پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

مسعود کورکی‌نژاد*

۱. مقدمه

«زمین‌لغزش»[۱]، سیل، زلزله، آتشفشان و... از خطرات طبیعی به‌شمار می‌روند که زیان‌های جانی و مالی فراوانی را به همراه دارند. رشد نامتوازن جمعیت موجب افزایش روز افزون فشار بر منابع طبیعی می‌شود که پیامد آن، تشدید وقوع خطرات طبیعی مانند زمین‌لغزش و سیل است.

ناپایداری دامنه‌ها یا شیب‌های طبیعی در کشوری با شرایط متنوع زمین‌شناسی، توپوگرافی، آب‌وهوایی و کاربری زمین چون ایران که از لحاظ لرزه زمین‌ساختی و لرزه خیزی یکی از فعال‌ترین پهنه‌ها در کمربند چین خوردگی آلپ-هیمالیاست، اهمیت ویژه‌ای دارد. ایران از جمله کشورهایی است که به‌صورت عام با مشکل زمین لغزش‌های ناشی از زلزله روبه روست. میزان خسارات ناشی از وقوع حرکت‌های مواد دامنه‌ای در ایران تا اوایل سال ۱۳۷۸، حدود ۱۸۶۶ میلیارد ریال برآورد شده است. (محمودی و کرم، ۱۳۸۰)

با پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش‌ها می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش را شناسایی کرد و با ارائهٔ راه حل، و کاربرد شیوه‌های کنترل و مدیریت مناسب، تا حدی از وقوع زمین لغزش‌ها جلوگیری کرد و یا از خسارات ناشی از وقوع آن‌ها کاست (اصل پیشگیری بهتر از درمان). در این راستا، با توجه به هدف و شرایط محیط، مدل‌های پهنه‌بندی متفاوتی ارائه شده‌اند.

۲. ضرورت پهنه بندی خطر زمین لغزش

با پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش‌ها، می‌توان مناطق حساس و دارای پتانسیل خطر بالای لغزش را شناسایی کرد و با ارائهٔ راه‌حل مناسب، تا حدی از وقوع زمین‌لغزش‌ها جلوگیری کرد و در آمایش سرزمین و راهبرد توسعهٔ پایدار، انتخاب و آرایش گزینه‌های کاربری زمین، طراحی پروژه‌ها و شیوه‌های مدیریت محیط، به‌طور گسترده و با الزامات قانونی و فنی، بر نقشه‌های ارزیابی توان و پهنه‌بندی شدت و تیپ خطرات محیطی مانند زمین لغزش و ناپایداری زمین استوارند.

زمین لغزش‌ها در مقیاس جهانی، فرایندهای اصلی تشکیل دهندهٔ سطح زمین در نواحی کوهستانی و شیبدار هستند و از نظر زیان‌های اقتصادی-اجتماعی، از مهم‌ترین خطرات طبیعی به‌شمار می‌روند (سعدالدین ۱۳۷۵).

در کشور ما، خسارات ناشی از حرکت‌های مواد دامنه‌ای بیش از خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌هاست(سعدالدین، ۱۳۷۵). به‌گونه‌ای که، زمین‌لغزش‌ها در منطقهٔ رودبار-منجیل، چهارمحال‌وبختیاری و خلخال تلفات جانی و مالی به‌همراه داشته‌اند. در کشور ما، خسارات ناشی از حرکت‌های مواد دامنه‌ای بیش از خسارات ناشی از زمین‌لرزه‌هاست.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهند که تا اوایل سال ۱۳۷۸، وقوع حدود ۲۵۹۰ زمین لغزش در کشور باعث تخریب ۱۷۶ باب خانه، ایجاد خسارت مالی به میزان ۱۸۶۶ میلیارد ریال، تخریب ۶۷۶۳ هکتار جنگل، تخریب ۱۷۰ کیلومتر راه ارتباطی، و ایجاد انباشت‌های رسوبی سالانه‌ای به حجم ۹۶۳۸۰۷ متر مکعب شده است (محمودی و کرم، ۱۳۸۰).

