

جمهوری اسلامی ایران
سازمان برنامه و بودجه کشور

راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایدارسازی زمین لغزش‌ها

(جلد دوم – مطالعات پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین لغزش)

ضابطه شماره ۲-۸۲۹

آخرین ویرایش: ۱۳۹۹-۰۹-۲۶

سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

معاونت آبخیزداری، امور مراتع و امور بیابان

دفتر کنترل سیلاب و آبخوانداری

www.frw.org.ir


سازمان برنامه و بودجه کشور

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

nezamfanni.ir



شماره:	۹۹/۵۶۶۵۸۶	بخشنامه به دستگاه‌های اجرایی، مهندسان مشاور و پیمانکاران
تاریخ:	۱۳۹۹/۱۰/۲۳	
موضوع: راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایدارسازی زمین لغزش‌ها		
<p>در چارچوب ماده (۳۴) قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور موضوع نظام فنی و اجرایی یکپارچه، ماده (۲۳) قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی طرح‌های عمرانی، به پیوست ضابطه شماره ۸۲۹ امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران با عنوان «راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایدارسازی زمین لغزش‌ها» در قالب ۲ جلد و از نوع گروه سوم ابلاغ می‌شود. رعایت مفاد این ضابطه در صورت نداشتن ضوابط بهتر، از تاریخ ۱۴۰۰/۰۱/۰۱ الزامی است.</p> <p>جلد اول - مطالعات رفتارسنجی زمین لغزش‌ها</p> <p>جلد دوم - مطالعات پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین لغزش</p> <p>امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران این سازمان دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد مفاد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را اعلام خواهد کرد.</p>		
 <p>محمد باقر نوبخت</p>		



اصلاح مدارک فنی

خواننده گرامی:

امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با استفاده از نظر کارشناسان برجسته مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است. با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست.

از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هر گونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را بصورت زیر گزارش فرمایید:

- ۱- در سامانه مدیریت دانش اسناد فنی و اجرایی (سما) ثبت‌نام فرمایید: sama.nezamfanni.ir
 - ۲- پس از ورود به سامانه سما و برای تماس احتمالی، نشانی خود را در بخش پروفایل کاربری تکمیل فرمایید.
 - ۳- به بخش نظرخواهی این ضابطه مراجعه فرمایید.
 - ۴- شماره بند و صفحه موضوع مورد نظر را مشخص کنید.
 - ۵- ایراد مورد نظر را بصورت خلاصه بیان دارید.
 - ۶- در صورت امکان متن اصلاح شده را برای جایگزینی ارسال کنید.
- کارشناسان این امور نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

نشانی برای مکاتبه: تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱

سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران

Email: nezamfanni @mporg.ir

web: nezamfanni.ir



پیشگفتار

امروزه نقش و اهمیت ضوابط، معیارها و استانداردها و آثار اقتصادی اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از به کارگیری مناسب و مستمر آن‌ها در پیشرفت جوامع، تهیه و کاربرد آن‌ها را ضروری و اجتناب‌ناپذیر کرده است. نظر به گستردگی دامنه فنون در جهان امروز، تهیه ضوابط، معیارها و استانداردها در هر زمینه به مجامع فنی تخصصی واگذار شده است. با در نظر گرفتن موارد بالا و با توجه به شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و توپوگرافی کشور پهناور ایران تهیه ضوابط و معیارهای فنی مطالعات زمین‌لغزش‌ها و پایداری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و با توجه به عدم وجود دستورالعملی اختصاصی برای مطالعات رفتارسنجی زمین‌لغزش‌ها، معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری تهیه «راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایداری زمین‌لغزش‌ها» را در قالب ۲ جلد، با هماهنگی امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرار داد و پس از تهیه، آن را برای تایید و ابلاغ به عوامل ذینفع نظام فنی و اجرایی کشور به این سازمان ارسال نمود:

جلد اول) مطالعات رفتارسنجی زمین‌لغزش‌ها

جلد دوم) مطالعات پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین‌لغزش‌ها

این ضوابط پس از بررسی، براساس نظام فنی اجرایی یکپارچه، موضوع ماده ۳۴ قانون احکام دائمی برنامه‌های توسعه کشور، ماده ۲۳ قانون برنامه و بودجه و آیین‌نامه استانداردهای اجرایی مصوب هیات محترم وزیران تصویب و ابلاغ گردید. ضوابط حاضر با در نظر داشتن موارد زیر تهیه و تدوین شده است:

- استفاده از تخصص‌ها و تجربه‌های کارشناسان و صاحب‌نظران شاغل در بخش عمومی و خصوصی،
- استفاده از منابع و مآخذ معتبر و استانداردهای بین‌المللی،
- بهره‌گیری از تجارب دستگاه‌های اجرایی، سازمان‌ها، نهادها، واحد‌های صنعتی، واحدهای مطالعه، طراحی و ساخت،
- ایجاد هماهنگی در مراحل تهیه، اجرا، بهره‌گیری و ارزشیابی طرح‌ها،
- پرهیز از دوباره‌کاری‌ها و اتلاف منابع مالی و غیرمالی کشور،
- توجه به اصول و موازین مورد عمل موسسه استاندارد تحقیقات صنعتی ایران و سایر موسسات معتبر تهیه کننده استاندارد.

علیرغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پررنگ شدن این ضابطه از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را به امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران سازمان برنامه و بودجه کشور ارسال کنند. کارشناسان سازمان پیشنهادهای دریافت شده را بررسی کرده و در صورت نیاز به اصلاح در متن ضابطه، با همفکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه



اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهند کرد. به همین منظور و برای تسهیل در پیدا کردن آخرین ضوابط ابلاغی معتبر، در بالای صفحات، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن نیز اصلاح خواهد شد. از اینرو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

حمیدرضا عدل

معاون فنی، امور زیربنایی و تولیدی

پاییز ۱۳۹۹



تهیه و کنترل «راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایدارسازی زمین لغزش‌ها
(جلد دوم - مطالعات پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین لغزش)» [ضابطه شماره ۲-۸۲۹]

مجری: سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، معاونت آبخیزداری، امور مراتع و بیابان

اعضای گروه تهیه‌کننده:

علیرضا علیاری	مهندسین مشاور زمین آب پی	کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی
علیرضا لیاقت	مهندسین مشاور زمین آب پی	کارشناس ارشد رسوب شناسی
منصوره توکلی زاده	مهندسین مشاور زمین آب پی	کارشناس ارشد زمین شناسی ساختمانی

اعضای گروه داوری فنی پروژه:

بهمن اکبری	دکترای زمین شناسی مهندسی
محمد رضا مهدویفر	دکترای زمین شناسی مهندسی

اعضای گروه مدیریت اجرای پروژه در سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور:

پرویز گرشاسبی	دکترای آبخیزداری	معاون آبخیزداری، امور مراتع و بیابان
خسرو شهبازی	دکترای آبخیزداری	معاون اسبق آبخیزداری، امور مراتع و بیابان
محمد عقیقی	فوق لیسانس آبخیزداری	مدیر کل وقت دفتر طرح ریزی و هماهنگی
ابوالقاسم حسین پور	فوق لیسانس آبخیزداری	مدیر کل دفتر کنترل سیلاب و آبخیزداری
هوشنگ جزی	دکترای برنامه ریزی شهری	مدیر کل دفتر حفاظت خاک و آبخیزداری
بابک ربیعی فر	فوق لیسانس مناطق بیابانی	مسئول گروه ضوابط و استانداردها

اعضای گروه هدایت و راهبری (سازمان برنامه و بودجه کشور):

علیرضا توتونچی	معاون امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
فرزانه آقارمضانعلی	رییس گروه امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران
سید وحیدالدین رضوانی	کارشناس امور نظام فنی اجرایی، مشاورین و پیمانکاران



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - تعاریف و طبقه‌بندی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش
۳	۱-۱- پیشینه مطالعات
۸	۲-۱- تعاریف
۸	۱-۲-۱- زمین‌لغزش
۸	۲-۲-۱- خطر و ریسک زمین‌لغزش
۱۱	۳-۲-۱- پهنه‌بندی
۱۳	فصل دوم - بررسی و تحلیل مطالعات انجام شده
۱۵	۱-۲- مطالعات انجام یافته در ارتباط با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش
۱۵	۱-۱-۲- مطالعات مایلز و کیفیر (۲۰۰۷، ۲۰۰۹) و مایلز (۲۰۱۰)
۱۹	۲-۱-۲- پروژه Safe Land (۲۰۱۲)
۲۴	۲-۲- مطالعات انجام یافته در ارتباط با ارزیابی ریسک
۲۸	۱-۲-۲- تعاریف ریسک زمین‌لغزش مطابق با (Safe Land 2012)
	فصل سوم - خلاصه‌ای از نتایج طرح راهنمای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های کوچک و متوسط و مبانی مورد نظر
۳۱	
۳۷	فصل چهارم - پیشنهاد روش پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس (۱:۲۵.۰۰۰)
۳۹	۱-۴- انواع زمین‌لغزش در نظر گرفته شده برای تعیین خطر
۴۰	۲-۴- روش واحدبندی
۴۰	۱-۲-۴- واحدبندی منظم
۴۰	۲-۲-۴- واحدبندی شیبی
۴۰	۳-۲-۴- واحدبندی ترکیبی
۴۳	۳-۴- لایه‌های اطلاعاتی
۵۷	۴-۴- روش آنالیز
۵۷	۱-۴-۴- به نقشه در آوردن لغزش‌های موجود
۵۷	۲-۴-۴- آنالیز شکل زمین
۵۸	۳-۴-۴- روی هم قرار دادن عوامل (Factor Overlay)



فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۵۸	۴-۴-۴- آنالیز مهندسی
۵۹	۴-۵- روش محاسبه میزان حساسیت و خطر زمین لغزش
۶۴	۴-۵-۱- تهیه نقشه‌های حساسیت برای انواع زمین لغزش
۷۰	۴-۵-۲- ایجاد نقشه‌های خطر برای انواع زمین لغزش
۷۴	۴-۶- آزمایش و تصحیح نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت و خطر
۷۵	۴-۷- تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی
۷۷	فصل پنجم - جمع‌بندی
۷۹	۵-۱- جمع‌بندی
۸۱	منابع و مراجع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴	جدول ۱-۱- مثال‌هایی از زمین لغزش‌های بزرگ و میزان تلفات جانی در آن‌ها (کاشانچی، ۱۳۹۰)
۵	جدول ۱-۲- آمار تلفات و خسارت‌های ناشی از رویداد زمین لغزش‌ها در هر قاره از ۱۹۰۳ تا ۲۰۰۷؛ استخراج شده از بانک اطلاعات بلایای طبیعی ناگهانی؛ (OFDA/CRED, 2007)
۱۶	جدول ۱-۲- طبقه‌بندی انواع زمین لغزش (وارنز، ۱۹۷۸)
۱۷	جدول ۲-۲- طبقه‌بندی انواع زمین لغزش‌های ناشی از زلزله (کیفر، ۱۹۸۴)
۲۲	جدول ۲-۳- جدول تعیین خطر رویداد زمین لغزش برای واحدهایی با حساسیت مختلف در برابر عاملی محرک با قدرت متفاوت
۲۶	جدول ۲-۴- سوابقی از تحقیق در زمینه‌ی ریسک زمین لغزش (آماندا لین، ۲۰۱۱؛ کاشانچی، ۱۳۹۰؛ شریعت جعفری، ۱۳۸۸؛ نوریزدان، ۱۳۸۵؛ فل و همکاران، ۲۰۰۵؛ سایت eusoils اروپا)
۲۹	جدول ۲-۵- واژه‌ها و تعاریف مورد استفاده در ارزیابی ریسک با GIS
۳۹	جدول ۴-۱- طبقه‌بندی زمین لغزش‌های ناشی از زلزله (کیفر، ۱۹۸۴) شماره بندی انواع در این پروژه اضافه گردیده است.
۴۷	جدول ۴-۲- طبقه‌بندی زمین با ادغام اطلاعات (Hancox et al. (2002). و حائری و سمیعی (۱۳۷۶)



فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۴۸	جدول ۳-۴- گروه‌بندی‌های شیب در مطالعات مختلف پهنه‌بندی
۴۹	جدول ۴-۴- وضعیت گسترش حرکات دامنه‌ای در جهات مختلف شیب در منطقه هیمالایا
۵۲	جدول ۵-۴- طبقه‌بندی کاربری اراضی بر اساس معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۸۵)
۶۰	جدول ۶-۴- عوامل و زیرگروه‌های در نظر گرفته شده برای تهیه نقشه امکان رویداد انواع زمین‌لغزش (عدد ۱- به معنای عدم وجود اطلاعات است)
۶۳	جدول ۷-۴- حداقل شیب لازم برای رویداد انواع زمین‌لغزش بر اساس مطالعات مختلف
۶۳	جدول ۸-۴- چگونگی در نظر گرفتن عوامل مختلف برای تهیه نقشه امکان انواع زمین‌لغزش علامت (*) نشان‌دهنده عدم امکان رویداد و علامت (-) نشان‌دهنده امکان رویداد می‌باشد.
۶۴	جدول ۹-۴- عوامل و زیرگروه‌های در نظر گرفته شده برای تهیه نقشه حساسیت رویداد انواع زمین‌لغزش
۶۶	جدول ۱۰-۴- متغیرهای ورودی در نظر گرفته شده برای انواع زمین‌لغزش در بخش خطر
۶۷	جدول ۱۱-۴- بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی
۶۸	جدول ۱۲-۴- معادل عددی واژه‌های حساسیت زیرگروه‌ها (R)
۶۸	جدول ۱۳-۵- بلوک قوانین ویرایشگرها برای لغزش‌های گسسته سنگی و ریزش‌ها.
۶۹	جدول ۱۴-۴- معادل توصیفی اعداد حساسیت
۷۰	جدول ۱۶-۴- بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای انواع زمین‌لغزش
۷۳	جدول ۱۷-۴- بلوک قوانین ویرایشگرهای استاتیکی برای انواع زمین‌لغزش
۷۳	جدول ۱۸-۴- مجموعه قوانین خطر لرزه‌ای

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۷	شکل ۱-۱- نمودار جریانی مراحل اجرایی پروژه
۹	شکل ۲-۱- تصویری شماتیک از رویداد خطر طبیعی لغزش شیب
۹	شکل ۳-۱- تصویری شماتیک از آسیب‌پذیری المان‌های در معرض خطر
۱۰	شکل ۴-۱- عناصر در معرض ریسک (اتومبیل‌ها، سرنشین‌های آن‌ها و جاده)
۱۰	شکل ۵-۱- ریسک زمین‌لغزش؛ ترکیبی است از سه عامل (خطر، آسیب‌پذیری و عناصر در معرض ریسک)
۱۷	شکل ۱-۲- بخش امکان CAMEL (مایلز و کیف، ۲۰۰۹)

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۱۸	شکل ۲-۲- بخش خطر CAMEL (مایلز و کیفر، ۲۰۰۹)
۲۰	شکل ۳-۲- ساختار پروژه SafeLand
۲۱	شکل ۴-۲- شکل ساده برای آنالیز آماری دو مت...
۲۳	شکل ۵-۲- مبانی چگونگی انتشار توده لغزشی در مدل FLOW-R
۲۴	شکل ۶-۲- مثالی ساده از چگونگی تامین انرژی برای حرکت توده لغزشی
۳۰	شکل ۷-۲- مثالی از ارزیابی ریسک کمی زمین لغزش
۳۳	شکل ۱-۳- تعداد منابع به تفکیک مقیاس
۳۳	شکل ۲-۳- عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آن‌ها جهت پهنه‌بندی استفاده نموده‌اند (مقیاس بزرگ)
۳۴	شکل ۳-۳- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های موجود در بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های کشور براساس ۴۱۴۶ فرم تکمیل شده تا اردیبهشت ۱۳۸۴
۴۱	شکل ۱-۴- اصول واحدبندی منظم، واحد مشخص شده دارای زمین‌شناسی C شیب III، کاربری R و فاصله از گسل b می‌باشد.
۴۲	شکل ۲-۴- اصول واحدبندی دامنه‌ای. واحد مشخص شده دارای زمین‌شناسی C، شیب III، کاربری R و فاصله از گسل b می‌باشد.
۴۲	شکل ۳-۴- اصول واحدبندی ترکیبی، واحد مشخص شده دارای زمین‌شناسی C، شیب III، کاربری R و فاصله از گسل b می‌باشد.
۴۸	شکل ۴-۴- دیاگرام آزاد یک جسم بر روی سطح شیب‌دار با نیروهای وارد بر آن
۵۴	شکل ۵-۴- نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته (علیجانی؛ ۱۳۷۹)
۵۵	شکل ۶-۴- حداقل شدت مرکالی اصلاح شده‌ی زلزله‌های مطالعه شده توسط کیفر (۴۰ زلزله از کل دنیا) که در اثر آن‌ها زمین لغزش رخ داده است.
۶۹	شکل ۷-۴- استفاده از روش شکست منحنی جهت تفکیک محدوده‌های حساسیت یا خطر



فصل ۱

تعاریف و طبقه‌بندی روش‌های

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش



۱-۱- پیشینه مطالعات

در سال ۱۳۸۳ پروژه‌ای با عنوان «مطالعات مورد نیاز جهت جلوگیری از رویداد یا کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش در کشور» در کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین که در آن زمان زیر نظر پژوهشکده سوانح طبیعی فعالیت می‌کرد، انجام گردید. پروژه مذکور پس از تصویب، به عنوان مبنای برنامه‌های بعدی کارگروه در ارتباط با زمین‌لغزش قرار گرفت که براساس نتایج آن یکی از مطالعات مورد نیاز و حائز اهمیت، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های مختلف بود.

طی دهه اخیر سازمان‌های اجرایی و مراکز علمی مختلف اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش متعددی در مقیاس‌های مختلف نموده‌اند. با توجه به این‌که نقشه‌های مزبور با روش‌ها و سلیقه‌های متفاوتی تهیه شده‌اند قابلیت مقایسه با یکدیگر را نداشته و نتایج یکسانی را ارائه نمی‌نمایند؛ از این رو کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین مصمم گردید تا پروژه‌ای در این رابطه با مسوولیت اعضای زیر کمیته ژئوتکنیک و لغزش لایه‌های زمین و بهره‌مندی از تجربه و توان کارشناسان مجرب انجام دهد. در همین راستا، طرح «روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش» در سال ۱۳۸۵ به منظور دستیابی به اهداف یادشده اجرا گردید. در این طرح ضمن تشریح مبانی علمی، راهنماهای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰ ارائه گردید. پس از تایید طرح یادشده طرح دیگری به منظور آزمایش روش‌های پیشنهادی در هر دو مقیاس برای چند منطقه الگو تعریف گردید. این طرح نیز انجام و گزارش مربوط به دو مقیاس متوسط و کوچک به ترتیب در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ به زیرکارگروه ارائه شد. متأسفانه به دلیل توقف کار زیرکارگروه، تصویب نهایی طرح تاکنون (زمان نگارش این راهنما) میسر نگردیده است. با این وجود با توجه به انجام کامل طرح و آزمایش آن، دستورالعمل تهیه شده قابلیت استفاده در مطالعات پهنه‌بندی در هر دو مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰۰ را داراست. به همین دلیل بسیاری از مطالعات پهنه‌بندی و پایان‌نامه‌های دانشجویی از سال ۱۳۸۸ به بعد بر مبنای دستورالعمل مزبور انجام گردیده است. افزون بر این، اجرای موفق طرح یاد شده، راه را جهت ادامه تحقیقات در این راستا هموار نموده است.

راهنمای حاضر می‌تواند گامی مهم در جهت ادامه و تکمیل این طرح محسوب گردد. تهیه دستورالعمل نقشه‌های پهنه‌بندی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای محققین و یا کارشناسانی باشد که قصد دارند پهنه‌بندی را در منطقه‌ای محدودتر و در عین حال با روشی دقیق‌تر انجام دهند.

افزون بر این، در رابطه با تهیه نقشه ریسک زمین‌لغزش تاکنون (زمان نگارش این راهنما) دستورالعمل و یا توصیه‌ای واحد برای مجریان در ایران ارائه نشده است. در این راهنما سعی شده است با توجه به آخرین مطالعات انجام شده در دنیا، توصیه‌هایی نیز برای تهیه این‌گونه نقشه‌ها آورده شود. گرچه این توصیه‌ها نمی‌تواند جایگزین دستورالعمل شود ولی می‌تواند به عنوان مرحله مقدماتی دستورالعمل تهیه نقشه‌های ریسک محسوب گردد.



زمین لغزش‌ها همه ساله، موجب تلفات قابل توجه و زیان‌های اقتصادی بزرگ در مناطق مختلف جهان، به ویژه در مناطق کوهستانی شده‌اند. در ادبیات فنی، از پدیده‌ی زمین لغزش به عنوان سومین نوع بلایای طبیعی (از جنبه‌ی اهمیت) در سطح جهان یاد شده است (Zillman, 1999). فاجعه‌بارترین زمین لغزش باعث از دست رفتن جان ۱۰۰۰۰۰۰ نفر شده است (Li and Wang, 1992). در ایالات متحده، زمین لغزش باعث خسارت‌های اقتصادی سالانه یک تا دو میلیارد دلار و کشته شدن حدود ۲۵ تا ۵۰ نفر می‌شود که این شمار از تعداد کشته شده‌ها در اثر زلزله نیز بیش‌تر برآورد شده است (Schuster and Flerming, 1986). لی و وانگ (۱۹۹۲)، شمار کشته‌شدگان ناشی از رویداد زمین لغزش را در یک دوره بین سال‌های ۱۹۵۱ تا ۱۹۸۹ به طور محافظه‌کارانه بیش از ۵۰۰۰ نفر تخمین زده‌اند که این رقم نشان می‌دهد به طور میانگین در هر سال ۱۲۵ نفر در اثر زمین لغزش کشته شده‌اند؛ آن‌ها همچنین خسارت‌های اقتصادی را حدود ۵۰۰ میلیون دلار برآورد نموده‌اند (Dai et al., 2002).

جدول (۱-۱) گوشه‌ای از این عواقب (تلفات جبران‌ناپذیر جانی) را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۱- مثال‌هایی از زمین لغزش‌های بزرگ و میزان تلفات جانی در آن‌ها (کاشانچی، ۱۳۹۰)

توضیحات	تعداد مرگ و میر	کشور	محل رویداد	زمان رویداد
زمین لغزش موجب تخریب شهر Yvoren گردید	۳۰۰	فرانسه	Tour d,Al,Rhone valley	۱۵۸۴
لغزش سنگی	۲۲	آمریکا	Pennsylvania	۱۷۴۱
لغزش موجب تخریب دهکده گردید	۴۵۷	سوئیس	Goldau	۱۸۰۶
حجمی در حدود ۵۵ میلیون مترمکعب از خاک رس به داخل دره رودخانه لغزید	۱۱۱	نروژ	Vaerdalen	۱۸۹۳
ریزش سنگی و بهمن واریزه‌ای	۷۰	کانادا	Frank, Alberta	۱۹۰۳
گسیختگی و جریان مصالح در اثر زلزله	۲۰۰۰۰۰	چین	Kansu Province	۱۹۲۰
در اثر لغزش سنگی با سرعت و حجم بالا به دریاچه‌ی سد سیل بزرگی به راه افتاد	۳۰۰۰	ایتالیا	Vaiont	۱۹۶۳
بهمن واریزه‌ای در اثر زلزله	۴۰۰۰۰	پرو	West Central	۱۹۷۰
بهمن واریزه‌ای که در اثر پوشش برفی بر Ruiz Volcano به رویداد پیوست	۲۳۰۰۰	کلمبیا	Armero	۱۹۸۲
گسیختگی‌های به رویداد پیوسته در اثر زلزله	۱۹۴	ایران	منجیل - رودبار	۱۹۹۰
گسیختگی به رویداد پیوسته در دامنه‌ی ارتفاعات کوه کینو	۵۵	ایران	آبیکار لید	۱۹۹۸

برای روشن‌تر شدن اهمیت بالای موضوع و لزوم پرداختن جدی‌تر به آن می‌توان از منظری دیگر و در یک تقسیم‌بندی آماری، عواقب (تلفات و خسارت‌ها) زمین لغزش را مورد ارزیابی قرار داد. برای این منظور می‌توان بانک اطلاعات حوادث طبیعی ناگهانی^۱ را مورد بررسی قرار داد.



