

جغرافیا و توسعه شماره ۳۹ تابستان ۱۳۹۴

وصول مقاله: ۱۳۹۱/۱۰/۳۰

تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۶/۰۱

صفحات: ۱۶۵-۱۸۰

## پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی

حمید علی‌پور<sup>۱</sup>، دکتر آرش ملکیان<sup>۲</sup>

### چکیده

پهنه‌بندی زمین‌لغزش یکی از روش‌هایی است که می‌توان به کمک آن مناطق بحرانی را به لحاظ پایداری شیب مشخص کرده و از نقشه‌های پهنه‌بندی به دست آمده در برنامه‌ریزی‌های توسعه پایدار استفاده کرد. در پهنه‌بندی لغزش حوزه جهان اسفراین خراسان شمالی از شش عامل شیب، جهت، بارندگی، زمین‌شناسی، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه استفاده شد.

در این تحقیق از روش شاخص آماری (SI) به منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش بهره گرفته شد. در این روش با توجه به وسعت پهنه‌های لغزشی در هر یک از کلاس‌های پارامترهای مختلف مورد مطالعه، ارزش وزنی برای هر یک از سلول‌ها در نظر گرفته شد و نهایتاً مجموع ارزش‌های وزنی برای هر سول با همپوشانی لایه‌های مختلف مورد مطالعه به دست آمد. سپس نقطه‌ی طبقات خطر زمین‌لغزش به کمک تحلیل هیستوگرامی و با استفاده از روش بهینه‌سازی Jenks تهیه گردید.

تجزیه و تحلیل‌ها نشان داد که در بین عوامل مورد بررسی عامل زمین‌شناسی و بارندگی نقش مؤثرتر و مهمتر را در ایجاد زمین‌لغزش‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه دارا می‌باشد. به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش زیرحوزه‌ی J1 در اولویت اول و زیرحوزه‌های J13، J24، J14، J17، J20، J21، J19، J18 در اولویت آخر قرار گرفتند. زیرحوزه‌های شمالی به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده‌ی ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. بهترین شیوه‌ی کاهش خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه‌ی جهان افزایش پوشش گیاهی با انجام عملیات احیایی، اصلاحی و مدیریتی در سطح مراتع می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: پهنه‌بندی، زمین‌لغزش، شاخص آماری، روش Jenks، حوزه‌ی آبخیز جهان.

## مقدمه

زمین لغزش عبارت از جابجایی حجم زیادی از توده‌های خاک، سنگ و یا ترکیبی از آنها به طرف پایین شیب در اثر نیروی ثقل می‌باشد (مقیم و همکاران، ۱۳۸۷: ۵۳). این پدیده زمانی رخ می‌دهد که نیروی حاصل از وزن مواد بیش از نیروی مقاومت ناشی از نیروی برشی خاک باشد (معماریان و سیاریور، ۱۳۸۵: ۱۰۵). بخش بزرگی از کشور ایران را مناطق کوهستانی تشکیل می‌دهد، لذا زمین لغزش یکی از حوادث طبیعی است که سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد. زمین لغزش موجب خسارت به انواع سازه‌های مهندسی، مناطق مسکونی، شریان‌های حیاتی، خطوط انتقال نیرو، جنگل‌ها، مراتع، زمین‌های کشاورزی، معادن و در پی آن ایجاد رسوب و سیلاب‌های گل آلود و در نهایت پر شدن مخازن سدها می‌گردد، افزون بر آن اثرات اجتماعی و زیست محیطی ناشی از وقوع این پدیده، مانند مهاجرت و بیکاری را نباید نادیده گرفت (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۳؛ عبادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۶؛ *dine et al, 2008: 331*). تقریباً ۶۰ درصد از زمین لغزش‌ها در کنار جریان‌های آبی رخ دادند. وقوع این پدیده بار رسوبی رودخانه‌ها را افزایش داده و در نهایت باعث بروز سیلاب‌های گل‌آلود شده که این سیلاب‌های گل‌آلود علاوه بر خسارت‌های جانی، مالی و زیست‌محیطی، از عمر مفید سازه‌های آبی مستقر بر روی رودخانه‌ها می‌کاهد (علی‌جانی و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۶). از آنجا که پیش‌بینی زمان و مکان رخداد زمین لغزش از توان دانش فعلی بشر خارج است، لذا برای بیان حساسیت دامنه‌ها به پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مناطق مختلف می‌پردازند.

در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش سطح زمین به نواحی مجزای از درجات مختلف خطر کم تا بسیار زیاد

تقسیم می‌شود (*lee et al 2006: 199* شادفر و همکاران، ۱۳۸۴: ۶۸). این فرآیند بر مبنای شناخت ویژگی‌های طبیعی و مدل‌سازی کمی بر پایه‌ی داده‌های ناحیه موجود صورت می‌گیرد. روش‌های متعددی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش وجود دارد ولی بطور کلی به دو دسته روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. روش‌های مستقیم پهنه‌بندی بر اساس قضاوت‌های متکی بر مناطق لغزش یافته صورت می‌گیرد و روش‌های غیرمستقیم که تحقیق اخیر نیز از آن جمله می‌باشد، بر اساس شناسایی عوامل کنترل‌کننده و تلفیق این عوامل به‌عنوان معرف‌های پتانسیل زمین لغزش می‌باشد (راکعی و همکاران، ۱۳۸۶: ۲۱). زمین لغزش از خطرناک‌ترین نوع فرسایش است که می‌تواند علاوه بر خطرات جانی فراوان، دارای زیان‌های اقتصادی زیادی نیز باشد. ارزیابی خطرات این پدیده مانند بسیاری از موضوعات زمین‌شناسی محیطی به دلیل تنوع عوامل مؤثر در وقوع آن مسأله‌ای پیچیده است. وجود عدم قطعیت که ناشی از گنگ بودن، ناکامل و مبهم بودن شرایط و مفاهیم مرتبط با پارامترهایی نظیر زمین‌شناسی، هیدرولوژیکی، تکتونیکی، پوشش گیاهی، بارندگی، فرسایش، نوسانات درجه حرارت و غیره در بروز ناپایداری دامنه‌ای، می‌باشد لزوم استفاده از روش‌های دقیق و مناسب را در بررسی ناپایداری‌های دامنه‌ای، منطقی می‌سازد (فاطمی و همکاران، ۱۳۸۴: ۴۳). استان خراسان شمالی که در زون کپه داغ واقع است به دلیل شرایط خاص لیتولوژیکی، ساختاری و آب و هوایی همه‌ساله شاهد زمین لغزش‌های متعددی است که گاه با خسارات مالی و جانی فراوانی همراه است. در حوزه‌ی آبخیز جهان بروز این حوادث که عمدتاً مربوط به نواحی کوهستانی و روستایی است با خسارات گوناگونی در اراضی کشاورزی، خانه‌های مسکونی، جاده‌های مواصلاتی و در نهایت تلفات

77: *Binaghi et al, 1998*: ناجی، ۱۳۸۵: ۸۶). در تحقیقی به بررسی پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) در سراب حوضه‌ی کارون شمالی پرداختند (شیرانی و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۹۵). در تحقیقی به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور استفاده کاربردی در طراحی شبکه جاده‌ی جنگلی بخش بهارین جنگل خیرود پرداختند (حیاتی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۹). به بررسی عامل‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی آن در حوضه‌ی آبخیز الموت‌رود در شمال شرق استان قزوین پرداختند (ثروتی و آزاد، ۱۳۹۲: ۱۱۸). لی و تالیب؛ لی و پرادهان؛ یالکین، آلتوی و جادوری در مطالعاتی به بررسی زمین‌لغزش پرداختند (Aleotti & Chawdhury 2010: 21؛ Anabalagan, 2010: 227؛ Lee & Pradhan, 2012: 4661؛ Talib, 2011: 900؛ Yalcin, 2011: 1). هدف از این تحقیق تعیین فاکتورهای مؤثر در بروز زمین‌لغزش و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش بر روی سازندهای زمین‌شناسی حوزه‌ی آبخیز جهان با استفاده از شاخص آماری و روش Jenks می‌باشد.

