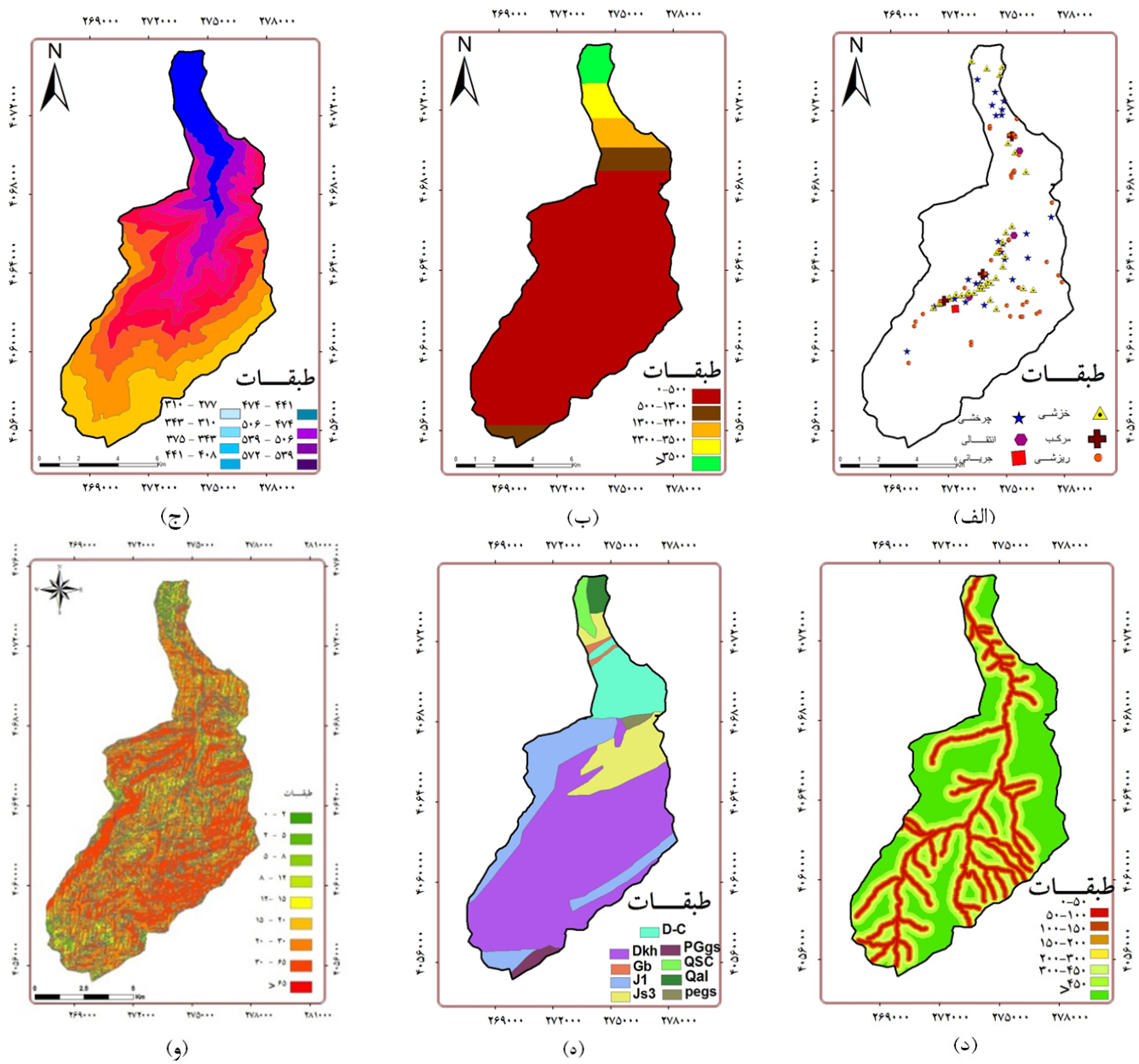
در این پژوهش به اقدامات پیشگیری و انجام عملیات جهت کنترل قبل از وقوع در قالب رویکرد مبتنی بر سناریو با استفاده از واقعیت‌های زمینی پرداخته شده است. سیاست و برنامه مدیریت زمین‌لغزش بستگی به تیپ، شدت‌خطر، وجود یا عدم‌وجود عناصر در معرض‌خطر و آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر دارد. در این پژوهش دو سناریو، حالت عادی (وضعیت فعلی) و حالت بحرانی (اضطراری) وقوع زمین‌لغزش طرح و ارزیابی گردید. در این پژوهش تیپ، شدت خطر و خسارت لغزش‌ها به عنوان متغیرهای تصمیم برنامه مدیریت زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیارت انتخاب شدند. وزن‌دهی متغیرها براساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و با نرم‌افزار Expert 11-Choice و توسط کارشناسان وزن‌دهی شدند و برای محاسبه و کلاس‌بندی نقشه مدیریتی از روش ارزیابی چند معیاره استفاده شد. ارزیابی چند معیاره 3(MCE) یک روش مناسب برای ارزیابی و جمع‌بندی بسیاری از معیارها در مسائل تصمیم‌گیری است (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۸۸ و Sadoddin و همکاران ، 2010). برای محاسبه عدد مدیریت زمین‌لغزش در واحدهای مدیریتی ارائه شده در شکل ۷، از ارزیابی چندمعیاره استفاده شده است (معادله ۲).