جدول (۲-۱) آمار تلفات و خسارت‌های ناشی از رویداد زمین‌لغزش‌ها را در هر قاره از آوریل سال ۱۹۰۳ میلادی تا ژانویه‌ی ۲۰۰۷ نشان می‌دهد (OFDA/CRED, 2007). در این بازه‌ی زمانی، زمین‌لغزش‌ها موجب کشته شدن ۵۷۰۲۸ نفر شده‌اند و بیش از ۱۰ میلیون نفر نیز به شکل‌های مختلف (جراحت، بی‌خانمانی و...) از زمین‌لغزش تاثیر پذیرفته‌اند. خسارت‌های مالی آسیب‌ها در این دوره بیش از ۵ میلیارد دلار بوده است. با توجه به مطالب فوق لزوم آشنایی، مطالعه، تحقیق، تعریف پروژه‌های پژوهشی و نیز تصویب پروژه‌های اجرایی - عملیاتی بیش‌تر و سرانجام اتخاذ سیاست‌های کلان پیرامون برنامه‌های کاهش ریسک زمین‌لغزش، با آگاهی از این عواقب وخیم و غیرقابل جبران زمین‌لغزش‌ها در سراسر دنیا، بیش از پیش روشن می‌شود.

جدول ۲-۱- آمار تلفات و خسارت‌های ناشی از رویداد زمین‌لغزش‌ها در هر قاره از ۱۹۰۳ تا ۲۰۰۷: استخراج شده از بانک اطلاعات بلابای طبیعی ناگهانی: (OFDA/CRED, 2007)

قاره‌ها	رخداده‌ها	کشته	زخمی	بی‌خانه‌مان	تحت تاثیر	کل تحت تاثیر	خسارت به هزار دلار
آفریقا	۲۳	۷۴۵	۵۶	۷۹۳۶	۱۳۷۴۸	۲۱۷۴۰	اطلاعات ناموجود
آمریکا	۱۴۵	۲۰۶۸۴	۴۸۰۹	۱۸۶۷۵۲	۴۴۸۵۰۳۷	۴۶۷۶۵۹۸	۱۲۲۶۹۲۷ ۸۴۶۲
آسیا	۲۵۵	۱۸۲۹۹	۳۷۷۶	۳۸۲۵۳۱۱	۱۶۴۷۶۸۳	۵۴۷۶۷۷۰	۱۵۳۴۸۹۳ ۶۰۱۹
اروپا	۷۲	۱۶۷۸۵	۵۲۳	۸۶۲۵	۳۹۳۷۶	۴۸۵۲۴	۲۴۸۷۳۸۹ ۳۴۵۴۷
اقیانوسیه	۱۶	۵۴۲	۵۲	۱۸۰۰۰	۲۹۶۳	۲۱۰۱۵	۲۴۶۶ ۱۵۴
جمع کل	۵۱۱	۵۷۰۲۸	۹۲۱۶	۴۰۴۶۶۲۴	۶۱۱۸۸۰۷	۱۰۲۴۴۶۴۷	۵۲۵۱۶۷۵

در ایران نیز رویداد زمین‌لغزش‌های بی‌شمار و گسترش روزافزون آن‌ها در سال‌های اخیر و ظهور اثرات مخرب آن‌ها موجب گشته که نظر مسوولین و به ویژه کارشناسان ذیربط به این پدیده طبیعی بیش از پیش معطوف گردد؛ شکی نیست که خسارات و پیامدهای ناشی از این پدیده که به طور مستقیم و یا غیرمستقیم متوجه امور زیربنایی کشور می‌گردد قابل توجه بوده و نیازمند بررسی دقیق و سیاست‌گذاری مناسب به منظور دستیابی به راهبردهای کاهش اثرات آن می‌باشد؛ در این راستا شناخت گستره‌های دارای زمین‌لغزش و تعیین میزان خطر آن‌ها یکی از مهم‌ترین گام‌هایی است که باید به آن توجه نمود؛ از این‌رو در دهه‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای بر روی شیوه‌های تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و استفاده از ابزارها و تکنولوژی‌های جدید برای تسهیل و تسریع این کار صورت گرفته است (مهدوی‌فر و منتظرالقائم، ۱۳۸۲).

در ایران، بیش‌تر مطالعات مربوط به پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، از زمان رویداد زلزله منجیل (۱۳۶۹) که موجب ایجاد ۷۶ زمین‌لغزش مهم (حائری و ستاری، ۱۳۷۲) شد، آغاز و در اواخر دهه هفتاد رو به فزونی نهاد. این مطالعات به شکل

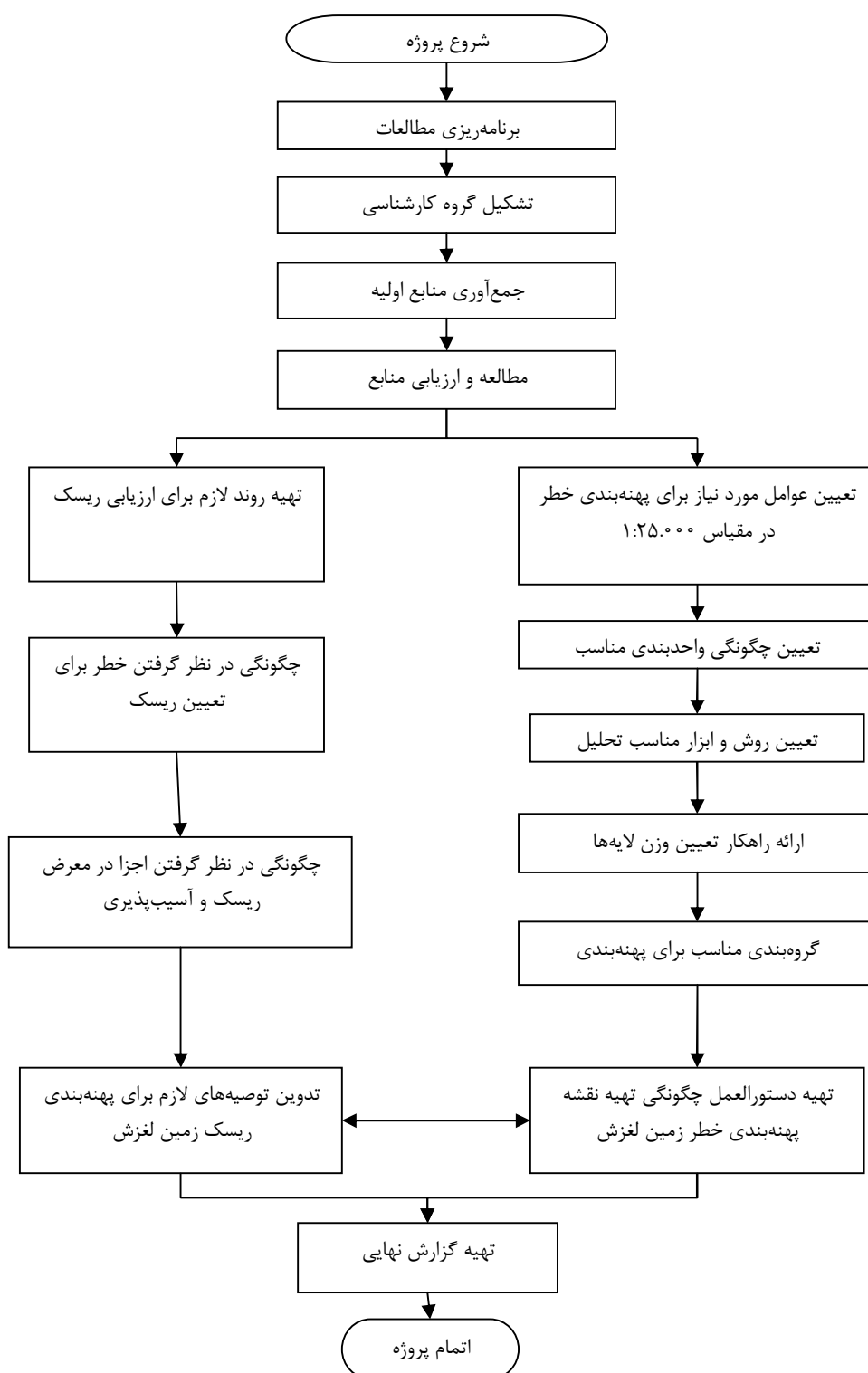


استفاده از روش‌های ابداع شده در دیگر کشورها و یا تدوین روش‌های جدید صورت گرفته و نتایج آن‌ها به صورت مقاله و گزارش در ژورنال‌ها، مجموعه مقالات و انتشارات مراکز تحقیقاتی مختلف منتشر گردیده است. هم‌زمان با اوج‌گیری مطالعات در ایران، به دلیل اعلام واپسین دهه‌ی سده بیستم به عنوان دهه‌ی کاهش اثرات بلایای طبیعی، مطالعات وسیعی در زمینه پهنه‌بندی خطرات طبیعی از جمله زمین‌لغزش در دنیا صورت گرفته است. تنوع مطالعات و روش‌های تدوین شده در دنیا و استفاده از آن‌ها توسط محققین ایرانی موجب گردید که نتایج کاملاً متفاوتی در پهنه‌بندی‌ها حاصل گردد. عدم هم‌خوانی مرزهای نقشه‌های مجاوری که توسط گروه‌های مختلف پهنه‌بندی شده‌اند مشخص‌ترین معضلی بوده است که بعد از انتشار نتایج تحقیقات مذکور خودنمایی می‌نمود (مهدوی‌فر و نیک‌اندیش، ۱۳۸۴).

بروز مشکلات یاد شده در بالا برخی از مسوولان و محققین را به تدریج به این موضوع سوق داد که نسبت به انجام تحقیقاتی در زمینه تهیه راهنمای مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در ایران اقدام نمایند. در این راستا کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین از طریق گروه بررسی زمین‌لغزش‌های سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در سال ۱۳۸۵ اقدام به تهیه راهنمای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دو مقیاس ۱:۲۵۰.۰۰۰ و ۱:۵۰.۰۰۰ نمود (میرصانعی و مهدوی‌فر، ۱۳۸۵) که بعداً طی پروژه‌های دیگر راهنمای مذکور با استفاده از داده‌های حاصل از چندین منطقه مورد آزمایش و بازنگری قرار گرفت (پژوهشکده سوانح طبیعی، ۱۳۸۸).

راهنمای حاضر به منظور تکمیل مطالعات مزبور (که از این پس در این گزارش با عنوان پروژه کارگروه مورد اشاره قرار می‌گیرد) در مقیاس ۱:۲۵۰.۰۰۰ انجام گرفته است. در این پروژه افزون بر تهیه دستورالعمل پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰.۰۰۰ سعی گردیده است توصیه‌هایی نیز در زمینه پهنه‌بندی ریسک زمین‌لغزش در مقیاس مذکور ارائه گردد. به منظور انجام موارد یاد شده، برنامه‌ریزی عملیاتی اولیه جهت انجام پروژه انجام پذیرفته است که خلاصه آن در نمودار جریان‌ی (شکل ۱-۱) نمایش داده شده است.





شکل ۱-۱- نمودار جریان‌ی مراحل اجرایی پروژه

در این گزارش در ابتدا، تعاریف واژه‌ها و تقسیم‌بندی‌های مختلف روش‌های پهنه‌بندی آمده است. در بخش دوم کلیه مطالعات جمع‌آوری شده اعم از داخلی و خارجی در هر دو زمینه ارزیابی خطر و ریسک زمین‌لغزش آورده شده است. با توجه به این که پروژه حاضر در ادامه طرح تهیه راهنمای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های کوچک و متوسط

تعریف و اجرا گردیده است بسیاری از مبانی آن مطابق با نتایج طرح مذکور می‌باشد. در بخش سوم خلاصه‌ای از نتایج این طرح و مبانی مورد نظر آورده شده است و از توضیح مشروح این مبانی در این گزارش صرف نظر شده است؛ در بخش چهارم به مبانی علمی راهنمای تهیه شده برای پهنه‌بندی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ آورده شده است. راهنمای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در فصل ۱ و توصیه‌های کلی برای تهیه نقشه ریسک زمین لغزش در فصل ۲ این ضابطه آورده شده‌اند.