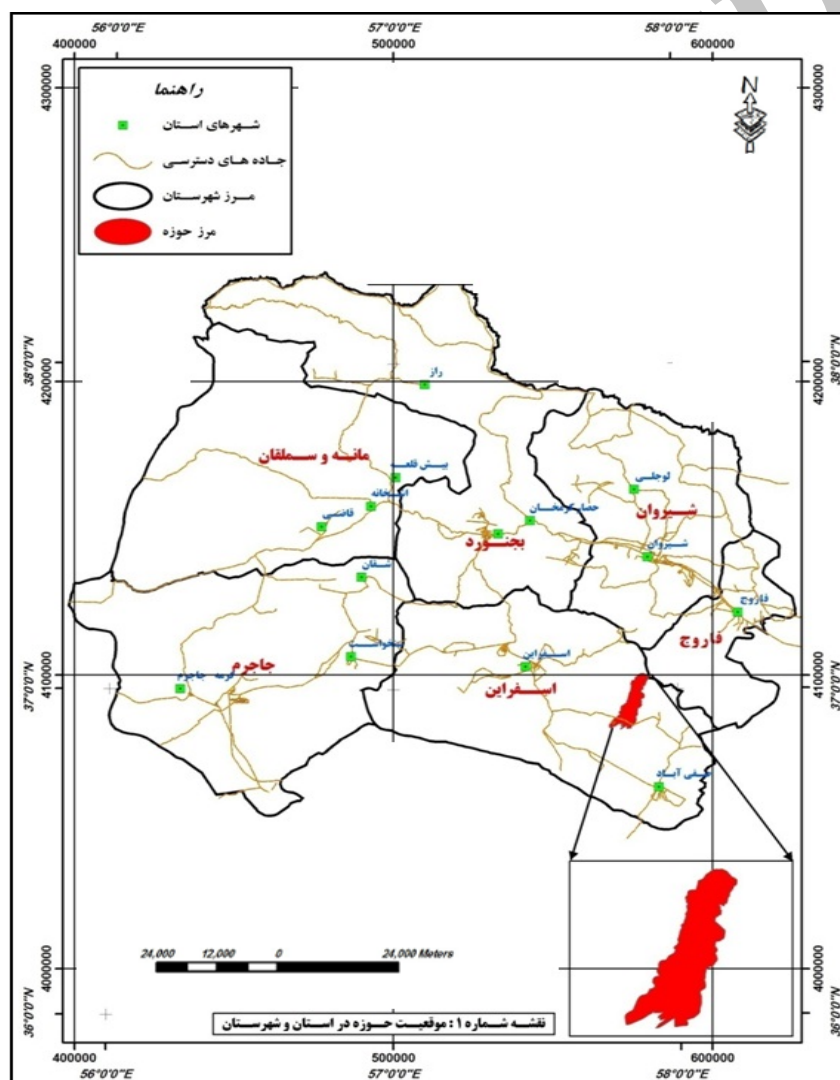
#### مواد و روش‌ها

حوزه‌ی آبخیز جهان با مساحتی در حدود ۹۲۳۹/۶۰ هکتار از نظر سیاسی در محدوده‌ی شهرستان اسفراین بخش مرکزی واقع شده است. طول جغرافیایی  $47^{\circ} 34' 57''$  تا  $57^{\circ} 54' 00''$  و عرض جغرافیایی  $36^{\circ} 52' 40''$  تا  $37^{\circ} 02' 57''$  فاصله‌ی این حوزه از مرکز شهرستان اسفراین در حدود ۳۶ کیلومتر می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه حوزه ۳۴۲ میلی‌متر و بیشترین بارندگی ماهانه‌ی حوزه مربوط به ماه فروردین به میزان ۶۰/۹ میلی‌متر و در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور مقدار بارندگی کمتر از ۵ میلی‌متر است. بارندگی سالانه حوزه بین ۲۸۰ میلی‌متر در نقاط پست و ۴۹۰ میلی‌متر در نقاط

جانی و مالی همراه می‌باشد. زمین‌لغزش از مهمترین فرایندهای شکل‌زایی حوضه جهان بوده و مانند سایر حوضه‌های خراسان شمالی حالت تنگنای محیطی به خود گرفته است. تاکنون مطالعه‌ی جامعی از نظر عوامل ایجاد زمین‌لغزش‌های حوضه‌ی جهان در قالب مدل و بررسی پتانسیل زمین‌لغزش در آن صورت نگرفته است. در این تحقیق به بررسی اینکه کدام عوامل محیطی بیشترین تأثیر را در رویکرد زمین‌لغزش‌های حوضه جهان دارا می‌باشد، پرداخته شده است. برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش روش‌های مختلفی ارائه شده ولی بطور قطع نمی‌توان روشی را به عنوان روش مناسب برای تمام مناطق پیشنهاد داد. پژوهش‌های مختلفی جهت پهنه‌بندی لغزش با استفاده از مدل‌های دو متغیره انجام گرفت (شادفر و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۱۸؛ فاطمی و همکاران، ۱۳۸۲: ۲۸؛ فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۳: ۲۰؛ محمدی، ۱۳۸۶: ۱۷۹). بعضی از محققان از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده نمودند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳؛ کرم، ۱۳۸۰: ۳۵۴؛ محمدی و همکاران، ۱۳۸۸: ۳۴). در تحقیقی حوزه‌ی آبخیز گرمی‌چای اردبیل را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها پهنه‌بندی نمودند و اظهار داشتند که در وقوع زمین‌لغزش‌های رخ داده کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و شیب به ترتیب بیشترین تأثیر در این منطقه داشته‌اند (احمدی و همکاران، ۱۳۸۲: ۳۳۵). در یک تحقیق حوزه‌ی آبخیز طالقان را با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها پهنه‌بندی نمودند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که از بین عوامل تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش عامل زمین‌شناسی دارای بیشترین تأثیر بوده است (احمدی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳). در تحقیقاتی به بررسی زمین‌لغزش از روش‌های متغیره و آماری پرداختند (Lan et al, 2004: 109)؛