۳. تعریف زمین لغزش

برای پدیدهٔ زمین‌لغزش تعریف‌های زیادی توسط محققان متعددی ارائه شده‌اند که مفاهیم مشترکی از آن‌ها تداعی می‌شود. در ادامه تعدادی از این تعریف‌ها آورده می‌شوند:

ترزاقی (۱۹۵۰) اصطلاح زمین لغزش را برای همهٔ حرکات توده‌ای در شیب‌ها، شامل افتان‌ها[۲]، واژگونی‌ها[۳]، و سیلان‌های واریزه‌ای[۴] به‌کار می‌برد[۵] (احمد و مک‌کاپلین ۱۹۹۷).

(شارپ[۶] ۱۹۳۸) زمین لغزش‌ها را ریزش زمین یا یک تودهٔ سنگ و یا مخلوطی از سنگ و خاک در جهت شیب تعریف می‌کند (شریعت جعفری ۱۳۷۵).

(وارنز[۷] ۱۹۷۸) زمین لغزش را چنین تعریف می‌کند: حرکت ثقلی

جدول ۱ . نمونه‌هایی از زمین‌لغزش‌های بزرگ ایران و خسارت ناشی از آن‌ها (سعدالدین ، ۱۳۷۵)

محل وقوع	خسارت و حسارت
زمین لغزش روستای سیمره (لرستان)	تغییر شکل عمده در سطح دامنه و بستر رودخانه و ایجاد سد و دریاچهٔ بزرگ
زمین لغزش روستای گرگزلو (اطراف خلخال)	تخریب خانه‌ها و باغات پائین دست
زمین لغزش روستای چنار (اطراف خلخال)	تخریب خانه‌های روستایی
زمین لغزش روستای سقزچی (اطراف خلخال)	خرابی و خسارت به ساختمان‌های روستایی
زمین لغزش روستای گیلاندوز (اطراف خلخال)	تخریب ساختمان‌های روستایی و خارج شدن روستا از ارتفاع
زمین لغزش روستای افضل (اطراف میانه)	تخریب خانه‌های روستایی و خارج شدن روستا از ارتفاع
زمین‌لغزش روستای عریان‌تپه (اطراف میانه)	تخریب خانه‌های روستایی
زمین‌لغزش روستای باریکان (طالقان)	خسارت به بناهای روستا
زمین‌لغزش روستای خانقاه (میانه)	تخریب خانه‌های روستایی
زمین‌لغزش روستای خلیل‌بزگره (جوانرود کرمانشاه)	تخریب خانه‌های روستایی و خارج شدن روستا از ارتفاع
زمین لغزش روستای خلیل‌آباد رودبار	از بین رفتن باغات زیتون
ریزش سنگ در جادهٔ قزوین	خسارت به دیوارهٔ محافظ جاده و تخریب روستایی
لغزش معدن سنگ‌رود	خسارت به راه دسترسی و تأسیسات
لغزش فتلک	مدفون شدن دو روستا و ساکنان آن

در جهت پائین و بیرون مواد تشکیل دهندهٔ یک دامنه اعم از سنگ، خاک و یا خاکریزهای مصنوعی، زمین لغزش نامیده می‌شود. حرکت توده‌ای می‌تواند یکی از انواع ریزش، لغزش، جریان و یا ترکیبی از این‌ها باشد (احمد وکاپلین، ۱۹۹۹).

کاتس[8] (۱۹۷۷) با جمع‌بندی تعریف‌های ارائه شده در ۲۸ مقاله، این تعریف را ارائه داده است: (شریعت‌جعفری، ۱۳۷۵)

۱. زمین لغزش پدیده‌ای است که تحت عنوان حرکت توده‌ها[9] مطرح می‌شود.

۲. نیروی ثقل در این فرایند یک عنصر اصلی است.

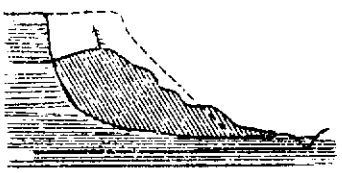
۳. حرکت تودهٔ گسیخته شده معمولاً سریع است و خزش به قدری بطئی است که در زمرهٔ لغزش قرار نمی‌گیرد.