۲-۱- تعاریف

۱-۲-۱- زمین لغزش

شاید یکی از مبهم‌ترین واژه‌هایی که در مطالعات حرکات دامنه‌ای به کار می‌رود، واژه زمین لغزش (Landslide) باشد. واژه زمین لغزش، بیش‌تر آن دسته از حرکات توده‌ای را تداعی می‌نماید که جابه‌جایی، در آن‌ها در طول سطحی مشخص و صاف رخ می‌دهد؛ در صورتی که این واژه بسیار وسیع‌تر از مفهوم فوق به کار می‌رود (Hansen, 1984). در رابطه با این واژه تاکنون تعاریف زیادی ارائه شده است که مهم‌ترین آن‌ها در زیر آمده است:

- شارپ (۱۹۳۸): زمین لغزش، لغزش یا ریزش قابل توجه توده‌ای کم و بیش خشک از خاک، سنگ یا مخلوطی از آن دو است.
- وارنز (۱۹۷۸): زمین لغزش حرکت مواد تشکیل دهنده دامنه به سمت پایین و خارج از سطح شیب تحت تاثیر نیروی ثقل می‌باشد.
- کروزیو (۱۹۸۶): زمین لغزش حرکت خاک و سنگ تحت تاثیر نیروی جاذبه به سمت پایین، بدون دخالت آب روان به عنوان عامل جابه‌جایی است؛ این تعریف می‌تواند همراه با ابهاماتی باشد از جمله این‌که فرونشست را می‌توان جزو زمین لغزش‌ها محسوب کرد و پدیده‌هایی مثل جریان‌های گلی را از زمین لغزش جدا نمود؛
- کرودن (۱۹۹۱): زمین لغزش حرکت توده سنگ، واریزه و یا خاک به سمت پایین شیب است. این تعریف ساده‌ترین تعریف از زمین لغزش بوده و در دنیا بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

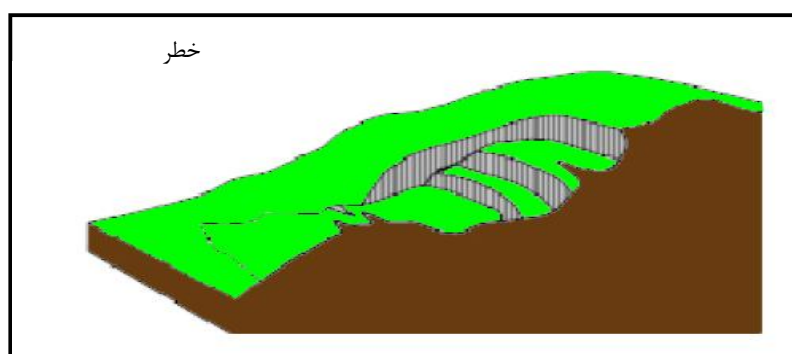
۱-۲-۲- خطر و ریسک زمین لغزش

در سال ۱۹۸۴ توسط وارنز تعاریف زیر در مورد خطر، خطر طبیعی، آسیب‌پذیری، ریسک ویژه، اجزای در معرض خطر، ریسک کل و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ارائه داده است:

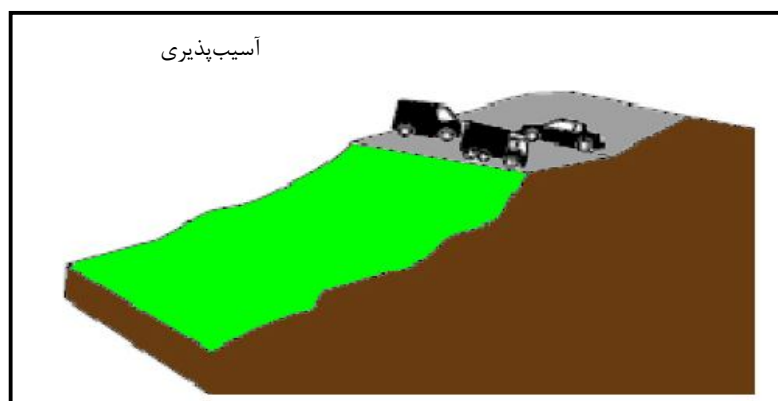
- پهنه‌بندی خطر زمین لغزش (Landslide Hazard Zonation, LHZ): به عنوان تقسیم‌بندی زمین به چند منطقه و طبقه‌بندی این مناطق برحسب درجه خطر بالفعل یا بالقوه زمین لغزش می‌باشد.



- خطر طبیعی (H , Natural Hazard): احتمال (Probability) رویداد پدیده‌ای مخرب در محدوده زمانی و مکانی مشخص؛
 - آسیب‌پذیری (V, Vulnerability): میزان خسارت وارده به یک جزء مشخص (مانند ساختمان) و یا مجموعه‌ای از اجزای در معرض خطر (مانند یک شهر) است که از رویداد یک پدیده طبیعی با شدت مشخص ناشی می‌شود. این مقدار با عددی بین صفر (بدون خسارت) تا یک (تخریب کامل) بیان می‌گردد؛
 - ریسک ویژه (Rs , Specific Risk): میزان تخریب مورد انتظار ناشی از یک پدیده طبیعی مشخص. این میزان می‌تواند حاصل ضرب (H و V) باشد؛
 - عناصر در معرض خطر (E, Elements at Risk): تعداد افراد، تاسیسات و فعالیت‌های اقتصادی از جمله خدمات عمومی که در منطقه خاصی در معرض خطر قرار دارند؛
 - ریسک کل (Rt , Total Risk): تعداد مورد انتظار کشته‌ها، زخمی‌ها و یا مقدار خسارات وارده به تاسیسات و یا مختل شدن فعالیت‌های اقتصادی که در نتیجه یک پدیده طبیعی ایجاد می‌گردد. بنابراین ریسک کل (Rt)، حاصل ضرب ریسک ویژه (Rs) در عناصر در معرض خطر (E) است؛
- برای بیان بهتر و دقیق‌تر مفهوم خطر و ریسک، (شکل‌های ۱-۲ تا ۱-۵) (کاشانچی، ۱۳۹۰) در ادامه ارائه شده‌اند.



شکل ۱-۲- تصویری شماتیک از رویداد خطر طبیعی لغزش شیب

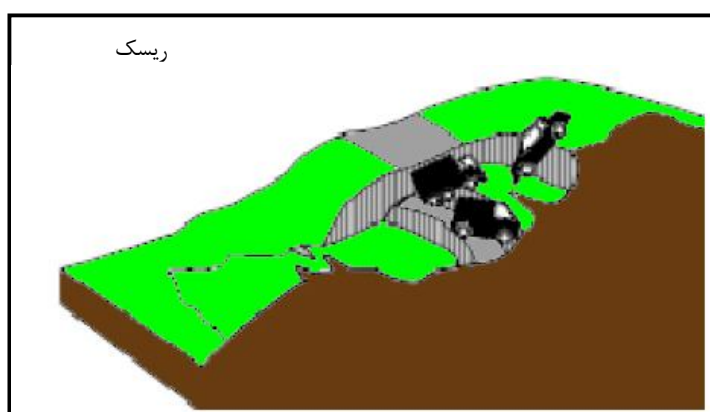


شکل ۱-۳- تصویری شماتیک از آسیب‌پذیری المان‌های در معرض خطر





شکل ۱-۴- عناصر در معرض ریسک (اتومبیل‌ها، سرنشین‌های آن‌ها و جاده)



شکل ۱-۵- ریسک زمین لغزش؛ ترکیبی است از سه عامل (خطر، آسیب‌پذیری و عناصر در معرض ریسک)

- البته تعاریف دیگری نیز در مورد واژه‌های خطر و ریسک وجود دارد که به عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:
- اسمیت (۱۹۹۶): خطر (Hazard) تهدیدی بالقوه علیه مردم و آرامش و رفاه انسان‌ها است؛ ریسک (Risk) احتمال رویداد یک نوع خطر مشخص است.
 - SAOAS (۱۹۹۱): خطر زمین لغزش (که با استعداد بیان می‌شود)، احتمال (likelihood) رخداد یک زمین لغزش با قدرت تخریب در یک منطقه خاص و ریسک درجه مورد انتظار تخریب ناشی از رویداد یک زمین لغزش می‌باشد؛
 - انیشتن (۱۹۸۸): خطر (Hazard) احتمال (Probability) این که نوعی ویژه از پدیده خطرناک (Danger) در بازه زمانی معین رخ دهد و ریسک حاصل ضرب خطر و بدترین حالت خسارات می‌باشد. خسارات ممکن است شامل خسارات جانی، مالی و یا دیگر تاثیرات محیطی باشد.
 - کروزیرو و گلد (۲۰۰۴): به نقل از الکساندر (۲۰۰۲): خطر (Hazard) دو مفهوم کاملاً متفاوت دارد:
 - فرآیندی فیزیکی یا فعالیتی که دارای استعداد تخریب است
 - شرایط یا حالت تهدید که به وسیله احتمال رویداد بیان می‌شود.
- ریسک نیز با دو مولفه شناخته می‌شود: احتمال (Likelihood) رخداد یک پدیده و نتایج آن در اثر رویداد (شکل ۱-۱). با توجه به تعاریف یاد شده در بالا، چنانچه خطر با تعاریف وارنر (۱۹۸۴) یا انیشتن (۱۹۸۸) ملاک قرار داده شود، بایستی دو مولفه در آن مد نظر قرار گیرد:



احتمال رویداد که معمولا به صورت رویداد در دوره بازگشت معین بیان می‌گردد؛ مخرب بودن پدیده؛ به عبارتی دیگر اماکنی که رویداد زمین‌لغزش در آن‌ها هیچ خسارتی را برای انسان و مایملک او در بر ندارد، بدون توجه به احتمال رویداد، کم خطر در نظر گرفته می‌شوند.

برب (۱۹۸۴) عقیده دارد که تعیین محدوده‌های خطر زمین‌لغزش احتیاج به شناسایی مناطقی دارد که می‌توانند در اثر زمین‌لغزش‌های ویرانگر تحت تاثیر قرار گیرند؛ این خطر می‌تواند به وسیله ارزیابی احتمال رویداد زمین‌لغزش در بازه زمانی معین بیان گردد؛ اما به طور کلی تعیین یک پنجره زمانی برای رویداد زمین‌لغزش حتی در ایده‌آل‌ترین شرایط مشکل است. در نتیجه خطر زمین‌لغزش اغلب منعکس کننده استعداد رویداد زمین‌لغزش است. ایده‌ای مشابه نیز توسط فان باستن (۱۹۹۳) ارائه شده است. به عقیده وی نیز اکثر قریب به اتفاق نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به علت این‌که عامل زمان در آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، تعریف وارنز (۱۹۸۴) را در بر نگرفته و به نوعی نقشه استعداد زمین‌لغزش محسوب می‌گردند.

با توجه به این تعریف و آنچه که تاکنون از معنی خطر زمین‌لغزش در تحقیقات انجام شده در دنیا مد نظر قرار گرفته، منظور از خطر زمین‌لغزش در بسیاری از موارد، در اصل استعداد رویداد زمین‌لغزش بوده است. در این پروژه نقشه استعداد زمین‌لغزش با عنوان نقشه حساسیت زمین‌لغزش آورده شده و چگونگی تهیه آن در مقیاس مورد نظر آورده شده است. همچنین دستورالعمل تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش (به معنای واقعی و با احتمال معین) نیز آورده شده است.

۱-۲-۳- پهنه‌بندی

در این گزارش واژه پهنه‌بندی (Zonation) به مفهوم تقسیم‌بندی سطح زمین به بخش‌های مختلف و رده‌بندی این بخش‌ها بر اساس درجه خطر (استعداد) زمین‌لغزش به کار می‌رود. این تعریف تقریبا مطابق با تعریف ارائه شده توسط وارنز (۱۹۸۴) می‌باشد.



فصل ۲

بررسی و تحلیل مطالعات انجام شده



۲-۱- مطالعات انجام یافته در ارتباط با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

در پروژه کارگروه بیش از ۱۵۰ مقاله و پایان‌نامه در ارتباط با پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به دقت مناسب مطالعات مذکور، در این پروژه لزومی به یادآوری دوباره موارد آن گزارش نبوده است. با این وجود از زمان انتشار گزارش پروژه کارگروه تاکنون، مطالعات مهم دیگری در ارتباط با پهنه‌بندی انجام گرفته است. شاید بتوان گفت با توجه به اهداف پروژه حاضر دو مطالعه از دیگر مطالعات مهم تر به نظر می‌رسد. در ادامه دو مطالعه مزبور با جزئیات بیشتر آورده شده است.

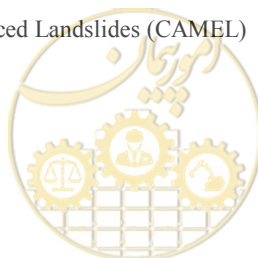
۲-۱-۱- مطالعات مایلز و کیفر (۲۰۰۷، ۲۰۰۹) و مایلز (۲۰۱۰)

روش مورد استفاده توسط مایلز و کیفر (۲۰۰۷، ۲۰۰۹) و مایلز (۲۰۱۰)، در اصل برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله تدوین شده است. اما به علتی که در انتهای همین بخش آورده شد از آن می‌توان به راحتی به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها به صورت عام استفاده نمود. در مطالعات مورد اشاره، نه تنها نقشه حساسیت زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله بلکه نقشه خطر آن‌ها نیز تهیه گردیده است.