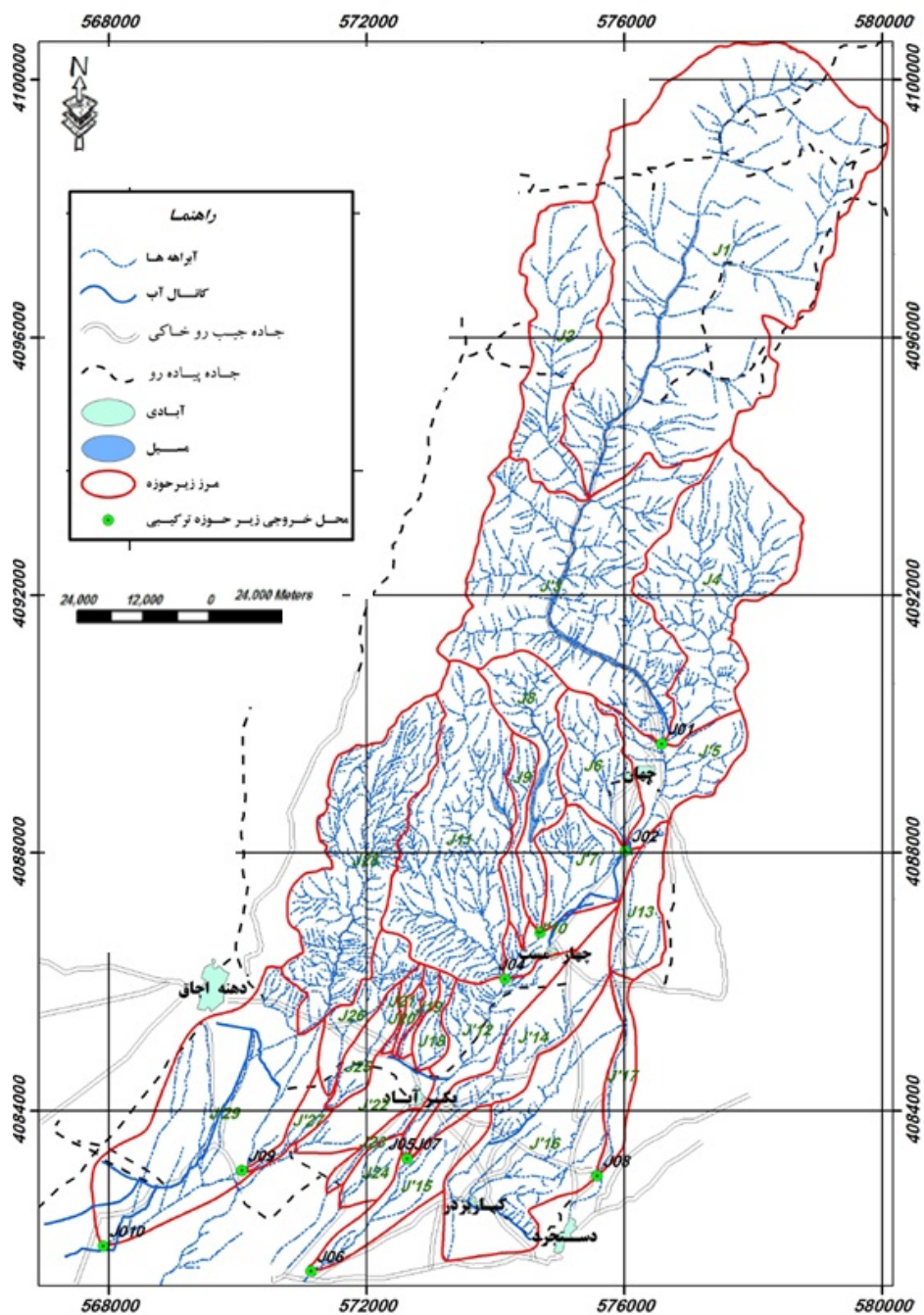
۳۷/۷ درجه سانتی‌گراد در تیر ماه می‌باشد. اقلیم منطقه در روش آمبرژه اقلیم ارتفاعات و در روش دومارتن نیمه‌خشک می‌باشد. شکل ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت حوزه را در شهرستان و استان و موقعیت زیرحوزه‌های حوزه جهان اسفراین را نشان می‌دهد.

مرتفع متغیر می‌باشد. بیشترین مقدار آب حاصل از ذوب برف در ماه اسفند به مقدار ۴۸ میلیمتر می‌باشد. حوزه‌ی جهان اسفراین دارای متوسط درجه حرارت سالیانه ۸/۳، متوسط حداقل درجه حرارت سالیانه ۳/۵، متوسط حداکثر درجه حرارت سالیانه ۱۳/۱، حداقل مطلق سالیانه ۲۶- در بهمن ماه و حداکثر مطلق سالیانه



شکل ۱: موقعیت حوزه‌ی آبخیز جهان در شهرستان اسفراین و استان خراسان شمالی

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۲: موقعیت زیر حوزه‌های حوزه‌ی آبخیز جهان اسفراین  
 مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

حوزه می‌باشد که نتیجه این نسبت دستیابی به وزن واحدهای هر یک از لایه‌های عاملی می‌باشد. در این مدل مقادیر وزنی معمولاً دامنه‌ای بین اعداد مثبت و منفی دارند که به ترتیب بیانگر نقش بیشتر و کمتر متغیرهای مورد بررسی هستند. در مدل‌های مبتنی بر GIS مانند مدل LIM برای پهنه‌بندی حرکات توده‌ای تعداد زیادی از متغیرهای کمی و کیفی برحسب تشخیص و مقادیر وزنی خود می‌توانند لحاظ شوند. با این مدل می‌توان متغیرهای کیفی را کمی نمود و با تغییر متغیر یعنی گرفتن لگاریتم طبیعی (Ln)، وزن متغیرهای دارای وزن بسیار کم، زیاد و وارد محاسبات می‌شوند. مدل LIM مبتنی بر رابطه زیر می‌باشد (Diamond et al, 1999).

رابطه ۱:

$$W_i = \ln\left(\frac{Densclas}{Densmap}\right) = \ln\left(\frac{\frac{Npix(S_i)}{Npix(N_i)}}{\frac{\sum Npix(S_i)}{\sum Npix(N_i)}}\right)$$

که در این فرمول  $W_i$  وزن اختصاص یافته به هر کلاس از پارامتر مورد مطالعه،  $Densclas$  تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس از پارامتر مورد مطالعه،  $Densmap$  تراکم زمین‌لغزش در کل نقشه،  $Npix(S_i)$  تعداد پیکسل‌های اشغال شده توسط زمین‌لغزش در هر کلاس از پارامتر مورد مطالعه،  $Npix(N_i)$  تعداد کل پیکسل‌ها در هر کلاس از پارامتر مورد مطالعه،  $\sum Npix(S_i)$  تعداد کل پیکسل‌های دربردارنده زمین‌لغزش،  $\sum Npix(N_i)$  تعداد کل پیکسل‌های پارامتر مورد مطالعه می‌باشند. در این روش یک ارزش وزنی برای هر کلاس از پارامتر مورد مطالعه تعیین می‌گردد، بدین صورت که لگاریتم طبیعی