$$M\ N = \sum_{i=1}^{n} RiWi \qquad (۲)$$

که در آن، MN: عدد مدیریت Ri: متغیرهای تصمیم‌گیری Wi: وزن اختصاص یافته به متغیرها براساس روش تحلیل سلسله مراتبی می‌باشد. در این معادله از متغیرهای عدد کلاس شدت خطر، عدد کلاس خسارت و همچنین ارزش نرخ تیپ زمین‌لغزش استفاده شد. در این پژوهش ۵ سیاست کلی مدیریتی (جدول ۱) در قالب دو سناریوی حالت عادی با ارجحیت متغیر تیپ زمین‌لغزش و حالت بحرانی با ارجحیت متغیر خطر زمین‌لغزش، جهت تهیه نقشه مدیریت زمین‌لغزش استفاده شد. در ادامه براساس کلاس‌های مدیریتی ارائه شده در شکل ۷، اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی مقابله با خطر زمین‌لغزش در حوضه آبخیز زیارت تعیین گردید (جدول ۱).

جدول۱- از سمت چپ به ترتیب هدف، عوامل و زیر عوامل (معیارها) مشکلات روستاییان

کلاس مدیریت	برنامه مدیریتی	برنامه‌های مدیریتی
I	بدون برنامه	عدم توصیه برنامه مدیریتی خاص در کوتاه مدت
II	سازش با تحمل خسارت جزئی	آموزش ذینفعان، استفاده از زهکش‌های سنتی
III	سازش بدون تحمل خسارت	جلوگیری از تغییر کاربری، ممانعت از جاده‌سازی غیر استاندارد در دامنه‌های ناپایدار
IV	اجتناب از خطر	محدود کردن فعالیت‌های عمرانی تا حدممکن، تغییر کاربری از زراعت دیم به باغ‌کاری و یونجه‌کاری، پیشنهاد عملیات مکانیکی برای پایداری دامنه‌های ناپایدار، حفاظت از جاده‌ها و طرح سازمان‌دهی فاضلاب روستایی
V	اقدامات کنترلی	تغییر کاربری از زراعت به باغ و جنگل‌کاری و احیاء جنگل، پیشنهاد عملیات مکانیکی و بیولوژیکی، زهکشی آب چشمه‌ها و دامنه‌های ناپایدار، در صورت امکان انتقال روستاها



شکل ۲- نقشه پراکنش زمین‌لغزش و عوامل موثر بر زمین‌لغزش‌های آبخیز زیارت گرگان، الف) پراکنش و تیپ زمین‌لغزش ب) فاصله از گسل ج) بارش د) فاصله از آبراهه ه) زمین‌شناسی، و) شیب