۴. حرکت توده‌ای شامل ریزش[10]، لغزش[11] و جریان[12] است.

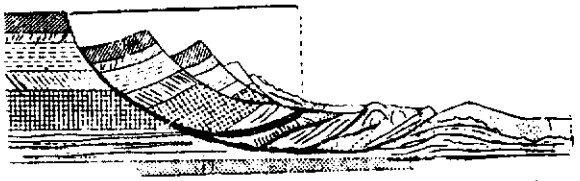
۵. مواد جابه‌جا شده دارای مرز مشخصی هستند.

۶. صفحهٔ زمین لغزش با یک گسل همانند و یکی نیست.

۷. پدیدهٔ ذوب و حرکت زمین یخزده معمولاً مستثناست.



زمین لغزش یک مرحله‌ای



زمین‌لغزش چند مرحله‌ای

با یک جمع‌بندی کلی می‌توان عنوان کرد: هر حرکت ثقلی بخشی از خاک، سنگ یا مخلوطی از آن‌ها روی دامنه به طرف پائین برای رسیدن به شرایط پایدارتر را زمین لغزش می‌گویند.

۴. تعریف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

از آن‌جا که پدیدهٔ زمین‌لغزش پیچیده‌تر از سایر بلایای طبیعی مثل سیل، زلزله و... است و تحت تأثیر عوامل متفاوتی قرار دارد که کمّی کردن بعضی از آن‌ها غیرممکن است، تعیین احتمال وقوع آن به‌صورت درصد مشکل است. مثلاً بین بزرگی زلزله و سیل و دورهٔ بازگشت می‌توان رابطه برقرار کرد، ولی تا کنون بین بزرگی زمین لغزش و دورهٔ بازگشت آن هیچ رابطهٔ ساده‌ای نتوانسته‌اند برقرار کنند.

تعیین احتمال واقعی وقوع این پدیده، مستلزم تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در ایجاد آن، مانند زلزله و بارندگی با به‌کاربردن مدل‌های پیچیده است. در اکثر موارد هم هیچ‌ارتباط روشنی بین این عوامل و وقوع زمین‌لغزش‌ها وجود ندارد. بنابراین، اکثر نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، میزان حساسیت یا پتانسیل وقوع زمین‌لغزش را در پهنه‌های متفاوت و یا به عبارت دیگر، همچون خطر بالا، متوسط و پائین نمایش می‌دهند. در ارتباط با پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مدل‌های متفاوتی

جدول ۲. رده‌بندی سنگ‌ها از نظر مقاومت در برابر زمین لغزش

شماره	رده‌بندی سنگ‌ها
۱	سنگ آهک توده ای ـ سنگ آهک ضخیم لایه، دولومیت توده‌ای، سنگ آهک دولومیتی ضخیم لایه، ماسه سنگ و ماسه سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه با سیمان سیلیسی و درزه‌های کم، کنگلومرا با سیمان سیلیسی، مرمریت توده‌ای، مرمر ضخیم با درزه‌های کم، کوارتزیت
۲	سنگ آهک با لایه‌بندی متوسط، ماسه‌سنگ و ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط و سیمان آهکی، سنگ آهک دولومیتی با لایه‌بندی متوسط، سنگ آهک ماسه‌ای با لایه‌بندی متوسط، کوارتزیت، سنگ‌های آذرین
۳	سنگ آهک مارنی با لایه‌بندی متوسط، سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی نازک لایه، ماسه سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط
۴	بازالت و آندزیت با درزه‌های انقباضی و هوازده، ماسه‌سنگ نازک لایه تا متوسط لایهٔ دارای درزه، توف آهکی، ماسه‌سنگ و کنگلومرا با سیمان ضعیف، سنگ آهک ماسه‌ای نازک لایه با درز، شیست و سنگ‌های دگرگونی درزدار و لایه‌بندی شده، سنگ‌های آذرین بیرونی با ایستادگی متوسط
۵	توف آندزیتی، توف آهکی هوازده، شیل آهکی
۶	مارن زغالدار، شیل آهکی هوازده، تناوب شیل و ماسه‌سنگ، تناوب شیل و لای سنگ، مارن گچدار
۷	مارن، توف هوازده، گل سنگ، ماسه‌سنگ تکتونیزه و هوازده، زغال‌سنگ، شیل
۸	شیل و مارن هوازده
۹	آبرفت‌های قدیمی مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های قدیمی، رسوبات پرکنندهٔ دره‌ها مشتمل بر مارن و گچ
۱۰	آبرفت‌های جوان مشتمل بر پادگانه‌ها و مخروط افکنه‌های جوان، خاک‌های برجا، خاک‌های حاصل فرسایش سنگ بستر که بر اثر نیروی ثقل و عوامل جوی از ارتفاعات روی شیب حمل شده و روی هم انباشته شده‌اند.