این حوزه به لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی ایران جزئی از زون رسوبی کپه داغ و دارای ۱۱ واحد می‌باشد. به لحاظ خاک‌شناسی حوزه جهان دارای سه تیپ فیزیوگرافی کوهها، تپه‌ها و فلات‌ها می‌باشد. خاک‌های این حوزه در دو رده‌ی Entisols و Inceptisols قرار می‌گیرند. جهت پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش نقشه ۶ عامل مؤثر در رخداد این پدیده شامل شیب، جهت، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، زمین‌شناسی و بارندگی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از نرم افزار ARC GIS 9.3 تهیه و رقومی گردید. سپس با استفاده از عملیات میدانی کلیه‌ی لغزش‌های موجود در حوزه‌ی شناسایی و مختصات آنها به وسیله‌ی GPS ثبت گردید تا در محیط GIS به صورت نقشه درآید. همچنین به منظور تهیه‌ی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها از عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای ETM+ کمک گرفته شد. از قطع دادن نقشه‌های عوامل مختلف با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها تعداد لغزش وقوع یافته در طبقات مختلف هر عامل به دست می‌آید. در نهایت نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با جمع لایه‌های مختلف حاصل می‌شود. در این مطالعه از یک مدل آماری در پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش‌ها و با استفاده از GIS بهره گرفته شد. روش به کار رفته برای ارزیابی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوزه‌ی آبخیز جهان و پهنه‌بندی آن مدل آماری (LIM) (LANDSLIDE INDEX METHOD) می‌باشد (رابطه ۱).

این مدل نخستین بار در مؤسسه ITC کشور هلند به منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش ناحیه چین چینا در کلمبیا مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل بر اساس لگاریتم طبیعی (Ln) نسبت تراکم رویکرد لغزش هر یک از واحدهای لایه‌های عاملی به تراکم لغزش در کل

زمین‌لغزش حوزه‌ی جهان پرداخته شد. جدول ۱ طبقات مختلف خطر وقوع زمین‌لغزش به روش جداسازی Jenks را نشان می‌دهد که طبق آن شدت خطر وقوع زمین‌لغزش به پنج کلاس خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شده است (مقیمی و همکاران، ۱۳۸۷؛ معماریان خلیل آباد و همکاران، ۱۳۸۴: ۵۳).

جدول ۱: طبقات مختلف خطر وقوع زمین‌لغزش به روش

#### جداسازی Jenks

جمع ارزش‌های وزنی		شدت خطر وقوع زمین‌لغزش
حد بالا	حد پایین	
-۱۲/۳۰	-۱۷/۲۳	خیلی کم
-۸/۲۶	-۱۲/۳۰	کم
-۳/۹۲	-۸/۲۶	متوسط
۱/۰۰	-۳/۹۲	زیاد
۸/۰۰	۱/۰۰	خیلی زیاد

مأخذ: شیرانی و همکاران، ۱۳۹۱

جدول ۲ شش پارامتر شیب در پنج طبقه از ۰ تا بیشتر از ۶۰ درصد، جهت با پنج طبقه شمال-جنوب-شرق-غرب و مسطح، بارندگی بین ۲۷۸-۵۰۰ میلیمتر، فاصله از آبراهه بین ۰ تا بیشتر از ۵۰۰ متر، فاصله از گسل بین ۰ تا بیشتر از ۱۰۰۰ متر و واحدهای مختلف زمین‌شناسی و طبقات مورد استفاده در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش حوزه‌ی آبخیز جهان اسفراين و شکل ۳ نیز شش لایه مورد استفاده در پهنه‌بندی زمین‌لغزش با پنج طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

تراکم زمین‌لغزش در هر کلاس تقسیم بر تراکم آن در کل نقشه، تعیین‌کننده‌ی این ارزش وزنی است. نسبت بین مقادیر تراکم زمین‌لغزش‌ها در هر کلاس از پارامتر مورد نظر به مجموع تراکم زمین‌لغزش‌ها در کل نقشه نیز، داده‌ها را به‌صورت استاندارد درمی‌آورد پس از محاسبه  $W_i$  برای هر پارامتر و تهیه‌ی نقشه‌ی مربوطه، با جمع نقشه‌ها مجموع مقادیر وزنی برای هر پیکسل به دست آمد. سپس به کمک روش Jenks نقشه‌ی حاصله به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. در این روش شکست‌های طبیعی هیستوگرام در نقشه‌ی مجموع مقادیر وزنی طوری محاسبه می‌گردد که مجموع واریانس‌ها در هر کلاس حداقل باشد.

رابطه ۲:

$$GVF = 1 - \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{N_j} (Z_{ij} - \bar{Z}_j)^2}{\sum_{i=1}^N (Z_i - \bar{Z})^2}$$

GVF بهترین برازش واریانسی،  $\bar{Z}_j$  و  $\bar{Z}$  شاخص داده و کلاس،  $Z_{ij}$  مقادیر استاندارد شده داده  $i$  در کلاس  $j$ ، میانگین استاندارد شده داده  $i$  در کلاس  $Z_{ij}$  مقادیر استاندارد شده داده  $i$ ، میانگین استاندارد شده داده‌ها،  $k$  تعداد کلاس‌ها و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

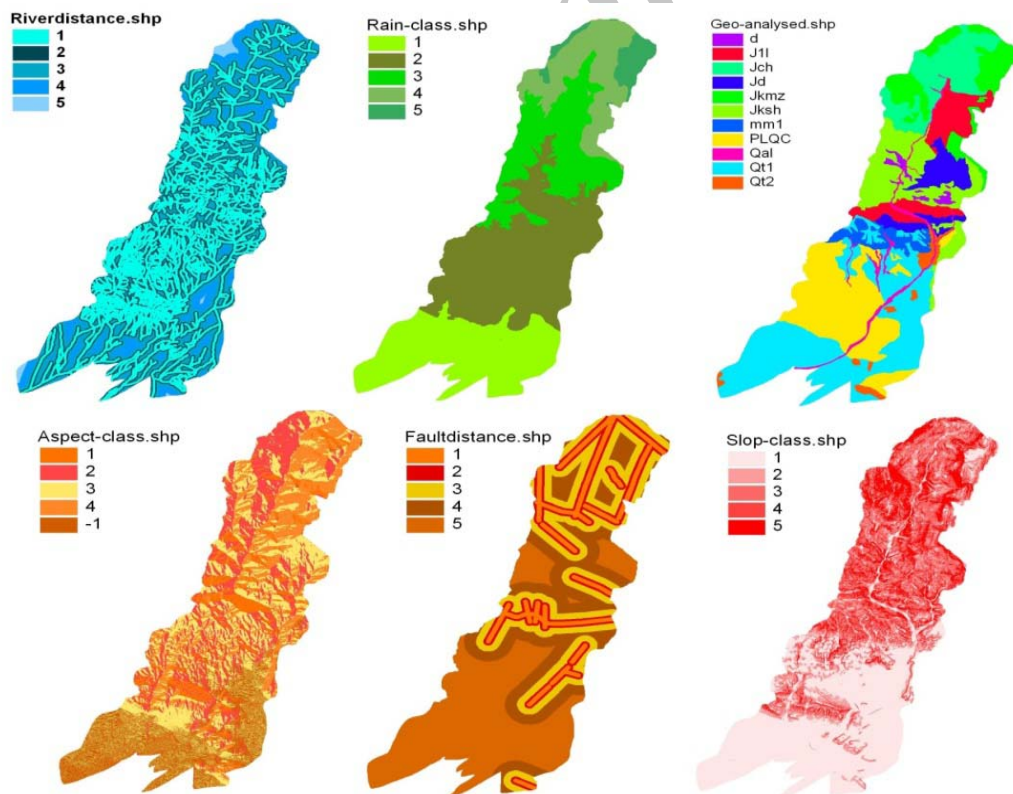
#### نتایج

در این تحقیق ابتدا حوزه به ۳۲ زیرحوزه تبدیل شد، پس از جمع مقادیر وزنی پارامترها و به دست آمدن نقشه‌ی نهایی (لایه)، این نقشه بر اساس روش Jenks به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. سپس به پهنه‌بندی