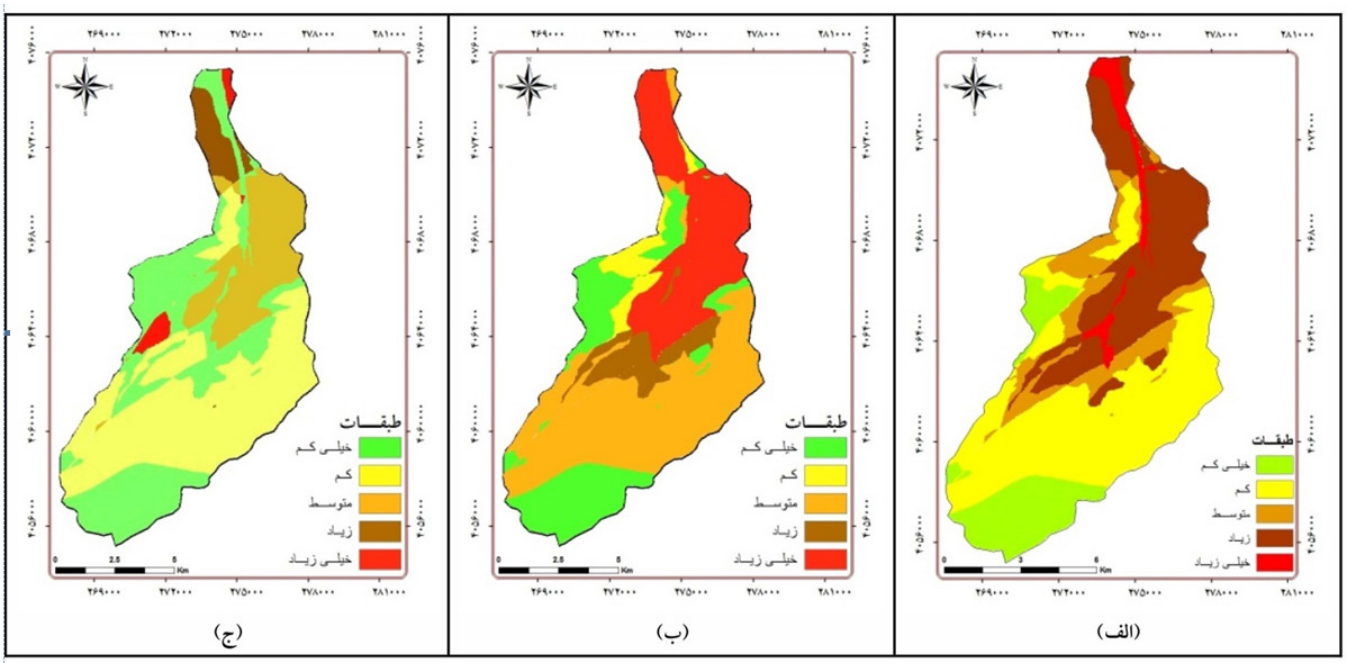
نتایج

نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه و عوامل موثر بر زمین‌لغزش در آبخیز زیارت استان گلستان در شکل ۲ ارائه شده است. بر اساس نتایج، مجموع سطح لغزش‌یافته در حوضه مورد پژوهش حدود ۳۱/۲۲ هکتار می‌باشد. پس از تهیه نقشه عوامل موثر بر زمین‌لغزش، هر یک از این نقشه‌ها با نقشه پراکنش زمین‌لغزش حوضه تطبیق داده شد و درصد لغزش موجود در هر طبقه نسبت به کل طبقات نقشه محاسبه شد. در طبقات هر یک از عوامل موثر بر زمین‌لغزش نرخ تراکم سطح به کار رفته در مدل آماری دومتغیره وزنی محاسبه گردید. بر اساس نتایج شکل ۲، وقوع زمین‌لغزش ها در منطقه میانی و نیز پایین دست آبخیز زیارت قابل مشاهده هستند. هم‌چنین نتایج محاسبات زوجی و وزن نهایی عوامل موثر بر زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است.

شکل ۳- مقایسات زوجی و وزن نهایی عوامل مختلف موثر بر زمین‌لغزش‌های آبخیز زیارت گرگان

پهنه‌بندی خطر، خسارت کیفی و ریالی زمین‌لغزش

نقشه‌های شدت خطر، خسارت کیفی و خسارت ریالی در شکل ۴ ارائه شده‌اند. در جدول ۲ مساحت شدت خطر، خسارت کیفی و خسارت ریالی، همچنین درصد مساحت شدت خطر و خسارت کیفی و میزان خسارت مالی به میلیون ریال ارائه شده است.