ارائه شده‌اند. در این مقاله دو مدل را تشریح می‌کنیم:

۵. الگوی پهنه بندی خطر زمین لغزش حائری ـ سمیعی:

حائری و سمیعی(۱۳۷۶) با تلفیق و اصلاح روش‌های مرسوم، مدلی را با امتیازبندی ۷ پارامتر و با هفت کلاس خطر تدوین کرده‌اند و با استفاده از آن، سطح تمام استان مازندران سابق را در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ پهنه‌بندی نموده‌اند که معادلهٔ کلی آن عبارت است از:

$$HLS = (C_L P_L)(C_I P_I)(C_F P_F)(C_R P_R)(C_H P_H)(C_P T_P + C_E T_E)$$

HLS= عدد میزان خطر ناپایداری دامنه‌ها

۵ـ۱. لیتولوژی (P_L)

در این مدل از لحاظ مقاومت در برابر عوامل لغزش به ده رده طبقه‌بندی شده‌اند. در این رده‌بندی، مقاوم‌ترین مواد سنگی در ردهٔ ۱ و ضعیف‌ترین آن‌ها در ردهٔ ۱۰ جای می‌گیرند.

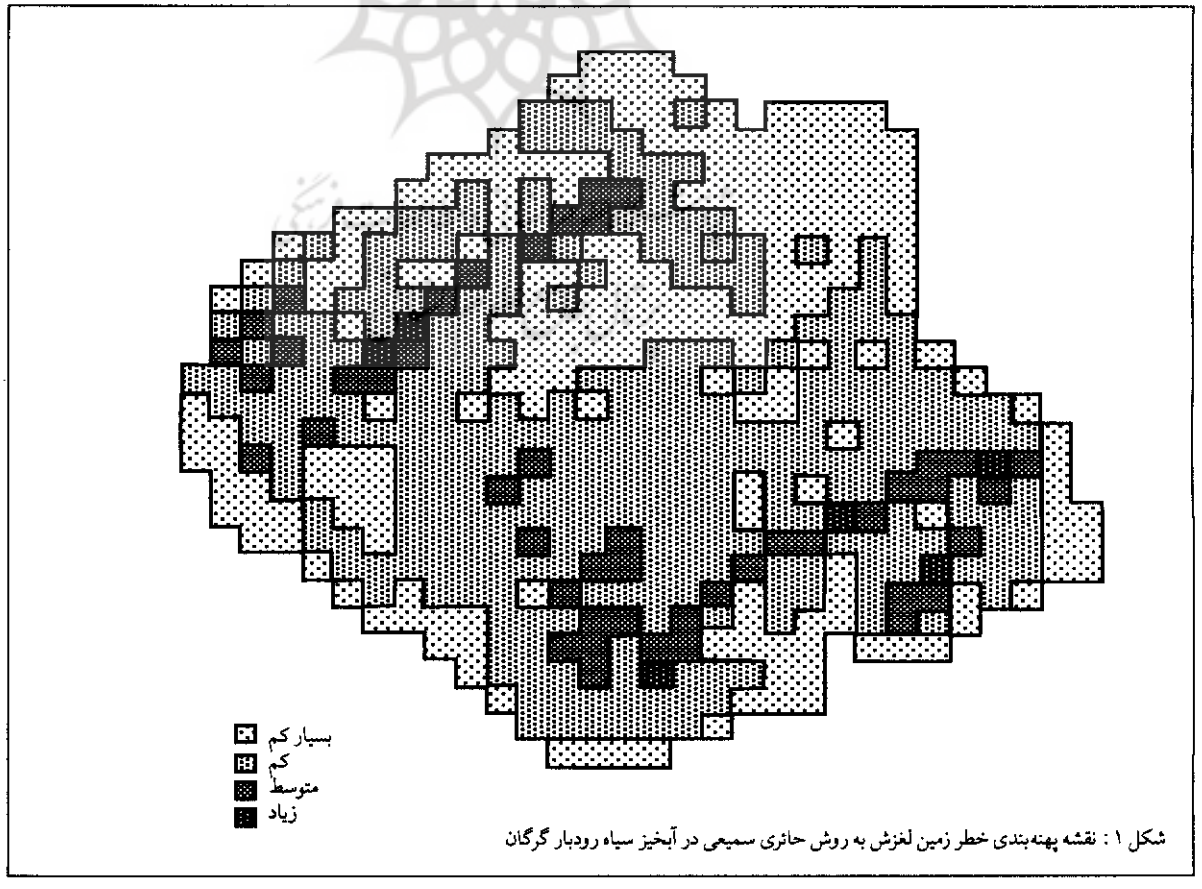
۵ـ۲. زاویهٔ شیب(P_I)