جدول ۲: پارامترها و طبقات مورداستفاده در پهنه بندی خطرزمین لغزش حوزه آبخیز جهان

پارامتر مورد مطالعه	طبقه ۱	طبقه ۲	طبقه ۳	طبقه ۴	طبقه ۵
شیب (درصد)	۰-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	>۶۰
جهت	شمال	شرق	جنوب	غرب	مسطح
بارندگی (mm)	۲۷۸-۳۰۰	۳۰۰-۳۵۰	۳۵۰-۴۰۰	۴۰۰-۴۵۰	۴۰۰-۵۰۰
فاصله از آبراهه (m)	۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۵۰۰	>۵۰۰
فاصله از گسل (m)	۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۵۰۰	۵۰۰-۱۰۰۰	>۱۰۰۰
زمین شناسی	واحدهای مختلف زمین شناسی				

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۳: لایه‌های مورداستفاده در پهنه بندی زمین لغزش حوزه آبخیز جهان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



پراکنش زمین‌لغزش‌ها را در حوزه‌ی جهان نشان می‌دهد.

جدول ۳ موقعیت هشت مرکز ثقل پهنه‌های لغزشی به همراه مساحت و محیط و مختصات آنها و شکل ۴ نقشه

جدول ۳: موقعیت مرکز ثقل پهنه‌های لغزشی و مساحت آنها در حوزه‌ی آبخیز جهان

شماره	مساحت (متر مربع)	محیط (متر)	مختصات	
			X_COORD	Y_COORD
۱	۳۵۵۴/۶۵	۲۴۸/۵۹	۵۷۳۶۴۶	۴۰۸۸۳۹۱
۲	۱۶۵۹۵/۶۷	۷۴۸/۷۱	۵۷۵۵۸۵	۴۰۹۲۴۲۱
۳	۵۰۳۲۴/۱۹	۹۹۴/۷۷	۵۷۵۶۸۵	۴۰۹۰۷۳۳
۴	۷۴۵۰۷/۵۶	۱۳۴۲/۲۴	۵۷۸۸۵۱	۴۰۹۷۰۶۰
۵	۳۳۳۶/۳۸	۲۳۴/۵۹	۵۷۸۱۱۷	۴۰۹۷۹۰۷
۶	۱۸۵۸۴/۷۱	۷۶۸/۸۲	۵۷۶۲۲۶	۴۰۹۴۵۴۳
۷	۱۸۰۲۸/۳۹	۶۷۶/۵۹	۵۷۵۲۹۸	۴۰۹۴۸۴۶
۸	۵۶۹۲۸/۱۱	۹۹۷/۸۴	۵۷۷۶۰۱	۴۱۰۰۱۴۷
۹	۳۵۱۶۸۵/۹۹	۲۵۰۶/۸۶	۵۷۸۹۷۴	۴۰۹۹۵۹۳

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

وزن اختصاص یافته به کلاس پارامتر بارندگی و زمین‌شناسی تعلق دارد.

جدول ۴ ماتریس همبستگی پارامترهای مطالعه شده در حوزه‌ی جهان را نشان می‌دهد که بر اساس آن بیشترین

جدول ۴: ماتریس همبستگی پارامترهای مطالعه شده حوزه‌ی آبخیز جهان

متغیر	$\Sigma W_i$	جهت	فاصله از گسل	زمین‌شناسی	بارندگی	فاصله از آبراهه	شیب
$\Sigma W_i$	۱/۰۰۰	۰/۵۱۰	۰/۳۷۳	۰/۵۶۹	۰/۶۳۹	۰/۲۴۲	۰/۰۵۴
جهت	۰/۵۱۰	۱/۰۰۰	۰/۰۷۹	۰/۳۹۸	۰/۱۸۷	۰/۰۷۸	-۰/۰۵۴
فاصله از گسل	۰/۳۷۳	۰/۰۷۹	۱/۰۰۰	۰/۱۲۶	۰/۰۹۴	۰/۱۲۷	۰/۰۲۴
زمین‌شناسی	۰/۵۶۹	۰/۳۹۸	۰/۱۲۶	۱/۰۰۰	۰/۲۰۳	۰/۱۴۳	۰/۰۴۱
بارندگی	۰/۶۳۹	۰/۱۸۷	۰/۰۹۴	۰/۲۰۳	۱/۰۰۰	-۰/۰۱۷	۰/۰۴۶
فاصله از آبراهه	۰/۲۴۲	۰/۰۷۸	۰/۱۲۷	۰/۱۴۳	-۰/۰۱۷	۱/۰۰۰	-۰/۰۰۳
شیب	۰/۰۵۴	-۰/۰۵۴	۰/۰۲۴	۰/۰۴۱	۰/۰۴۶	-۰/۰۰۳	۱/۰۰۰

مأخذ: محمدی و همکاران، ۱۳۸۸

هم‌اندازی نقشه‌ی پراکنش زمین‌لغزش‌ها و نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده گردید. همان طور که در جدول ۵ نشان داده شده است پارامترهای بارندگی و زمین‌شناسی بیشترین میانگین در بین پارامترها را دارا می‌باشد.

به‌منظور مطالعه و تعیین دقیق ترسیم هر پارامتر در بروز زمین‌لغزش‌ها، پلی‌گون کلاس خطر خیلی زیاد انتخاب گردید و میانگین مقادیر وزنی هر یک از پارامترها در این پلی‌گون محاسبه گردید. به منظور تعیین صحت نقشه‌ی پهنه‌بندی زمین‌لغزش نیز از روی

جدول ۵: مقدار ارزش‌های وزنی برای هر پارامتر در حوزه‌ی آبخیز جهان

پارامتر	مقادیر وزن		مقادیر وزن		میانگین مقدار وزنی در کلاس خیلی زیاد
	حداکثر	کلاس	حداقل	کلاس	
شیب	۰/۱۶۲۲۰	۰-۱۵	-۰/۲۴۷۰۹	>۶۰	-۰/۰۰۶۰
فاصله از آبراهه	۰/۴۳۸۸۲	۰-۵۰	-۱/۷۸۱۷۱	>۵۰۰	۰/۱۳۶۴
بارندگی	۱/۷۴۷۳۰	۲۷۸-۳۰۰	-۳/۴۱۷۰۲	۴۵۰-۵۰۰	۱/۳۵۰۷
زمین‌شناسی	۱/۵۵۲۳۴	۱	-۳/۲۰۱۵۳	۰	۰/۶۶۷۴
فاصله از گسل	۱/۷۹۷۵۷	۰-۱۰۰	-۳/۶۱۵۶۳	>۱۰۰۰	۰/۱۷۷۶
جهت	۱/۵۷۸۴۷	North	-۱/۸۵۶۷۵	Flat	۰/۶۰۰۳