مایلز و کیفر، مدلی جامع^۱ (CAMEL) را ارائه کردند که چارچوبی را برای مدل کردن تمامی انواع زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله با استفاده از مجموعه‌های فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۲ فراهم می‌سازد. آزمایشی که از کارآیی این مدل برای پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله لوماپریتا کالیفرنیا (۱۹۸۶، با بزرگای ۶.۹) انجام شده است نشان می‌دهد که این مدل در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های گسسته^۳ از نوع خاکی خوب عمل کرده است. ولی نتایج آن در پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های گسسته سنگی کمی ضعیف‌تر بوده است (مه‌دوی فر، ۱۳۹۰).

روش کار آن‌ها در این مطالعه محاسبه حساسیت و خطر برای زمین‌لغزش‌ها به تفکیک نوع (کیفر ۱۹۸۴) بوده است. کیفر (۱۹۸۴) زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله را بر اساس چگونگی رفتار هنگام زلزله در سه گروه کلی و شش گروه فرعی طبقه‌بندی نمود. اساس این طبقه‌بندی، طبقه‌بندی کلی زمین‌لغزش‌ها توسط وارنر (۱۹۷۸) (جدول ۲-۱) بوده است. همان‌گونه که با مقایسه این دو طبقه‌بندی مشاهده می‌شود، کیفر از ذکر گسترش‌های جانبی، خزش و جریان سنگی در طبقه‌بندی خود صرف‌نظر کرده است (جدول ۲-۲). مایلز و کیفر (۲۰۰۹) منطقه تحت تاثیر زلزله لوماپریتا را با استفاده از مدل جابه‌جایی نیومارک نیز پهنه‌بندی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که CAMEL زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله لوماپریتا را بهتر از مدل جابه‌جایی نیومارک پیش‌بینی می‌کند. با این وجود، مایلز و کیفر (۲۰۰۹) CAMEL را جایگزینی

1- Comprehensive Areal Model of Earthquake-induced Landslides (CAMEL)
2- Geographic Information System (GIS)
3- Disrupted landslides



کاملی برای مدل جابه‌جایی نیومارک نمی‌دانند، بلکه آن را مدلی برای تکمیل مدل جابه‌جایی نیومارک در مواردی که اطلاعات با مدل مذکور هم‌خوان نیست، در نظر می‌گیرند.

مدل پیشنهادی توسط مایلز و کیفیر از دو بخش اصلی تشکیل شده است:

الف- بخش امکان^۱ (پتانسیل)

ب- و بخش خطر^۲.

بخش اول امکان رویداد هر یک از انواع زمین لغزشها را تعیین می‌کند؛ در نتیجه خروجی این بخش فقط دو حالت وجود امکان یا عدم امکان می‌باشد. برای هر شیب که امکان رویداد زمین لغزش وجود نداشته باشد، آنالیز متوقف شده و داده‌های مربوط برای محاسبه میزان خطر به بخش بعد منتقل نمی‌شود.

در بخش خطر، برای واحدهایی که امکان رویداد دارند، تراکم ممکن هر یک از انواع زمین لغزشها در هر کیلومتر مربع پیش‌بینی می‌شود. تمامی مراحل این مدل چه در بخش امکان و چه در بخش خطر با کمک مجموعه‌های فازی انجام می‌گردد.

در بخش امکان هفت لایه اطلاعاتی شامل ناهمواری، شدت زلزله، عمق خاک، ارتفاع شیب، جنس مصالح، رطوبت، و مقدار شیب به عنوان لایه‌های ورودی به کار می‌روند (شکل ۲-۱). ترتیب ورود لایه‌ها به نحوی است که ذکر شد.

جدول ۲-۱- طبقه‌بندی انواع زمین لغزش (وارنز، ۱۹۷۸)

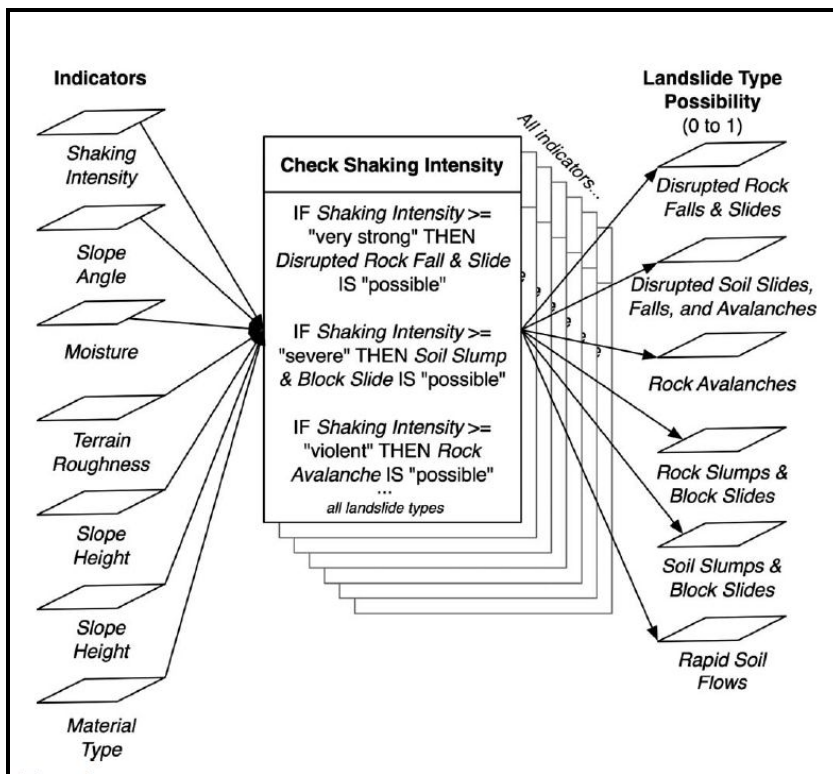
Type of movement		Type of material			
		Bedrock	Engineering soils		
			Predominantly fine	Predominantly coarse	
Falls		Rock fall	Earth fall	Debris fall	
Topples		Rock topple	Earth topple	Debris topple	
Slides	Rotational	Rock slump	Earth slump	Debris slump	
	Translational	Few units	Rock block slide	Earth block slide	Debris block slide
		Many units	Rock slide	Earth slide	Debris slide
Lateral spreads		Rock spread	Earth spread	Debris spread	
Flows		Rock flow	Earth flow	Debris flow	
		Rock avalanche		Debris avalanche	
		(Deep creep)	(Soil creep)		
Complex and compound		Combination in time and/or space of two or more principal types of movement			



جدول ۲-۲ - طبقه‌بندی انواع زمین لغزش‌های ناشی از زلزله (کیفر، ۱۹۸۴)

<ul style="list-style-type: none"> • Category I
Disrupted rock falls and slides Rock avalanches Disrupted soil slides, falls, and avalanches
<ul style="list-style-type: none"> • Category II
Rock slumps and block slides Soil slumps and block slides
<ul style="list-style-type: none"> • Category III*
Rapid soil flows

* Soil lateral spreads not considered



شکل ۲-۱ - بخش امکان CAMEL (مایلز و کیفر، ۲۰۰۹)

در مرحله ارزیابی خطر نیز ۷ لایه وارد می‌گردد.

لایه اول امکان رویداد است که طبیعتاً دارای دو کد است. برای واحدهایی که کد عدم امکان داشته باشند باقی مراحل ارزیابی خطر انجام نمی‌پذیرد و مستقیماً خطر آن‌ها خیلی کم فرض می‌شود.

شش لایه دیگر که در ارزیابی خطر به کار می‌روند عبارتند از:



۱- کلاس مقاومتی زمین (جنس زمین)،

۲- مقدار شیب،

۳- رطوبت،

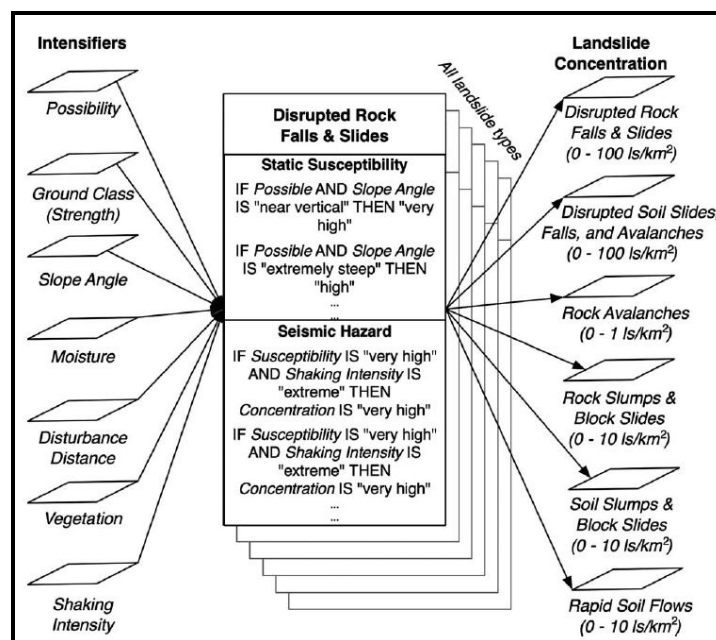
۴- فاصله از به هم ریختگی^۱،

۵- پوشش گیاهی،

۶- شدت زلزله.

در این مرحله هر یک از انواع زمین لغزش به طور جداگانه در دو زیربخش، حساسیت استاتیکی و خطر لرزه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد (شکل ۲-۲).

زیربخش حساسیت استاتیکی، مستقل از تاثیر زلزله در نظر گرفته می‌شود. این زیر بخش خود از دو بخش تشکیل می‌گردد: زیربخش اول: شامل مت...ایی است که دارای نقش اساسی در حساسیت استاتیکی هستند. دو عامل مقاومت زمین (جنس زمین) و مقدار شیب همواره در این زیربخش قرار می‌گیرند. برای برخی از انواع زمین لغزش (لغزش‌های چرخشی سنگی، لغزش‌های بلوکی سنگی، لغزش‌های چرخشی خاکی، لغزش‌های بلوکی خاکی) رطوبت نیز در این زیربخش قرار می‌گیرد. اگر امکان رویداد نوعی از زمین لغزش (به عنوان مثال بهمن سنگی) طبق لایه امکان وجود داشته باشد دو لایه (جنس زمین و مقدار شیب) یا هر سه لایه مذکور بر حسب نوع زمین لغزش برای ارزیابی حساسیت استاتیکی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مرحله به هر واحد بر اساس قوانین تعریف شده، یکی از پنج حساسیت (خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد) نسبت داده می‌شود.



شکل ۲-۲- بخش خطر CAMEL (مایلز و کیفر، ۲۰۰۹)

1- Disturbance Distance



در مرحله بعد، یک تا سه متغیر دیگر که نقش کمتری دارند، برای اصلاح حساسیت، وارد تحلیل می‌گردند. این مت... از این جهت مت... ای ویرایشگر نامیده شده‌اند که نقشی افزایش‌دهنده یا کاهش‌دهنده داشته و در صورت برقراری شرط لازم، حساسیت را یک درجه بالا یا پایین می‌برند (مثلا از خطر پایین به متوسط). دو لایه فاصله از به هم‌ریختگی (با نقش افزایش‌دهنده) و پوشش گیاهی (با نقش کاهش‌دهنده) همواره در این بخش قرار می‌گیرند. برای برخی از انواع زمین‌لغزش‌ها نیز (ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی، ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته خاکی و بهمن‌های خاکی و جریان‌های سریع خاکی) لایه رطوبت (با نقش افزایش‌دهنده) در این مرحله وارد می‌گردد.

زیربخش خطر لرزه‌ای، اثر تکان‌های زلزله را روی حساسیت استاتیکی در نظر می‌گیرد. در این زیربخش تمامی ترکیبات ممکن از مقادیر حساسیت استاتیکی و شدت زلزله در نظر گرفته می‌شود. این خروجی (که خروجی کل مدل نیز محسوب می‌شود)، برآوردی از تراکم زمین‌لغزش در هر کیلومتر مربع است (شکل ۲-۲). مطابق با (شکل ۲-۳) محدوده ممکن مقادیر تراکم (و در نتیجه معادل کمی خطر) برای هر نوع زمین‌لغزش متفاوت می‌باشد (مهدوی فر، ۱۳۹۰).