زاویهٔ شیب سطح زمین از عوامل اصلی آمادگی گسیختگی دامنه‌ها به‌شمار می‌رود و به دو صورت طبیعی و مصنوعی تغییر می‌کند. افزایش شیب، وضعیت تعادل مواد سازندهٔ دامنه را برهم می‌زند و موجب بالا رفتن تنش‌های برشی در مواد دامنه می‌شود.

۵ـ۳. طول گسل(P_F)

گسل‌ها از عوامل ایجاد ناهماهنگی و ناپیوستگی در توده‌های سنگی و خاکی هستند. درصد قابل ملاحظه‌ای از لغزش‌ها نزدیک گسل‌ها رخ می‌دهند که این امر حاکی از اهمیت این ساختار زمین‌شناسی در افزایش ناپایداری دامنه‌هاست.

در این مدل، در ازای گسل های موجود در واحدهای شبکه‌ای به‌عنوان عامل مؤثر در ناپایداری در نظر گرفته شده و رده‌بندی شده‌اند.



شکل ۱: نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش به روش حائری سمیعی در آبخیز سیاه رودبار گرگان

۵ـ۴. عامل راه و رودخانه(P_R)

این عامل به دو عامل زیر تفکیک می‌شود:

۵ـ۴ـ۱ . رودخانه

آب‌های جاری یکی از عوامل افزایش آمادگی لغزش در دامنه‌ها به‌شمار می‌روند. بر اثر جریان آب رودها، حفر و فرسایش صورت می‌گیرد. در این مدل، طول رودخانه در واحدهای مربع شکل به‌عنوان عاملی در افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها منظور شده است.

۵ـ۴ـ۲ . راه

راه به‌طور عمده با کاهش دادن مقاومت برشی در برابر فشار برشی، باعث افزایش پتانسیل ناپایداری دامنه‌ها می‌شود. عملیات راهسازی و نیز لرزش‌های ناشی از تردد وسایل نقلیه به‌عنوان عوامل ناپایدار کنندهٔ دامنه‌ها، باعث بروز ناپایداری می‌شوند.

عوارض خطی راه و رودخانه به‌طور عمده با کاهش مقاومت برشی در برابر حرکت مواد دامنه‌ای، سبب افزایش پتانسیل ناپایداری در دامنه‌ها می‌شوند. میزان تأثیر هر دو عامل راه و رودخانه در این مدل در یک ناحیه به‌طور یک‌جا در نظر گرفته می‌شود.

۵ـ۵. عامل بارندگی

در مناطق پربارش جهان، بارندگی یکی از عوامل اصلی زمین لغزش است. میزان تأثیر بارندگی در ناپایداری دامنه‌ها به شرایط اقلیمی منطقه، توپوگرافی، ساختارهای زمین‌شناسی و نفوذپذیری مواد سازنده بستگی دارد.