مأخذ: محمدی و همکاران، ۱۳۸۸

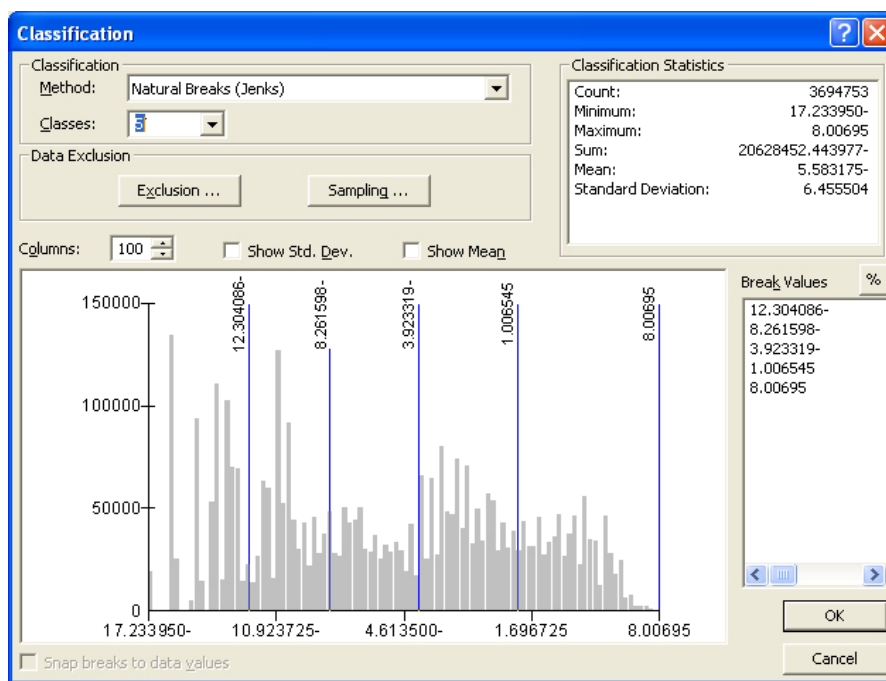
هیستوگرام به روش Jenks و ارزش‌های وزنی مدل آماری را نشان می‌دهد.

شکل ۴ و ۵ به ترتیب برخی از زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوزه‌ی جهان اسفراین و شکست‌های طبیعی



شکل ۴: برخی از زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوزه‌ی آبخیز جهان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱



شکل ۵: شکست‌های طبیعی هیستوگرام به روش Jenks و ارزش‌های وزنی SI  
مأخذ: شادفر و همکاران، ۱۳۸۴

در کلاس خیلی زیاد با مساحت ۱۵۴۱/۶۸ هکتار بیشترین مساحت و بعد از آن زیرحوزه J2 با ۲۰۵/۲۸ هکتار را از لحاظ لغزش به خود اختصاص داده است. از لحاظ کلاس زیاد و متوسط زیرحوزه J3 با بیشترین مساحت و از لحاظ کلاس کم زیرحوزه J23 با ۳۲۸/۴۵ هکتار و کلاس خیلی کم زیرحوزه J24 با مساحت ۵۴۹/۲۰ هکتار بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۶ اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش در پنج کلاس خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم را در حوزه جهان اسفراین را نشان می‌دهد که طبق آن زیرحوزه J1، J3 و J4 به ترتیب اولویت اول، دوم و سوم و زیرحوزه J13، J'24، J'14، J'17، J'22، J'20، J'21، J19، J18 اولویت یازدهم یا آخر را از لحاظ لغزش به خود اختصاص داده‌اند. همچنین از بین زیرحوزه‌ها، زیرحوزه J1

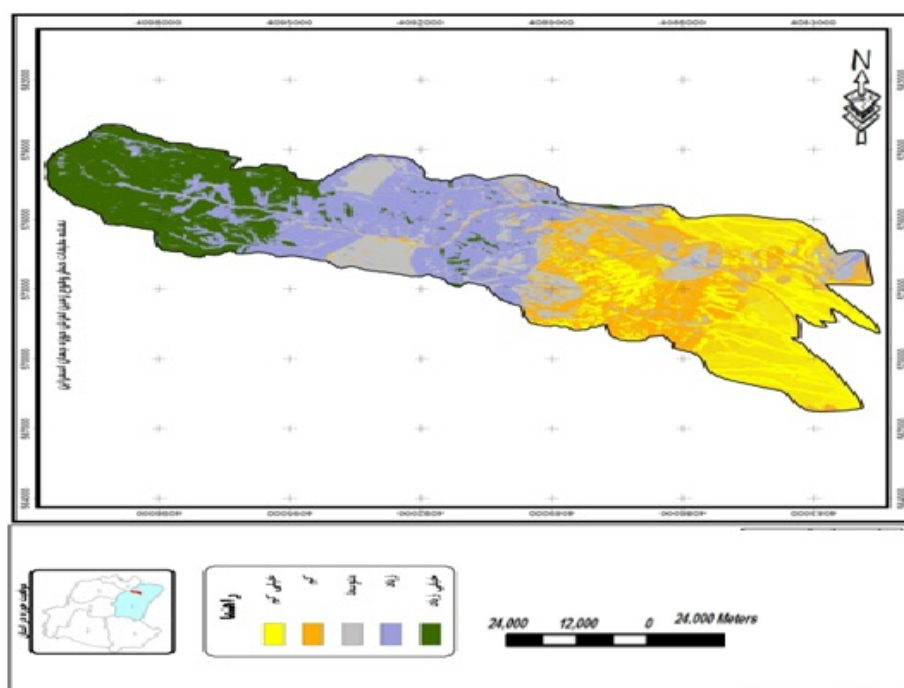
جدول ۶: اولویت‌بندی زیرحوزه‌ها به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه‌ی آبخیز جهان