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود چنانچه مرحله آخر یعنی شدت زلزله حذف گردد و کار تحلیل تا تهیه حساسیت استاتیکی پیش رود این روش می‌تواند برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌ها به صورت عام مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۱-۲- پروژه Safe Land (۲۰۱۲)

این پروژه، طرح مشترک عظیمی است که به وسیله کمیسیون اروپایی درارتباط با ارزیابی و کنترل ریسک زمین‌لغزش حمایت مالی می‌شود. با توجه به زیان‌های زیادی که اروپا از رویداد زمین‌لغزش متحمل می‌شود پروژه با هدف کاهش ریسک این پدیده و بررسی آن در مقیاس‌های مختلف تعریف شده است. پروژه دارای سه هدف اصلی است^۱

۱- تامین روش‌هایی قابل قبول برای ارزیابی ریسک زمین‌لغزش در سه مقیاس محلی، منطقه‌ای و اروپایی برای ارائه به سیاستمداران، مسوولین، محققین و ...؛

۲- ارزیابی تغییرات الگوی ریسک با تغییر شرایط آب و هوایی، فعالیت‌های بشری و تغییرات سیاسی؛

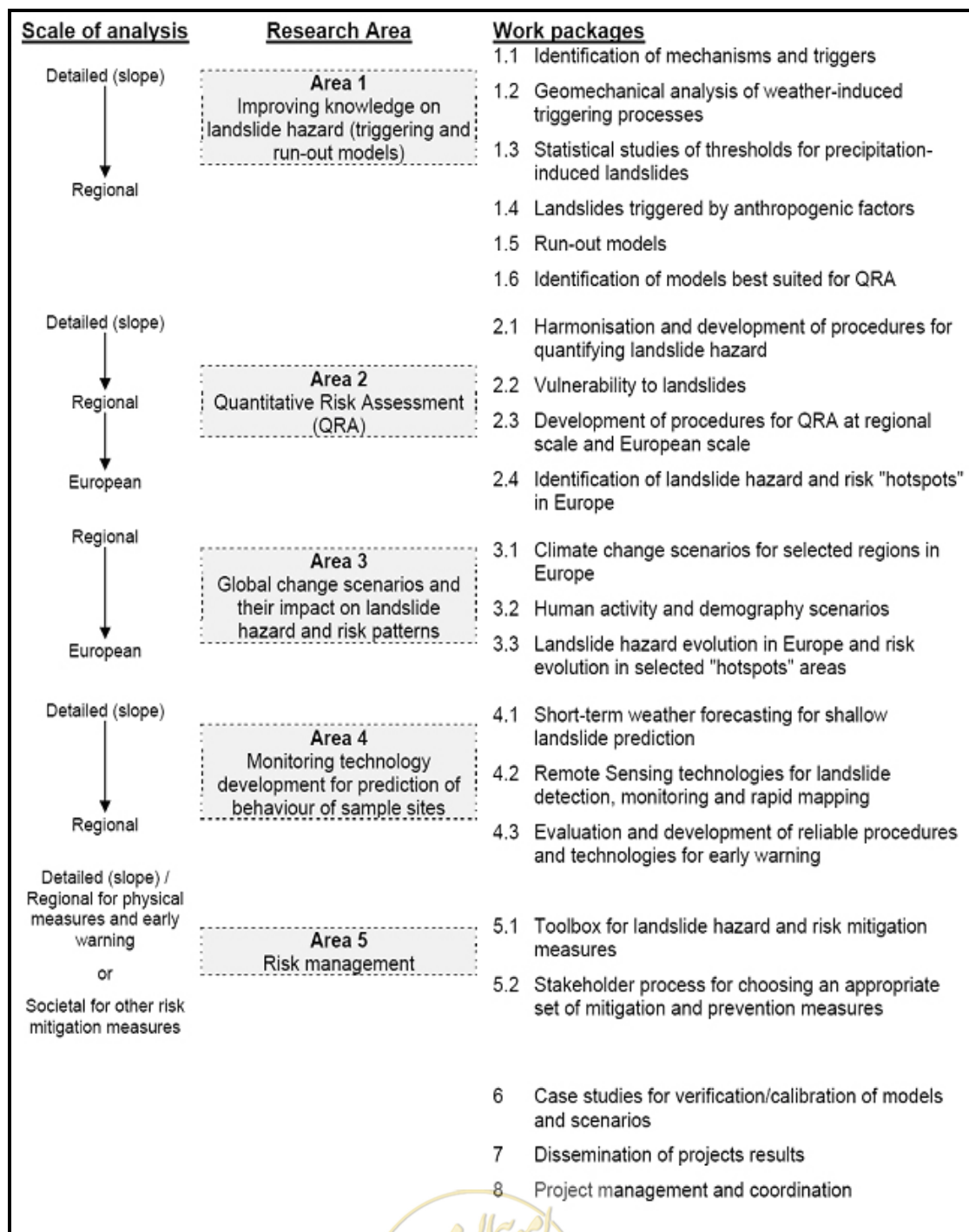
۳- تهیه دستورالعملی برای انتخاب مناسب‌ترین استراتژی مدیریت ریسک شامل پیشگیری و کنترل.

پروژه مذکور در پنج موضوع اصلی، که خود به ۲۱ موضوع فرعی تقسیم شده‌اند، هم‌اکنون در حال انجام است (شکل ۲-۳). در حال حاضر ۲۵ مرکز تحقیقاتی و دانشگاه از سراسر اروپا در این طرح فعالیت می‌کنند.

1- <http://eusoiils.jrc.ec.europa.eu/projects/Safeland/>



یکی از بخش‌های پروژه توسط موسسه بین‌المللی ITC هلند و به سرپرستی پروفسور فان باستن در حال انجام بوده و ویرایش اولیه نتیجه آن در اردیبهشت سال جاری منتشر شده است، بخش پکیج آموزشی GIS برای ارزیابی ریسک زمین لغزش است. در این پکیج با استفاده از آخرین تحقیقات علمی روش‌هایی ساده برای ارزیابی خطر زمین لغزش ارائه شده است. در زیر به صورت خلاصه روش مورد استفاده در این پکیج آورده شده است:

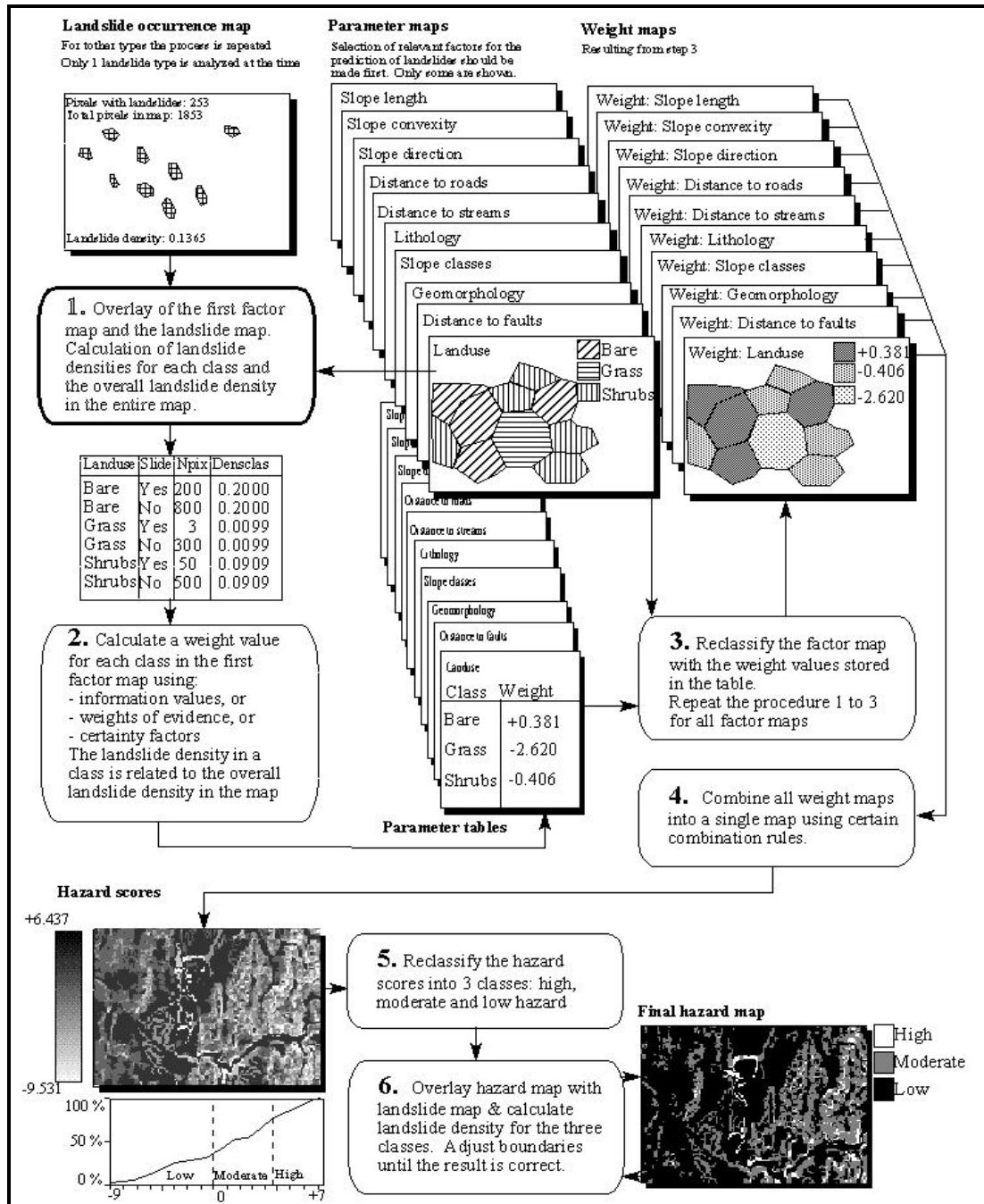


شکل ۲-۳ - ساختار پروژه SafeLand



الف- استفاده از مدل وزن مشاهدات برای تهیه نقشه پتانسیل زمین لغزش

برای مناطقی که تعداد زمین لغزشها برای آنالیز آماری کفایت نماید در این راهنما مدل آنالیز دو مت... به روش وزن مشاهده (weights of evidence modeling (WOE)) پیشنهاد شده است. (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴- شکل ساده برای آنالیز آماری دو مت...

همان گونه که (شکل ۲-۴) نشان داده شده است در آنالیز آماری دو مت... هر یک از نقشه‌های عوامل به صورت مجزا بر روی نقشه فهرست زمین لغزشها انداخته شده و مقایسه می‌گردند.



برای مناطقی که تعداد زمین لغزش‌ها در حدی نیست که کفایت لازم را برای آنالیز آماری نماید از روش قضاوت مهندسی (روش کور) (Heuristic) برای وزن دهی استفاده شده است.

هر دو روش‌های یاد شده در بالا برای تعیین پتانسیل رویداد در منشاء و بدون دخالت عواملی مثل زلزله یا بارندگی شدید به عنوان عوامل محرک به کار برده شده‌اند. برای تعیین تاثیر عوامل محرک از جدولی ساده استفاده گردیده است. اگر فرض شود، چه به وسیله روش بینا و چه روش کور نقشه پتانسیل رویداد زمین لغزش در چهار رده بدون پتانسیل، کم، متوسط و زیاد به دست آمده باشد و عامل محرک بتواند در یکی از سه حالت قوی، متوسط و ضعیف رخ دهد (مانند زلزله قوی، متوسط یا ضعیف) جدول زیر می‌تواند میزان خطر را در واحد تعیین نماید.

جدول ۲-۳- جدول تعیین خطر رویداد زمین لغزش برای واحدهایی با حساسیت مختلف در برابر عاملی محرک با قدرت متفاوت

Susceptibility level	Hazard triggering event: source zones		
	Major event	Moderate event	Minor event
High	1	1	1
Moderate	1	1	0
Low	1	0	0
None	0	0	0

در (جدول ۲-۳)، عدد ۱ نمایانگر رویداد و عدد صفر نمایانگر عدم رویداد زمین لغزش می‌باشد. به این ترتیب سه نقشه خطر زمین لغزش در منشا برای سه حالت مختلف از عامل محرک تولید خواهد شد که فقط دارای دو گروه صفر (به معنای عدم رویداد) و یک (به معنای رویداد) می‌باشد. توجه شود که عامل احتمال در این نقشه‌ها وجود نداشته و نقشه از نوع تعیینی می‌باشد.