تأثیر عامل بارندگی در رویداد زمین لغزش‌ها به دو ضریب زیر خلاصه می‌شود:

۵ـ۵ـ۱ . میزان بارندگی

در این مدل، میانگین‌های بارندگی ماهانه و ضرایب مربوط به آن‌ها، چگونگی تأثیر میزان انباشتی میانگین‌های بارندگی ماهانه در ناپایداری دامنه‌ها در هر واحد شبکه تعیین می‌شود.

۵ـ۵ـ۲ . شدت بارندگی

ایستگاه‌ها از نظر آمار بارندگی روزانه به دو گروه تقسیم می‌شوند:

الف) ایستگاه‌هایی که آمار ۱۰ سال و یا بیش‌تر از آن را دارند.

ب) ایستگاه‌هایی که آمار کم‌تر از ۱۰ سال را دارند.

در صورت استفاده از ایستگاه‌های گروه الف، حداکثر بارندگی ۲۴

جدول ۳ . رده‌بندی لیتولوژی از نظر مقاومت در برابر زمین لغزش

آهک نفوذپذیر، سنگ‌های نفوذی با خردشدگی کم، بازالت، آندزیت‌ها، گرانیت‌ها، ایگنیمبریت (روانه‌های خاکستر آتشفشانی)، گنیس، هورنفلس (نوعی سنگ دگرگونی مجاورتی)، و سنگ‌هایی با مقاومت برشی بالا، شدت هوازدگی کم، سطح ایستایی پائین و سطوح شکستگی تمیز	پائین	۱
سنگ‌های فوق‌الذکر و سنگ‌های رسوبی و تخریبی با بافت کاملاً توده‌ای با شدت هوازدگی بالا، شکستگی‌های برش‌پذیر و مقاومت برشی کم	ملایم	۲
سنگ‌های آتشفشانی، دگرگونی، آذرین درونی و رسوبی با هوازدگی قابل توجه، خاک‌های رگولیتی ماسه‌ای متراکم‌شده، آبرفت و کوه‌رفت تحکیم‌شده با سطح ایستایی نوساندار و گسیختگی‌های قابل توجه	متوسط	۳
سنگ‌های دگرسان‌شدهٔ گرمایی با هوازدگی قابل توجه، قویاً گسسته شده و شکافدار و همراه با پرشدگی رسی (درزها)، خاک‌های دریاچه‌های آب شیرین و آذرآواری‌های کم متراکم شده با سطوح ایستایی کم‌عمق	بالا	۴
سنگ‌های کاملاً دگرسان‌شده، خاک‌های برجا، آبرفت، کوه‌رفت با مقاومت برشی کم و سطح ایستایی پائین	بسیار بالا	۵

ساعته با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله و در صورت استفاده از ایستگاه‌های گروه ب، میانگین بارندگی این ایستگاه‌ها محاسبه می‌شود.

۵ـ۶. عامل زمین لرزه

عامل زمین‌لرزه تأثیر به‌سزایی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. به‌منظور بررسی تأثیر پارامتر زلزله در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، از نقشهٔ پهنه‌بندی خطر نسبی زلزله به مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰۰ تهیه شده توسط «طرح کالبدی ملی ایران» (بزرگر و مالکی، ۱۳۷۶) استفاده شد. در این نقشه، کشور ایران به شش پهنه با خطر نسبی پائین، نسبتاً پائین، متوسط، نسبتاً بالا و بسیار بالا تقسیم شده است.

۵ـ۷. ضرایب

ضریب C بیانگر اهمیت هریک از عوامل در مجموعه پارامترهای مؤثر بر ناپایداری دامنه است. مقادیر C از ۰/۳۳ مربوط به عامل گسل تا ۲ مربوط به عامل زمین‌لرزه تغییر می‌کند.

امتیازهای مربوط به پارامترها در هر سلول از لایه‌های اطلاعاتی یا نقشهٔ موضوعی عامل‌ها استخراج و در معادلهٔ کلی گذاشته می‌شود و عدد خطر نسبی ناپایداری محاسبه می‌گردد. با استفاده از اعداد به‌دست آمده خطر نسبی ناپایداری را تعیین می‌کنند. نقشهٔ خطر نسبی به صورت کروپلت تهیه می‌شود.