شکل ۴- نقشه خطر، خسارت کیفی و خسارت ریالی در آبخیز زیارت گرگان، الف) خطر زمین‌لغزش، ب) خسارت کیفی زمین‌لغزش، ج) خسارت مالی زمین‌لغزش

بر اساس نتایج شکل ۴، علیرغم اینکه کلاس‌های خطر وقوع زمین‌لغزش در بخش‌های مختلف آبخیز زیارت وجود دارد، فقط در محدوده از مناطق مسکونی، نقشه خسارت کیفی و ریالی دارای شدت بالایی است. در این خصوص می‌توان گفت که موقعیت عناصر در معرض خطر به‌گونه‌ای است که از شدت خسارت در سایر مناطق کاسته است. هم‌چنین بر اساس اطلاعات جدول ۲، بیشترین مساحت آبخیز زیارت در طبقه خطر کم قرار گرفته است و نیز به ترتیب، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد خسارت مربوط به طبقات خطر متوسط و کم هستند.

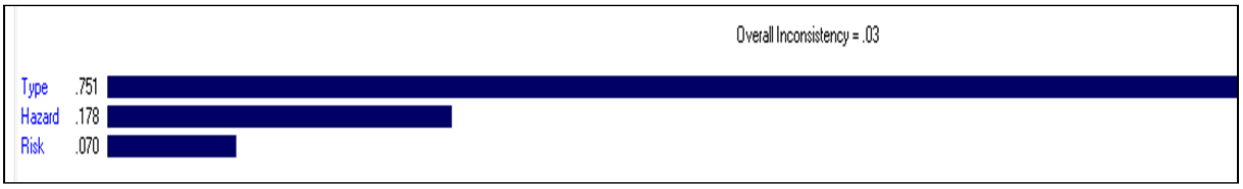
جدول ۲- توزیع فراوانی کلاس‌های خطر، خسارت و خسارت مالی زمین‌لغزش به روش مدل آماری دومتغیره وزنی آبخیز زیارت گرگان

طبقه	مساحت به هکتار			درصد مساحت زمین‌لغزش		میزان خسارت ریالی به میلیون ریال
	خطر	خسارت	خسارت ریالی	خطر	خسارت	
خیلی‌کم	۱۱/۱۴۵۶	۲۱۵۷/۸۴	۳۳۵۲/۵	۲۹/۱۴	۲۱/۱۷	۱۴/۳۶<
کم	۷۴/۴۲۳۴	۵۲۰/۲۱	۴۳۴۶/۰۱	۵۴/۴۱	۵/۱	۱۴/۳۶ – ۱۰۳۴/۴۷
متوسط	۰۴/۱۲۵۹	۴۰۹۵/۳۹	۱۸۵۸/۵۸	۳۵/۱۲	۴۰/۱۸	۱۰۳۴/۴۷ – ۶۳۷۷/۷۹
زیاد	۰۱/۲۷۹۸	۸۰۱/۵	۴۵۲/۲۵	۴۵/۲۷	۷/۸۶	۶۳۷۷/۷۹ – ۱۹۳۵۱/۳۴
خیلی‌زیاد	۲۷/۴۴۵	۲۶۱۸/۵۴	۱۸۳/۸۷	۳۷/۴	۲۵/۶۹	۱۹۳۵۱/۳۴ – ۷۹۵۰۵۹/۷۳
جمع		۱۰۲۸۶		۱۰۰		۲۲۵۱۴۰۵/۵

کلاس‌های برنامه مدیریتی در سناریو حالت عادی و بحرانی

در سناریو حالت عادی تیپ زمین‌لغزش‌های وقوع یافته بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص داد و در سناریوی بحرانی شدت خطر و خسارت زمین‌لغزش بیش‌ترین وزن را به خود اختصاص دادند. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۷، در سناریوی وضعیت عادی کلاس مدیریتی (V) که شامل اقدامات کنترلی است، بیش‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در سناریوی وضعیت بحرانی، با توجه به اهمیت عامل خسارت زمین‌لغزش، قسمت اعظم منطقه در کلاس مدیریتی (IV) قرار گرفته است که شامل اقدام مدیریتی اجتناب از خطر می‌باشد. نتایج وزن‌دهی متغیرها در سناریو حالت عادی و بحرانی به‌ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. مساحت طبقات مدیریت در سناریوی عادی و بحرانی در قالب پنج کلاس در جدول ۳ ارائه شده است.