از آنجایی که هدف نهایی در این پروژه ارزیابی ریسک بوده است، در این پروژه افزون بر خطر ایجاد زمین لغزش در منشاء، بر محدوده گسترش آن نیز توجه شده است. تخمین این که بعد از رویداد لغزش، توده لغزشی چه مسافتی را طی می‌کند و چه مساحتی از پهنه پایین دست خود را می‌پوشاند (مخصوصاً در بهمن‌ها، جریان‌ها و ریزش‌ها) اهمیت به سزایی در تعیین ریسک دارد. بدین منظور در این دستورالعمل مدلی به نام Flow-R پیشنهاد می‌گردد. این مدل به تازگی توسط دانشگاه Lausanne سوییس در محیط Matlab توسعه یافته است و با واحدهای منظم کار می‌کند. مدل دو عملیات اصلی انجام می‌دهد: شناسایی منشاء و تعیین محدوده گسترش:

- شناسایی منشاء

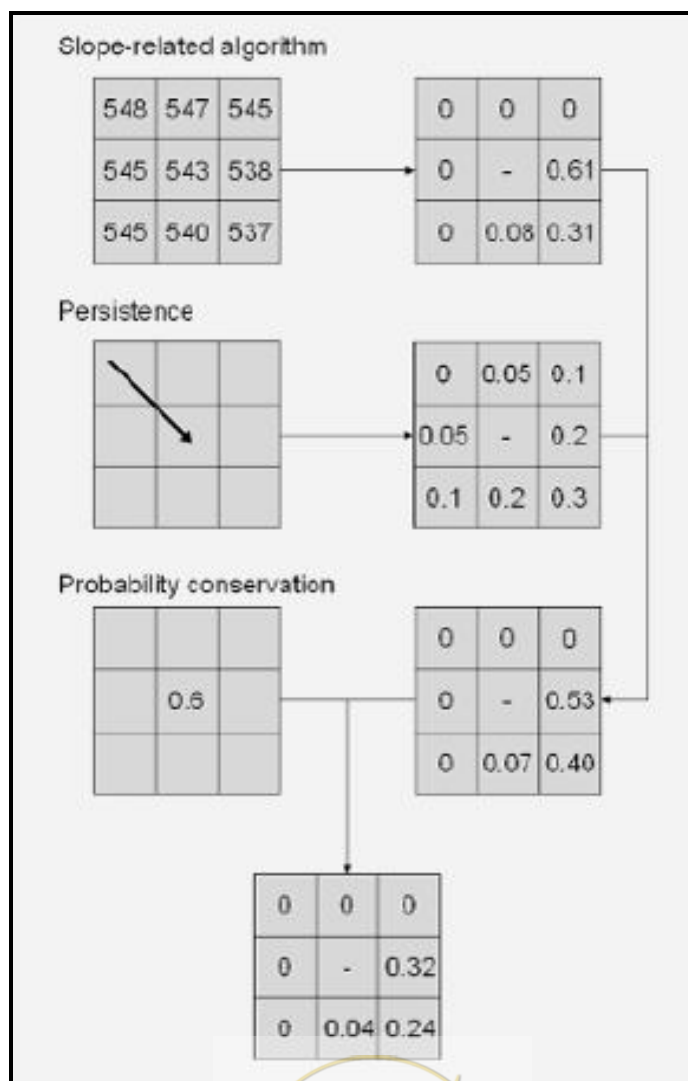
منشاء زمین لغزش‌ها پیش‌تر توسط نقشه خطر به دست آمده است. تنها مشکل این است که در نقشه خطر تهیه شده در دستورالعمل منشاء به صورت بازه‌ای از حساسیت خیلی کم تا خیلی زیاد معرفی شده است. ولی نقشه منشاء مورد قبول این مدل، به صورت صفر (به معنی عدم رویداد) و یک (به معنای رویداد) است. برای حل این مشکل می‌توان به واحدهایی که خطر آن‌ها بالا و خیلی بالا است کد یک و به بقیه واحدها کد صفر اختصاص داد.



- محدوده گسترش

مدل نتایج شناسایی منشاء را برای تعیین محدوده گسترش هر منشاء استفاده می‌کند. انتخاب الگوریتم انتشار به عهده استفاده کننده است. از یک سلول هر الگوریتم انتشاری در همان نوع از نتیجه یا توزیع احتمالاتی در ۸ سلول مجاور نتیجه می‌دهد. سپس این احتمالات بر اساس محدودیت‌های انتخاب شده در الگوریتم به شیب پایین تر گسترش می‌یابد. فرآیند به ترتیب زیر است:

در ابتدا احتمالات بر اساس یک الگوریتم که معمولاً تابعی از میزان شیب است، محاسبه می‌شود سپس مقاومت (بر اساس اینرسی) به عنوان تابعی از مسیر قبلی جریان، محاسبه شده و به احتمال قبلی مرتبط می‌شود. این ترکیب در احتمال سلول مرکزی ضرب می‌شود تا در طول مسیر گسترش ثابت شود. نتیجه این کار پوشش سطحی تمامی سلول‌ها است که ممکن است به احتمال مشخصی در مسیر توده قرار گیرند (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- مبانی چگونگی انتشار توده لغزشی در مدل FLOW-R



اصل محاسبه انرژی به صورت اصولی برای محاسبه فاصله به دست آمده از جریان واریزه‌های معرفی شده است. الگوریتم به کار رفته تابعی از کاهش اصطکاک و حدی برای انرژی جنبشی است. مقدار توده در محاسبات در نظر گرفته نشده و محاسبات انرژی برای توده، واحد در نظر گرفته شده است. محدودیت‌های مشخصی برای این روش وجود دارد اما برای آن، تخمین حجم توده حرکت کرده (که محاسبه آن در منطقه‌ای وسیع بسیار مشکل است) لازم نیست.

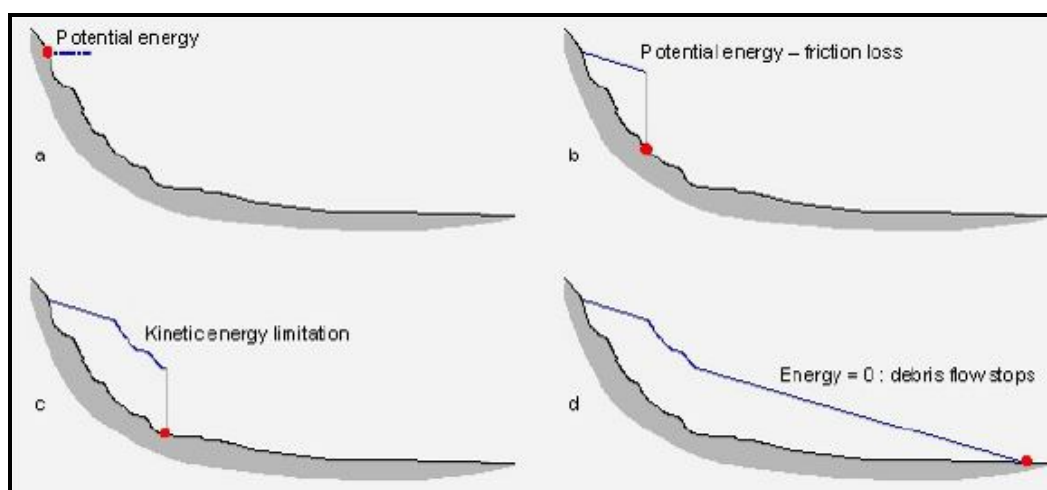
محاسبه انرژی به وسیله (شکل ۲-۶) نشان داده شده است:

(a): در ابتدا یک منشاء انرژی پتانسیل خاصی دارد.

(b): در خلال حرکت بخشی از این انرژی طبق الگوریتم از بین می‌رود.

(c): حد انرژی جنبشی از یک مقدار معینی از انرژی آستانه (در صورتی که فعال شود) وارد عمل می‌شود؛

(d): هنگامی که انرژی صفر شود جریان متوقف می‌شود.



شکل ۲-۶- مثالی ساده از چگونگی تامین انرژی برای حرکت توده لغزشی

در این حالت برای هر سلول یک مقدار انرژی وجود دارد.

نتیجه نهایی محاسبات مناطق گسترش با میزان معینی از احتمال خواهد بود. الگوریتم‌های تعیین کننده این احتمالات خود دارای قوانین احتمالاتی نیستند، در نتیجه احتمالات بایستی به صورت کیفی و بدون نسبت دادن فراوانی یا دوره بازگشت در نظر گرفته شود (نه کمی).

۲-۲- مطالعات انجام یافته در ارتباط با ارزیابی ریسک

امروزه، ارزیابی ریسک در حوزه‌های مختلف به یک موضوع مهم تبدیل شده است. اگرچه ارزیابی ریسک در شاخه‌های مختلف، به کارگیری روش‌های متفاوتی را طلب می‌کند اما در مفاهیم اولیه و اهداف کلی تعیین ریسک در این حوزه‌ها، مشترکات زیادی به چشم می‌خورد. ارزیابی ریسک، یک ابزار بسیار سودمند برای پیشگیری از رویداد فجایع عظیم انسانی و خسارت‌های کلان اقتصادی در مواجهه با بلایای طبیعی به حساب می‌آید. زمین لغزش‌ها و شیب‌های مهندسی‌ساز



همواره با فرم‌های مختلف ارزیابی ریسک مورد بررسی قرار گرفته‌اند. گاهی این ارزیابی با «قضاوت‌های مهندسی» توسط مهندسين ژئوتکنیک یا زمین‌شناسان مهندسی در کنار مشاوره‌ی صاحبان پروژه‌ها صورت گرفته است. کاربردهای رسمی‌تر در اصول مدیریت و ارزیابی ریسک زمین‌لغزش‌ها، به طریقی کیفی، در دهه‌ی ۷۰ میلادی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مدیریت شیب بزرگ‌راه‌ها و برنامه‌ریزی شهری تجربه شده است. در دهه‌ی ۸۰ و به ویژه در سال‌های دهه‌ی ۹۰، روش‌های ارزیابی ریسک در جهت کمی شدن و برای مدیریت شیب‌های منفرد، مسیرهای خطوط لوله، شیب‌های زیر سطح آب و مدیریت سایر شیب‌ها در جهان و در شرایط مختلف، گسترش یافتند (Fell et al., 2005). در ارزیابی ریسک به طور کلی، به کارگیری روش‌های احتمالی، چه با رویکرد کیفی (توصیفی) و چه با رویکرد کمی (مقداری)، مطرح است (Morgenster, 1997). به هر حال، این موضوع که مساله‌ی زمین‌لغزش با یک سری عدم قطعیت‌ها همراه است، به طور گسترده‌ای مورد پذیرش واقع شده است. این عدم قطعیت در تمام مراحل تجزیه و تحلیل مساله، از توصیف مشخصه‌های سایت تا ارزیابی خصوصیات مصالح برای آنالیز و طراحی و ارزیابی عواقب وجود دارد (Morgenster, 1997). در سال‌های اخیر، آنالیز و ارزیابی ریسک به یک ابزار مهم در تحلیل عدم قطعیت‌های ذاتی در خطر زمین‌لغزش تبدیل شده است (Dai et al., 2002).

اگرچه پیشرفت‌های قابل توجهی در دهه‌ی اخیر در زمینه‌ی تعیین ریسک کمی زمین‌لغزش توسط مهندسين ژئوتکنیک در مقیاس مطالعات صحرایی صورت گرفته است، با این حال، تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی ریسک زمین‌لغزش در ابعاد محلی - به ویژه در مقیاس‌های متوسط (۱:۱۰۰۰۰ تا ۱:۵۰۰۰۰) - در راستای برنامه‌های کلی توسعه توسط مسوولان امر، همچنان برداشتن گامی بلند را می‌طلبد (Van Westen, 2005).

خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی ناشی از زمین‌لغزش‌ها می‌تواند به وسیله‌ی رویکردهای برنامه‌ریزی و مدیریت موثر کاهش یابد. این رویکردها عبارتند از:

محدود کردن توسعه‌های شهری در مناطق مستعد به لغزش؛

استفاده از آیین‌نامه‌های حفاری، تسطیح، خاک‌برداری و ساخت؛

به کار بردن ابزارهای فیزیکی (زهکشی، اصلاح هندسه و ساختمان شیب) برای جلوگیری یا کنترل زمین‌لغزش؛

توسعه‌ی سامانه‌های اخطار (Slosson and Krohn, 1982؛ Schuster and Leighton, 1988؛ Schuster, 1996).

شوستر و لایتون (۱۹۸۸) تخمین زده‌اند که به کار بستن روش‌های مذکور می‌تواند خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش را تا بیش از ۹۰٪ کاهش دهد. همچنین اسلوسون و رون (۱۹۸۲) اظهار داشته‌اند که تصویب این رویکردها، خسارت‌های ناشی از زمین‌لغزش‌ها را ۹۲ تا ۹۷٪ کاهش داده است. علی‌رغم توسعه‌ی فعالیت‌ها در حوزه‌ی تشخیص، پیش‌بینی، ابزارهای کاهش‌دهنده و سامانه‌های هشداردهنده‌ی خطر زمین‌لغزش، رخداد این پدیده در سطح دنیا در حال افزایش است (Dai et al., 2002). انتظار می‌رود که این روند رو به رشد در قرن ۲۱ بنا به دلایلی از این قبیل باشد (Schuster, 1996):

- افزایش شهرنشینی و توسعه‌ی شهری در مناطق مستعد لغزش؛



– ادامه‌ی فعالیت‌های قطع درختان و تخریب جنگل‌ها در مناطق مستعد لغزش؛

– افزایش بارش نزولات جوی منطقه‌ای متأثر از تغییرات الگوهای اقلیمی.