۶. تشریح مدل پهنه بندی موراـ وارسون

آن‌ها مجموعه مطالعات موردی انجام‌شده در رابطه با زمین

جدول ۴. طبقه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش، مشتق‌شده از معادلهٔ کلی مدل

۰ـ۶	I	ناچیز
۷ـ۳۲	II	خیلی کم
۳۳ـ۱۶۲	III	کم
۱۷۳ـ۵۱۲	IV	متوسط
۵۱۳ـ۱۲۵۰	V	زیاد
>۱۲۵۰	VI	بسیار زیاد

گسیختگی‌های به‌وقوع پیوسته در آمریکای مرکزی را سازماندهی کردند و براساس نتایج به‌دست آمده، روشی را برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش پیشنهاد دادند. (شریعت جعفری، ۱۳۷۵) در این مدل، سه عامل پستی و بلندی نسبی، شرایط لیتولوژی و رطوبت خاک به عنوان عوامل مؤثر در استعداد گسیختگی دامنه مورد توجه قرار گرفته‌اند. به‌علاوه، دو عامل «شدت لرزه» و «شدت بارندگی» نیز به‌عنوان عوامل محرک در نظر گرفته شده‌اند که معادلهٔ کلی محاسبهٔ درجهٔ خطر گسیختگی دامنه عبارت است از:

$$HL = (S_R . S_L . S_H)(T_S + T_P)$$

HL: عدد درجهٔ خطر گسیختگی دامنه

۶ـ۱. پستی و بلندی نسبی[۱۳]

برای پستی و بلندی نسبی، در مدل شش طبقه در نظر گرفته شده است. پس از محاسبهٔ پستی و بلندی نسبی امتیاز شاخص پستی و بلندی (S_R) تعیین می‌شود.

۶ـ۲. حساسیت لیتولوژیک واحدهای سنگی (Sl)[۱۴]

در این مدل، مصالح زمین‌شناسی (مواد سنگی) از لحاظ مقاومت در برابر عوامل لغزش به پنج رده تقسیم‌بندی شده‌اند. مقاوم‌ترین مواد سنگی در ردهٔ ۱ و ضعیف‌ترین آن‌ها در ردهٔ ۵ جای دارند. امتیاز لیتولوژی هر واحد شبکه با مشخص‌کردن جنس مواد سنگی آن، از نقشهٔ زمین‌شناسی و جدول ۱۷ تعیین می‌شود.

۶ـ۳. رطوبت خاک (S_H)[۱۵]

در مناطق پربارش جهان، بارندگی یکی از عوامل زمین لغزش به‌شمار می‌رود. تأثیر میزان بارندگی در ناپایداری دامنه‌ها، به شرایط اقلیمی، توپوگرافی، ساختارهای زمین‌شناسی و نفوذپذیری مواد سازنده بستگی دارد. در این مدل، میانگین‌های بارندگی ماهانه و ضرایب مربوط.

۶ـ۴. شدت لرزه (T_S)[۱۶]

زمین‌لرزه تأثیر به‌سزایی در ناپایداری دامنه‌ها دارد. به‌منظور بررسی تأثیر عامل زلزله در پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش از نقشهٔ پهنه‌بندی خطر و شدت زمین‌لرزهٔ استان‌های مازندران و گلستان در مقیاس مرکالی (اونق، ۱۳۷۷) استفاده می‌شود.

۶ـ۵. شدت بارندگی (T_P)[17]

با استفاده از حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته با دورهٔ بازگشت ۱۰۰ ساله شدت بارندگی تعیین می‌شود.

۶ـ۶. طبقه بندی پتانسیل خطر نسبی زمین لغزش ها

با ترکیب عوامل مذکور، درجهٔ خطر گسیختگی دامنه به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$HL = (S_R . S_L . S_H) (T_S + T_P)$$

با تعیین امتیاز عوامل مذکور در واحد شبکه و قرار دادن امتیازات در معادلهٔ کلی، عدد شاخص زمین‌لغزش محاسبه و کلاس آن از جدول ۴ تعیین می‌شود.

* عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد بافت

زیرنویس

1. Landslide or Mass movement
2. Falls
3. Topples
4. Debris flow
5. Ahmad and McAeplin, 1997.
6. Sharp
7. Varnes
8. Coates
9. Mass
10. Falling
11. Sliding
12. Flowing
13. Relief Sensibility
14. Lithologic Sensibility
15. Humidity Sensibility
16. Seismic Triggering
17. Precipitation Triggering

منابع

۱. اونق، مجید (۱۳۷۷). جغرافیای طبیعی استان مازندران (اقلیم، زمین شناسی و لرزه‌خیزی). سازمان برنامه و بودجه.

۲. اونق، مجید (۱۳۷۷). مدیریت زمین‌لغزه و نقش آن در آمایش سرزمین. کارگاه آموزشی آشنایی با پدیدهٔ زمین لغزش. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳. اونق، مجید (۱۳۷۷). محسنی ساروی، محسن (۱۳۸۰). پایداری دامنه و کاربری زمین. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴. برزگر، فرخ و مالکی، ابراهیم (۱۳۷۶). پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران. مرکز مطالعات و تحقیقات شهرسازی ایران.

۵. حائری، سیدمحسن و سمیعی، امیرحسین (۱۳۷۶). روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیبدار در برابر خطر لغزش زمین با تکیه بر بررسی های پهنه بندی استان مازندران. فصلنامهٔ علمی پژوهشی علوم زمین. سال ششم. شمارهٔ ۲۳. ص ۲ تا ۱۶.

۶. سعدالدین، امیر (۱۳۷۵). بررسی اثرهای پارامترهای هیدروژئومرفولوژیک بر حرکت‌های توده‌ای مواد دامنه‌ای در حوضهٔ آبخیز چاشم و خطیر کوه- سمنان. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.

۷. شریعت جعفری، محسن (۱۳۷۵). زمین‌لغزش (مبانی و اصول پایداری شیب‌های طبیعی). انتشارات سازه.

۸. فرج‌زاده، منوچهر و منتظرالقائم، سعید (۱۳۷۵). پهنه‌بندی قابلیت وقوع زمین‌لغزه‌ها با استفاده از GIS. مطالعه موردی: جاجرود تا رودهن. مجموعه مقالات سومین کنفرانس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی.

۹. کمک‌پناه، علی (۱۳۷۳). پهنه‌بندی زمین‌لغزه در ایران. جلد اول. مؤسسهٔ بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

۱۰. کورکی‌نژاد، مسعود (۱۳۸۰). مقایسهٔ کارایی دو مدل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (حائری و مورا) بااستفاده از ساج (GIS) در آبخیز سیاه رودبار- گلستان. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۱۱. محمودی، فرج‌الله و میرکرم، عبدالله (۱۳۸۰). مدل‌سازی آماری و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از GIS و داده‌های سنجش از دور (مطالعهٔ موردی حوضهٔ آبخیز سرخون، استان چهارمحال و بختیاری). مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک ۸۰. سازمان نقشه‌برداری کشور.

۱۲. وزیری، فریبرز (۱۳۷۴). رسم منحنی های هم‌باران در مناطق شمال و شمال غرب و جنوب غرب ایران با دوره‌های بازگشت ۲ تا ۱۰۰ سال و زمان دوام ۶ دقیقه تا ۷۲ ساعت. طرح پژوهشی دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.

13. Ahmad, R. and Mc Caplin, J. P., (1999). Landslide Susceptibility maps for the Kingston Metropolation Area Jamaica. http// www. Oas. Org/en/cdmp.

14.Rogozin, A. L., and Tikhvinsky, I. D. (2000) Landslide hazard, vulenerability and risk assessment. Landslide: Proceeding of the 8th International Syamposium on Landslides. Vol. 3: 1257- 1262.

15. Thomas, T. (1991). Slope stabilization by new ground anchorage systems in rocks and soils. Slope Stability Engineering: 335- 340.

16. Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes in: Schuster, R. L. Krizek (eds). Landslids Analysis and Control. Transport Reseach Board. Special Report 176. Nat 1 Acadsci. Washingtone, D. C.: 12- 23.