زیرحوزه	مساحت طبقات خطر (هکتار)					اولویت زیرحوزه‌ها به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش
	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد	
J1	۰/۰۰	۲/۵۳	۳۷/۴۲	۵۰۱/۶۱	۱۵۴۱/۶۸	۱
J'3	۲/۰۰	۱۸/۵۰	۳۱۳/۶۶	۶۳۰/۰۱	۴۳/۳۲	۲
J4	۰/۰۷	۳/۷۶	۱۸۱/۲۰	۴۲۷/۸۲	۹/۱۲	۳
J2	۰/۱۶	۰/۹۹	۲۰/۶۸	۲۰۶/۵۲	۲۰۵/۲۸	
J'5	۰/۲۹	۱۲/۴۴	۷۸/۹۸	۱۱۱/۹۸	۴/۴۹	۴
J8	۲۱/۰۰	۵۴/۴۱	۵۰/۵۰	۱۰۵/۵۹	۸/۶۳	
J11	۱۹۲/۸۷	۲۳۴/۱۴	۱۵۰/۹۹	۸۷/۹۳	۱/۲۷	۵
J6	۲/۸۵	۳۸/۹۱	۷۱/۲۳	۸۷/۵۴	۰/۸۷	
J23	۱۱۱/۳۸	۳۲۸/۴۵	۱۰۹/۵۱	۴۵/۳۶	۰/۵۳	۶
J16	۲۴۷/۱۷	۲۰۱/۳۶	۱۰۵/۱۶	۲۸/۱۳	۰/۲۳	
J15	۹۸/۸۴	۵۷/۸۶	۴۸/۲۸	۲۲/۹۳	۴/۴۲	۷
J'12	۳۴/۰۷	۸۵/۳۴	۷۸/۲۷	۱۴/۲۷	۰/۰۰	
J9	۱۶/۳۱	۳۲/۱۵	۲۲/۵۴	۱۱/۸۷	۰/۰۰	۸
J'10	۶/۸۰	۴۱/۱۶	۳۱/۱۸	۷/۷۳	۰/۰۳	
J'7	۱۵/۸۰	۹۳/۳۶	۶۹/۲۹	۴/۰۳	۰/۰۰	۱۰
J13	۸۴/۳۹	۱۱۷/۴۱	۵۴/۸۰	۱/۱۳	۰/۰۰	
J'24	۵۴۹/۲۰	۲۰۰/۵۶	۶/۶۲	۰/۱۲	۰/۰۰	۱۱
J'14	۱۲۴/۴۳	۳۹/۴۱	۹/۱۶	۰/۰۲	۰/۰۰	
J17	۱۳۰/۶۴	۱۲۲/۲۰	۱۳/۸۸	۰/۰۱	۰/۰۰	
J'22	۳۸/۳۶	۱۰/۱۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
J20	۳۸/۵۸	۳۸/۶۰	۰/۱۹	۰/۰۰	۰/۰۰	
J21	۴۲/۴۶	۷۶/۱۰	۵/۸۸	۰/۰۰	۰/۰۰	
J19	۵۱/۰۴	۱۰/۹۶	۰/۰۲	۰/۰۰	۰/۰۰	
J18	۲۴/۳۷	۷/۹۳	۱/۱۴	۰/۰۰	۰/۰۰	

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، (۱۳۹۱)

۱۸۳۳/۰۸ و ۱۸۲۸/۶۵، ۱۴۶۰/۵۸، ۲۲۹۴/۶۰، ۱۸۱۹/۸۴  
هکتار را در حوزه‌ی آبخیز جهان را به خود اختصاص داده‌اند.

شکل ۶ نقشه‌ی طبقات خطر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی  
را در حوزه‌ی جهان را نشان می‌دهد که بر اساس آن طبقه  
خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم به ترتیب مساحت



شکل ۶: نقشه طبقات خطر وقوع زمین‌لغزش و پهنه‌بندی درحوزه آبخیز جهان

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۱

## نتیجه

باعث وقوع خسارت‌های زیاد ناشی از زمین‌لغزش‌ها شده است. یکی از راهکارهای مهم برای کاهش خسارت‌های ناشی از وقوع زمین‌لغزش‌ها، دوری جستن از این مناطق است. بدین منظور لازم است تا نقشه‌ی پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای این مناطق تهیه گردد. در این تحقیق پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور شناسایی مناطق دارای پتانسیل لغزش در حوزه آبخیز جهان اسفراین خراسان شمالی انجام گرفته است. بر اساس ماتریس همبستگی، بیشترین وزن اختصاص یافته به کلاس پارامتر بارندگی و زمین‌شناسی تعلق دارد. از لحاظ مقدار ارزش‌های وزنی برای هر پارامتر نیز بارندگی و زمین‌شناسی بیشترین میانگین در بین پارامترها را دارا می‌باشد. این حوزه به لحاظ وقوع زمین‌لغزش دارای اهمیت خاصی است و پهنه‌های لغزشی متعددی در آن دیده می‌شود. به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش زیرحوزه J1 در اولویت اول و

ایران با توپوگرافی عمدتاً کوهستانی، فعالیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی زیاد، شرایط متنوع زمین‌شناسی و اقلیمی، عمده شرایط طبیعی را برای ایجاد طیف‌وسعی از زمین‌لغزش‌ها داراست. زمین‌لغزش در ایران به‌عنوان یک بلای طبیعی، سالانه خسارت جانی و مالی فراوانی به کشور وارد می‌سازد. این پدیده همه ساله در اکثر استان‌های کشور موجب خسارت‌های اقتصادی به راه‌ها، خطوط آهن، خطوط انتقال نیرو و ارتباطات، کانال‌های آبیاری و آبرسانی، تأسیسات معدنی، تأسیسات استخراج، پالایش نفت و گاز، شبکه شریان‌های حیاتی داخل شهرها، کارخانه‌ها و مراکز صنعتی، سدها و دریاچه‌های مصنوعی و طبیعی، جنگل‌ها و مراتع و منابع طبیعی، مزارع و مناطق مسکونی و روستاها گشته یا آنها را مورد تهدید قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر عوامل طبیعی و انسانی

- ثروتی، محمدرضا؛ فریبا آزاد (۱۳۹۲). بررسی عوامل‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی آن، مجله منابع طبیعی ایران. ۲۰ (۲). صفحات ۱۲۶-۱۱۸.
- حیاتی، الیاس؛ باریس مجنونیان؛ احساس عبدی؛ علی دسترنج؛ علی‌اکبر نظری‌سامانی (۱۳۹۱). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور استفاده کاربردی در طراحی شبکه جاده جنگلی، نشریه جنگل و فرآورده‌های چوب. ۶۵ (۱).
- راکعی، بابک؛ ماشالله؛ پرویز عبدالملکی؛ پانته‌آ گیاه‌چی (۱۳۸۶). کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مجله علوم دانشگاه تهران. ۳۳ (۱). صفحات ۳۲-۲۱.
- شادفر، صمد؛ مجتبی یمانی؛ جمال قدوسی؛ جعفر غیومیان (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. ۷۵. صفحات ۱۲۶-۱۱۸.
- شادفر، صمد؛ مجتبی یمانی؛ محمد نمکی (۱۳۸۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعاتی، تراکم سطح و LNRE در حوزه‌ی چالکرو، مجله آب و آبخیز. ۳. صفحات ۶۸-۶۲.
- شیرانی، کوروش؛ ستار چاوشی؛ جعفر غیومیان (۱۳۸۵). بررسی و ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در پادانای علیای سمیرم، مجله پژوهش علوم دانشگاه اصفهان. ۲۳ (۱). صفحات ۳۸-۲۳.
- شیرانی، کوروش؛ محمدرضا حاجی‌هاشمی؛ سیدعلی نیک‌نژاد؛ سلیمان رخشا (۱۳۹۱). پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و رگرسیون چند متغیره (MR) (مطالعه موردی: سراب حوضه کارون شمالی)، نشریه مرتع و آبخیزداری. ۳ (۳). صفحات ۴۰۹-۳۹۵.
- عبادی‌نژاد، سیدرضا؛ مجتبی یمانی؛ محسن مقصودی؛ صمد شادفر (۱۳۸۶). ارزیابی کارایی عملگرهای منطق فازی در تعیین توانمندی زمین‌لغزش، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲ (۲). صفحات ۴۴-۳۹.