بر اساس نتایج، نقشه برنامه‌های مدیریت زمین‌لغزش آبخیز زیارت در دو وضعیت سناریوی عادی و بحرانی در شکل ۷ ارائه شده است.

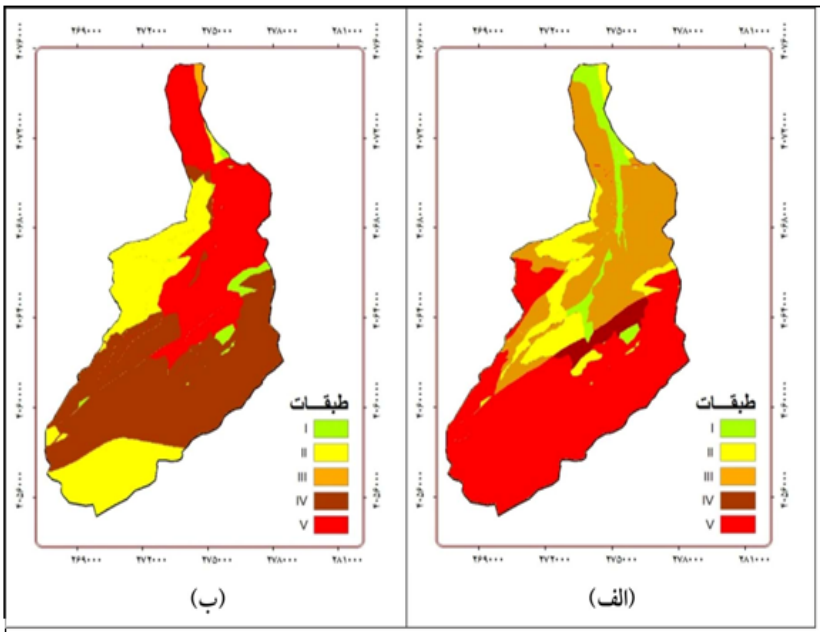


شکل ۵ - هیستوگرام وزن متغیرهای موثر در وقوع زمین‌لغزش در سناریوی حالت عادی

شکل ۵ - هیستوگرام وزن متغیرهای موثر در وقوع زمین‌لغزش در سناریوی حالت عادی

جدول ۳ - توزیع فراوانی مساحتی کلاس‌های مدیریت زمین‌لغزش سناریوی عادی و بحرانی در حوضه آبخیز زیارت

کلاس مدیریت	برنامه مدیریتی	مساحت به هکتار		درصد مساحت	
		عادی	بحرانی	عادی	بحرانی
I	بدون برنامه	۵۴۱	۱۸۸	۵/۳	۱/۸
II	سازش با تحمل خسارت جزئی	۱۱۱۵	۲۴۸۳	۱۰/۹	۲۴/۴
III	سازش بدون تحمل خسارت	۳۰۲۷	۵۶	۲۹/۷	۰/۵
IV	اجتناب از خطر	۳۲۵	۴۵۰۵	۳/۲	۴۴/۳
V	اقدامات کنترلی	۵۱۷۲	۲۹۴۹	۵۰/۸	۲۹
	جمع	۱۰۲۸۶		۱۰۰	



شکل ۷- نقشه برنامه مدیریتی زمین‌لغزش آبخیز زیارت در سناریوی حالت عادی (الف) و بحرانی (ب)

بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش پس از پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نقشه خسارت کیفی با ترکیب نقشه شدت خطر، فراوانی عناصر در معرض خطر و درجه آسیب‌پذیری آنها تهیه گردید و خسارت ریالی عناصر در معرض خطر در هر کلاس‌های خطر محاسبه شد، سپس مقادیر خسارت ریالی برآورد گردید. برنامه مدیریت زمین‌لغزش با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره در دو سناریوی وضعیت‌های عادی و بحرانی تدوین گردید. شرایط طبیعی و دستکاری شدید انسان در حوضه زیارت گرگان موجب شده است که بستر مناسبی برای وقوع زمین‌لغزش به وجود بیاید که ثبت ۱۱۰ مورد زمین‌لغزش در این حوضه دلیل بر صحت این ادعا است. با استفاده روش تحلیل سلسله مراتبی عوامل موثر در بروز پدیده زمین‌لغزش از طریق مقایسه زوجی بین عوامل وزن‌دهی شد و به ترتیب از طریق میزان تاثیر گذاری هر یک از عوامل در رخداد زمین‌لغزش اقدام به اولویت‌بندی می‌شود (شادفر و همکاران ۱۳۸۷). براساس وزن‌دهی روش AHP، به ترتیب عوامل بارش، زمین‌شناسی و فاصله از آبراهه، فاصله از گسل دارای بیشترین اهمیت می‌باشند.

براساس نقشه پهنه‌بندی به دست آمده، حدود ۴/۳۷ درصد از مساحت منطقه در پهنه‌ی خطر خیلی‌زیاد، ۲۷/۴۵ درصد در پهنه‌ی خطر زیاد طبقه‌بندی شدند. این مدل قسمت‌های میانی و خروجی حوضه را در کلاس‌های خطر زیاد و خیلی‌زیاد پهنه‌بندی نموده است.

در این پژوهش از معادله عمومی ریسک برای ارزیابی کیفی خسارت زمین‌لغزش استفاده شد. عناصر خسارت در این مطالعه شامل جاده‌ها، ساختمان‌ها، پراکنش جمعیت انسانی و منابع طبیعی (جنگل، مرتع، کشاورزی و چشمه) به عنوان عناصر در معرض خطر در این پژوهش انتخاب و در پنج کلاس خیلی‌کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد طبقه‌بندی شدند. در این راستا، اونق (۱۳۸۸) در آبخیز زیارت جاده، شبکه برق، خانه مسکونی، مجتمع گردشگری، منابع آب و جمعیت، و کریمی سنگ‌چینی و همکاران (۱۳۹۲) جاده، اماکن مسکونی، چشمه، آبراهه و زمین‌های کشاورزی را به عنوان عناصر در معرض خطر در نظر گرفته‌اند. اونق (۱۳۹۱) در آبخیز زیارت گرگان به تفکیک سازه‌های مهندسی و منابع طبیعی، Zezere و همکاران (2008) در شمال لیسبون پرتغال، راه و ساختمان و Castellanos Abella و همکاران (2008) در کوانتامو کوبا برای تهیه نقشه خسارت خانه‌ها، مدارس، قبرستان‌ها و جاده‌ها را به عنوان عناصر در معرض خطر انتخاب نمودند. در آبخیز زیارت گرگان ۴۰/۱۸ درصد در کلاس خسارت زیاد و ۷/۸۶ درصد در کلاس خسارت خیلی‌زیاد قرار دارند در مجموع، نواحی مسکونی زیارت با تمرکز فعالیت‌ها و مراکز جمعیتی در کلاس و خسارت بالا قرار دارد که نیازمند اتخاذ تصمیم‌های مدیریتی مهندسی در خصوص خطر و خسارت ناشی از زمین‌لغزش در وضعیت‌های محتمل آتی خواهد بود. نتایج پژوهش می‌تواند به منظور ارزیابی سریع و شناسایی این پدیده با درجات متفاوت خطر مورد استفاده قرار گیرد.

در نهایت با ضرب سه عامل خطرزمین‌لغزش، عوامل در معرض خطر و آسیب‌پذیری عناصر، نقشه طبقات خسارت زمین‌لغزش تهیه شد. بر اساس نتایج ۷/۸۶ درصد از سطح حوضه در کلاس خسارت کیفی زیاد و ۲۵/۶۹ درصد در کلاس خسارت کیفی خیلی‌زیاد قرار دارد. با مقایسه دو نقشه خطر و خسارت زمین‌لغزش مشخص می‌شود، مناطقی با کلاس خطر زیاد و خیلی‌زیاد دارای کلاس خسارت زیاد و خیلی‌زیاد زمین‌لغزش نیز می‌باشند؛ یعنی در حوضه زیارت، مناطق با کلاس خطر زمین‌لغزش زیاد و خیلی‌زیاد دارای بیش‌ترین و آسیب‌پذیرترین

عناصر در معرض خطر می‌باشـــند. این واقعیت اهمیت مدیریت پدیده زمین‌لغزش را در این حوضه افزایش می‌دهد. کل خسارت برآورد شده در آبخیز زیارت حدود ۲۲۵۱۴۰۵/۵ میلیون ریال می‌باشد.