- زیرحوزه‌های J13، J'24، J'14، J'17، J'22، J20، J21، J18، J19 در اولویت آخر قرار گرفتند. پس از بررسی مشخص شد که زیرحوزه‌های شمالی به لحاظ خطر وقوع زمین‌لغزش در محدوده‌ی ریسک زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. آنچه که مسلم است بهترین شیوه‌ی کاهش خطر وقوع زمین‌لغزش در حوزه‌ی جهان افزایش پوشش گیاهی با انجام عملیات احیایی، اصلاحی و مدیریتی در سطح مراتع می‌باشد. با بررسی لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوزه مهم‌ترین علل وقوع زمین‌لغزش به شرح ذیل می‌باشد:
- با بررسی لغزش‌های به وقوع پیوسته در حوزه مهم‌ترین علل وقوع زمین‌لغزش به شرح ذیل می‌باشد:
- ۱- حساسیت واحدهای زمین‌شناسی بویژه سازندهای کشف‌رود، لار، مزدوران و چمن‌بید به اشباع رطوبتی و وجود لایه‌ی غیرقابل نفوذ در این واحدها؛
  - ۲- گسیختگی پاشنه‌ی شیب‌ها به علت فرسایش‌های کناره‌ای بخصوص در حاشیه‌ی رودخانه جهان؛
  - ۳- کاهش تاج پوشش گیاهی مراتع بر اثر چرای مفرط دام بخصوص در خشکسالی‌های اخیر؛
  - ۴- فعالیت‌های تکتونیکی.

### منابع

- احمدی، حسن؛ ابادر اسمعیلی‌عوری؛ سادات فیض‌نیا؛ محسن شریعت‌جعفری (۱۳۸۲). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از دو روش رگرسیون چندمتغیره (MR) و تحلیل سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز گرمی‌چای، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۶، شماره ۴.
- احمدی، حسن؛ شیرین محمدخان سادات فیض‌نیا؛ جمال قدوسی (۱۳۸۴). ساخت مدل منطقه‌ای خطر زمین‌لغزش با استفاده از ویژگی‌های کیفی و سلسله مراتبی سیستم‌ها (AHP) مطالعه موردی حوضه آبخیز طالقان، مجله منابع طبیعی ایران. جلد ۵۸، شماره ۱.

- علیجانی، بهلول؛ مرتضی قهرودی؛ اکبر امیراحمدی (۱۳۸۶). پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش در دامنه‌های شمالی شاه‌جهان با استفاده از GIS، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. (۸۴). صفحات ۱۳۱-۱۱۶.
- فاطمی‌عقدا، سیدمحمود؛ جعفر غیومیان؛ محمدولی تشنه‌لب؛ عقیل اشقلی‌فراهانی (۱۳۸۴). بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی: منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران. (۱)۳۱. صفحات ۶۴-۴۳.
- فاطمی‌عقدا، سیدمحمود؛ جعفر غیومیان؛ عقیل اشقلی‌فراهانی (۱۳۸۲). ارزیابی کارایی روش‌های آماری در تعیین پتانسیل خطر زمین‌لغزش، مجله علوم زمین. ۱۱ (۴۷-۴۸). صفحات ۴۷-۲۸.
- فیض‌نیا، سادات؛ علی کلارستانی؛ حسن احمدی؛ محمد صفایی (۱۳۸۳). بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز شیرین رود-سد تجن)، مجله منابع طبیعی ایران. (۱) ۵۷. صفحات ۲۰-۳.
- کرم، علی (۱۳۸۰). مدل‌سازی کمی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در زاگرس چین‌خورده (مطالعه موردی: حوزه‌ی آبخیز سرخون-استان چهارمحال و بختیاری)، رساله دکتری جغرافیای طبیعی. دانشگاه تربیت مدرس. صفحه ۳۵۴.
- محمدی، مجید (۱۳۸۶). تحلیل خطر زمین‌لغزش و ارائه مدل منطقه‌ای مناسب با استفاده از GIS (مطالعه موردی: بخشی از حوزه‌ی آبخیز هراز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، صفحه ۷۹.
- محمدی، مجید؛ حمیدرضا مرادی؛ سادات فیض‌نیا، حمیدرضا پورقاسمی (۱۳۸۸). اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش و تهیه‌ی نقشه‌ی خطر آن با استفاده از مدل‌های ارزش اطلاعات و AHP (مطالعه موردی: بخشی از حوزه آبخیز هراز)، مجله علوم زمین.
- مقیمی، ابراهیم؛ سیدکاظم علوی‌پنا؛ تیمور جعفری (۱۳۸۷). ارزیابی و پهنه‌بندی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش دامنه‌های شمالی آلاداغ، پژوهش‌های جغرافیایی. ۶۴. صفحات ۷۵-۵۳.
- معماریان، حمید؛ مجید سیارپور (۱۳۸۵). نقش پارامتر شیب‌دامنه در بروز خطا در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، نشریه دانشکده فنی. (۱)۴۰. صفحات ۱۱۳-۱۰۵.
- ناجی، سمیه (۱۳۸۵). پهنه‌بندی خطر لغزش در محور ساری-کیاسر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست محیطی. دانشگاه صنعتی شاهرود.
- Aleotti P., Chawdhury R (2010). landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bull. Eng. Geol. Environ. 58: 21-44.
- Anabalagan, R (2010). Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Eng. Geol. 32: 269-227.
- Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F., Rampini, A (1998). Slope instability zonation: a comparison between certainty factor and fuzzy dempster - shafer approaches, Natural Hazards, 17, 77-97
- Dymond, J.R., R.J. Murray and R.L. Layton, (1999). Computer simulation of shallow landsliding in New Zealand hill country. JAG, Volume 1, Issue 2.
- Lan, H.X., Zhou, C.H., Wang, L.J., Zhang, H.Y., Li, R.H (2004). Landslide hazard spatial analysis and prediction using GIS in the Xiaojiang Watershed, unnan, China. Engineering Geology 76, 109-128.
- Lee S., Ryu J. H., Lee M. J., Won J. S (2006). The Application of artificial neural networks to landslide susceptibility mapping at Janghung, Korea, Mathematical Geology, 38( 2): 199-220.
- Lee, S. and Talib, J. A (2011). Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. Environmental Geology, Vol. 47, 982-900.
- Lee, S. and Pradhan, B (2012). Probabilistic landslide hazards and risk mapping on Penang Island. Malaysia, J. Earth Syst. Sci, 115(6): 661-672.
- Lin W., Chou W., Lin C (2008). Earthquake-induced landslide hazard and vegetation recovery assessment using remotely sensed data and a neural network-based classifier: a case study in central Taiwan, Natural Hazards, 47: 331-347.
- Yalcin, A (2011). GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): Comparisons of results and confirmations, Catena, 72: 1-12.