کلاس‌هـــای IV و V مدیریت در ســـناریوی حالت عـــادی و حالت بحرانی به ترتیب ۳/۲ درصد و ۵۰/۸ درصد از سطح حوضه را به خود اختصـــاص داده‌اند. به عبارت دیگر حدود ۵۴ درصد از ســـطح حوضه در حالت عـــادی و در حالت بحرانی به ترتیب ۴۴/۳ و ۲۹ درصد نیاز بـــه مدیریت با اجرای اقدامات جدی نظیـــر اجتناب از خطر و کنترل زمین‌لغزش دارد.

مقابلـــه با خطر و خســـارت زمین‌لغزش می‌تواند با اتخاذ اســـتراتژی اجتناب از مناطق لغزشـــی، پیشگیری و یا انجام اقدامات علاج‌بخشی صورت گیرد. بدون شک اتخاذ سیاست مناسب در انتخاب برنامه‌های صحیح مدیریت زمین‌لغزش بســـیار موثر می‌باشـــد. داشتن اطلاعات پایه، کســـب و بکارگیری دانش فنی، وضع قوانین مناســـب و تدوین برنامه‌های آموزشـــی به عنوان ابزارهای اولیه مدیریت خطر و خسارت زمین‌لغزش را تشکیل می‌دهند.

با توسعه ساخت و سازهای مسکونی و تأسیسات گردشگری (با وجود خطرات احتمالی زیســـت محیطی) با آینده‌نگری آمایشی این حوضه به قطب گردشگری-کوهســـتانی تبدیل خواهد شـــد، بنابراین توسعه ســـکونتگاه‌ها، تمرکززدایی و ایجاد تعادل در محیط زیســـت و کاهش بحران‌های محیطی نیازمند درنظر گرفتن دیدگاه برنامه‌ریزی آمایشی بر اساس مدل خطرمدار است.

پاورقی‌ها

1 - Analytical Hierarchy Process
2 - Event-based
3 - Multi-Criteria Evaluation

منابع مورد استفاده

1. Caniani, D. Pascale, S. Sdao, F. and Sole, A. (2008). Neural networks and landslide susceptibility: a case study of the urban area of Potenza. Natural Hazards, 72–55:(1)45.

2. Castellanos Abella, E.A. (2008). Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, Utrecht, Utrecht University, Ph.D Dissertation 273 ,154 p.

3. Crozier, M. (1999). Landslides. Applied Geography: Principles and Practice (ed. Pacione, M.), Routledge, London, 94-83.

4. Crozier, M. J. and Glade, T. (2005). Landslide hazard and risk: issues, concepts and approach. In: Glade, T., Anderson, M.G., Crozier, M.J. 2005. (Eds.), Landslide Hazard and Risk. Wiley, 824p.

5. Dai, F.C. Lee, C.F. and Nagi, Y.Y. (2002). Landslide risk assessment and management: an overview. Engineering Geology, 87-65 :64.

6. East Golestan Pajouhab Engineering consultant Co. (2009). Final report of Ziarat watershed management plan, Vol(1): Basic studies. pp 25-14. (in Persian)

7. Mahini, A.R., and Kamyab, H.R. (2009). Applied Remote Sensing and GIS with Idrisi. Mehr Mahdis Publications, Tehran. 582p.

8. Fall, M. Azzam, R. and Noubactep, C. (2006). A multi-method approach to study the stability of natural slopes and landslide susceptibility mapping. Engineering Geology, 263–241:(4)82.

9. Holcombe, E. and Anderson, M. (2010). Tackling landslide risk: helping land use policy to reflect unplanned housing realities in the Eastern Caribbean. Land Use Policy, 800–798:(3)27.

10. Karimi Sangchini, E. Ownegh, M. (2011). Landslide hazard zonation using weighted AHP bivariate statistical model in Chehel-Chay sub-watersheds, Golestan Province. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 62-53:(15)5. (in Persian)

11. Karimi Sangchini, E. Ownegh, M. and Sadoddin. (2011). Assessment of landslide hazard and risk in Chehel-Chay Watershed, Golestan Province, Iran. Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi), 84-98:74. (in Persian)

12. Kelarestaghi, A, Habibnejad, M., and Ahmadi, H. (2007). Study the occurrence of landslides in relation to changes in land use and road construction. Case study: Tajan Watershed, Sari. Journal of Geographical Studies, 91-2:81. (in Persian)

13. Lee, E.M. and Jones, D.K.C. (2004). Landslide risk assessment. Thomas Telford, London, 454p.

14. Moradi, H.R. Mohammdy, M. Pourghasemi, H.R. Mostafazadeh, R. (2010). Landslide hazard analysis in Golestan Province using Dempster-Shafer theory. Earth Science Researches. 14-1:(3)1. (in Persian)

15. Mosaffaie, J. Ownegh, M. Mesdaghi, M. Shariat Jafari, M. (2009). Comparing the efficiency of statistical and empirical landslide hazard zonation models in Alamout watershed. Journal of Water and Soil Conservation, 61-43:(4)16. (in Persian)

16. Nasiri, Sh. 2004). An overview(on Iran`s Landslides (Case study: unstable slopes of the Haraz Road). Iranian National Database of Earth Sciences, p. 1. (in Persian)

17. Nick-andish, N. and Mirsanei, R. (1997). On the importance of mass movements in Iran. Jihade-Sazandeghi magazine 155-66:(79)12. (in Persian)
18. Ownegh, M. (2012). Landslide hazard and risk zoning for Ziarat Watershed, Final project report. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 120 p. (in Persian)
19. Pourghasemi, H.R. Moradi, H.R. Fatemi-Aghda, S.M. Mahdavifar, M.R. and Mohammadi, M. (2009). Landslide Hazard Assessment Using Fuzzy Multi Criteria Decision- Making Method. Journal of Watershed management and Engineering, 62-51:(8)3. (in Persian)
20. Pourghasemi, H.R. Moradi, H.R. Mohammadi, M. Pradhan, B. Mostafazadeh, R. Goli Jirandeh, A. 2012. Landslide hazard assessment using remote sensing data, GIS and weights-of-evidence model (South of Golestan Province, Iran). Asia Pacific Conference on Environmental Science and Technology (APEST 2012), Advances in Biomedical Engineering. 36-6:30.
21. Radbruch-Hall, D.H. and Varnes, D.T. (1976). Landslide: cause and effect, International Association of Engineering Geology Bulletin, Vol. 216-14:205.
22. Saaty, T.L. (1980). The Analytic Hierarchy Process, Planning, Piority Setting, Resource Allocation. McGraw-Hill, New York.
23. Sadoddin, A., Sheikh, V.B., Mostafazadeh, R., Halili, M.GH. 2010. Analysis of vegetation-based management scenarios using MCDM in the Ramian watershed, Iran. International Journal of Plan Production, 62-51 :(1)4.
24. Shadfar, S. Ghodosi, J. Khalkhali, S. Kelarestaghi, A. (2008). Assesment and evaluation bivariate statistical and LNRF models in landslide hazard zonation case study: Jenatroodbar catchment. Pajouhesh & Sazandegi, 64-78:56. (in Persian)
25. Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: A review of Principles and Practice, UNESCO, France, Issue 63 :19p.
26. Wu, W. and Sidle, R.C. (1995). A distributed slope stability model for steep forested basins. Water resources Research, 2110-2097:(8)31.
27. Yalcin, A. (2008). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. Catena, 12–1:(1)72.
28. Zezere, J.L. Garcia, R.A.C. Oliveira, S.C. and Reis, E. (2008). Probabilistic landslide risk analysis considering direct costs in the area north of Lisbon (Portugal), Geomorphology, 495-467:(4-3)94.