برای پرداختن به مشکل زمین لغزش، ارگان‌های دولتی به یافتن درکی بهتر و صحیح‌تر از خطر زمین لغزش و نیز اتخاذ تصمیمات منطقی در تخصیص بودجه‌های لازم برای مدیریت زمین لغزشها نیاز دارند (Dai et al., 2002). مرور سوابق موجود، حاکی از سه دهه تلاش علمی در جستجوی یافتن راهکارهای ارزیابی و هم‌زیستی با خطر زمین لغزش و استفاده‌ی بهینه از منابع سرزمین است (شریعت‌جعفری، ۱۳۸۸). با مروری بر ادبیات فنی موجود در زمینه‌ی ارزیابی ریسک زمین لغزش، با موضوعات منتشر شده در جنبه‌های مختلف ریسک برخورد می‌شود. بعضی از این کارها به مطالعات پایه‌ای و اساسی در این زمینه پرداخته‌اند و بعضی دیگر با استفاده از نتایج قبلی به مطالعات موردی پرداخته‌اند. در (جدول ۲-۴) سعی شده است تا مهم‌ترین تلاش‌ها در زمینه‌ی ارزیابی ریسک زمین لغزش جمع‌آوری گردد. با مرور مطالب منتشر شده در سه دهه‌ی اخیر و مقایسه‌ی آنها، نتیجه می‌گیریم که از سال ۱۹۹۹ به بعد و به ویژه در سال‌های اخیر، با پیشرفت سریع علم و تکنولوژی، رشد علمی قابل توجهی در زمینه‌ی ریسک زمین لغزش صورت گرفته است.

تدوین برنامه‌ها و استانداردهای مدیریت ریسک در کشورهای توسعه یافته اغلب در این دهه انجام شده است. بی‌تردید نیازهای روزافزون بشری به استفاده‌ی بیش‌تر و مدیریت شده از منابع سرزمین از عوامل اصلی این شتاب است (شریعت‌جعفری، ۱۳۸۸).

از بین آثار پیشین، اصول و مبانی مطرح شده توسط وارنر (۱۹۸۴)، پایه‌ی بسیاری از مطالعات و متدولوژی‌های ارائه شده توسط دیگر محققین قرار گرفته است. تکیه بر تجربه و دانش، ساختار اصلی مطالعات او را شکل می‌دهد (شریعت‌جعفری، ۱۳۸۸).

جدول ۲-۴- سوابقی از تحقیق در زمینه‌ی ریسک زمین لغزش

(آماندا لین، ۲۰۱۱؛ کاشانچی، ۱۳۹۰؛ شریعت‌جعفری، ۱۳۸۸؛ نوریزدان، ۱۳۸۵؛ فل و همکاران، ۲۰۰۵؛ سایت eu soils اروپا)

دوره تحقیق	تحقیقات و مطالعات ارزیابی ریسک زمین لغزش
دهه‌ی اخیر	Dai et al. (2002), Liu X. & Lei j. (2003), Spiker & Gori(2000,2003a & b), Nadim et al. (2003), Nadim & Lacasse (2003, 2004), Prina E. et al. (2004), Rocha G. (2004), Van Westen CJ (2004), Wu Q et al. (2004), Rocha (2004), Spizzichino et al. (2004), Hartford & Baecher (2004), Lee & Jones (2004), Fell et al (2005), Crozier et al (2005), Glade et al (2005), Hollestein K. (2005) , Chacon et al. (2006), Robert et al. (2009), Nadim et al. (2010), Van Den Eeckhaut et al (2012), Jaedicke et al (2012), Corominas et al (2012)
۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲	Fell (1992/1994), Fell & Hartford (1997), Pierson & Van Vickle (1993), Leroi (1996), Wu et al. (1996), Baynes & Lee (1998), Carrara et al. (1992), Abbot et al. (1998a & b), Leroueil & Locat (1997), Finlay et al (1999), Nadim & Lacasse (1999), Ho et al. (2000), Kvalstad et al. (2001)
تا سال ۱۹۹۲	Aionso E. (1976), Stevenson PC (1977), Larid et al. (1979), Varnes (1984), Wyllie (1987), Einstein (1988, 1977), Whitman (1984)

برای آشنایی بیش تر با بخش محدودی از محتوای کارهای انجام شده در جهان در زمینه‌ی ریسک زمین‌لغزش‌ها، در اینجا چند نمونه از آن‌ها ذکر می‌شود:

مطالعات لایرد و دیگران (۱۹۷۹) با هدف ارزیابی ریسک در خلیج سانفرانسیسکو (کالیفرنیا) با تکیه بر آنالیز کمی قابلیت اراضی نمونه‌ای از مطالعات دهه‌های قبل است.

پرینا و دیگران (۲۰۰۴)، در پروژه‌ی ارزیابی ریسک در جاده‌ی کوهستانی بین شهرهای Aigle و L, Etvizaz در سوئیس، آسیب‌پذیری اجزای مختلف را از چهار جنبه‌ی فیزیکی، اجتماعی، محیطی و اقتصادی مورد توجه قرار دادند. چاکن و دیگران (۲۰۰۶)، به توصیف نقشه‌های زمین‌شناسی مهندسی خطر و ریسک و مرور منابع با تأکید بر سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته‌اند.

کارارا و دیگران (۱۹۹۲) و مالمود (۲۰۰۳)، از آنالیزهای آماری زمین‌لغزش‌ها در ارزیابی خطر و ریسک استفاده نموده‌اند. برای برآورد آسیب‌پذیری منطقه‌ی شهری Manizales در کلمبیا،

چاردن (۱۹۹۹)، با استفاده از روش‌های آماری و ماتریس برلین یک طبقه‌بندی برای سطوح آسیب‌پذیری ارائه کرده است (شریعت جعفری، ۱۳۸۵). جهت برآورد میزان ریسک ناشی از ریزش‌های سنگی در مسیرهای حمل و نقل زمینی و تهیه‌ی یک سامانه امتیازدهی مناسب،

ویلی و برونر (۱۹۸۷) و سپس ویلی (۱۹۸۷)، یک سامانه امتیازدهی مشتمل بر ۱۰ عامل موثر در رویداد ریزش‌های سنگی و ریسک ناشی از آن را در پنج گروه با امتیازهای ۱، ۳، ۹، ۲۷ و ۸۱ ارائه نمودند. یکی از دلایل امتیازدهی به شکل توان ۲، تفکیک سریع مناطق پر ریسک از مناطق با ریسک کم عنوان شده است (شریعت جعفری، ۱۳۸۵). چندسال بعد، پیرسون (۱۹۹۰) و سپس پیرسون و ونویکل (۱۹۹۳) با اصلاح روش فوق و گنجانیدن فاکتورهای موثر در برآورد ریسک ناشی از ریزش سنگی در چهار گروه با امتیازات ۳، ۹، ۲۷ و ۸۱ روش نوینی در برآورد ریسک ناشی از ریزش‌های سنگی در مسیر جاده‌ها و بزرگراه‌ها ارائه نمودند (گزارش دپارتمان حمل و نقل ایداهو، ۲۰۰۳).

ندیم و دیگران (۲۰۱۰) در پروژه‌ای با عنوان «شهر ایمن» که در تعدادی از شهرهای اروپایی مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است به بررسی عوامل متعدد مرتبط با ریسک زمین‌لغزش‌ها پرداخته‌اند. مطالعات موردی در سوئیس، فرانسه، انگلیس و کانادا با تمرکز بر تاثیر فراوانی جمعیت در مناطق با ریسک بالای زمین‌لغزش در تحقیقات آن‌ها به چشم می‌خورد (ام سی لین، ۲۰۱۱).

در ایران، از جدی‌ترین مطالعات اساسی در زمینه‌ی ریسک زمین‌لغزش‌ها می‌توان به مطالعات شریعت جعفری و دیگران (۱۳۸۵ و ۱۳۸۸)، در زمینه‌ی پهنه‌بندی خطر و ریسک ویژه‌ی زمین‌لغزش اشاره نمود (کاشانچی و همکاران، ۲۰۱۲).



۲-۲-۱- تعاریف ریسک زمین‌لغزش مطابق با (2012) Safe Land

یکی از جدیدترین پروژه‌هایی که در ارتباط با ارزیابی ریسک در حال انجام است، پروژه Safe Land است (که شرح آن در بخش مطالعات انجام شده در ارتباط با پهنه‌بندی آمده است). در گزارش اولیه این پروژه تعاریف پایه ریسک زمین‌لغزش و نحوه محاسبه آن آورده شده است در زیر به طور خلاصه به قسمتی از این گزارش اشاره گردیده است:

۲-۲-۱-۱- تعریف ریسک

(۱-۲) تعداد عناصر در معرض ریسک \times آسیب‌پذیری \times خطر = ریسک

این معادله تنها یک معادله مفهومی نبوده و به صورت واقعی GIS قابل محاسبه است. در این فرمول هزینه وارد نشده است و ریسک به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود. مولفه خطر در رابطه بالا به احتمال رخداد پدیده خطرآفرین با شدت معین و در بازه زمانی مشخصی (مانند احتمال سالانه) اشاره دارد. جدول (۲-۵) توضیح دقیق‌تری از مولفه‌های مذکور دربر دارد.

برای محاسبه ریسک ویژه، (رابطه ۲-۱) می‌تواند به صورت زیر تغییر یابد:

$$R_S = P_T \times P_L \times V \times A \quad (2-2)$$

که در آن:

P_T : احتمال زمانی رویداد سناریویی (مثلا سالیانه) از خطری خاص

H_S : با دوره بازگشت معین در یک منطقه است؛

P_L : احتمال مکانی رویداد سناریویی از خطری خاص؛

H_S : با دوره بازگشت معین در یک منطقه است که بر عناصر در معرض ریسک اثر می‌گذارد؛

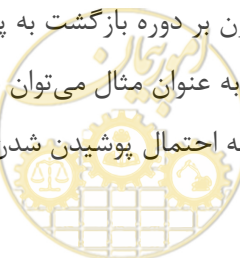
V : آسیب‌پذیری فیزیکی است که به وسیله درجه تخریب عنصر در معرض ریسک خاص E_S در اثر رویداد سناریویی از

خطری خاص (H_S) مشخص می‌شود؛

A : تعداد عناصر در معرض ریسک است.

لازم به ذکر است که روش‌های مختلفی برای کمی‌سازی عناصر در معرض ریسک وجود دارد. برای نمونه مقادیر را می‌توان به وسیله تعداد بیان نمود مانند تعداد ساختمان (تعداد ساختمانی که ممکن است خراب شود)، تعداد نفرات (مانند زخمی‌ها، کشته‌ها و زیان‌دیده‌ها)، تعداد لوله‌های شکسته در هر کیلومتر از شبکه و ... افزون بر تعداد عناصر در معرض ریسک را می‌توان بر حسب واحد پولی بیان نمود. ریسکی که به هر یک از این روش‌ها به دست می‌آید ریسک کمی است.

برای به دست آوردن مولفه‌های این معادله، افزون بر دوره بازگشت به پراکندگی فضایی مولفه‌ها نیز نیاز است. احتمال زمانی رویداد سناریویی طرح نیز مولفه فضایی دارد به عنوان مثال می‌توان به سیلابی با دوره بازگشت معین اشاره نمود چنین سیلابی سطح معینی را می‌پوشاند و در نتیجه احتمال پوشیدن شدن سطح مزبور با احتمال رخداد سیلاب یکسان



است. این محدوده‌ها در سیلاب‌ها به وسیله خطوط توپوگرافی قابل تعیین است اما در مورد خطراتی مانند زمین لغزش این قضیه فرق می‌کند. محلی که زمین لغزش روی می‌دهد دقیقا مشخص نیست. به عنوان مثال اگر واحد مورد نظر در منطقه‌ای با خطر زیاد قرار داشته باشد احتمال این که زمین لغزشی که در آینده روی می‌دهد دقیقا در همان واحد باشد برابر است با احتمال رویداد زمین لغزش در مناطق با حساسیت بالا (نسبت سطح زمین لغزش‌های رویداده در مناطق با حساسیت بالا به مساحت کل مناطق با حساسیت بالا) در احتمال رویداد لغزش در بخش مورد نظر (نسبت سطح واحد به سطح مناطق با استعداد بالا). شدت خطر (مانند عمق سیلاب یا حجم لغزش) و همچنین میزان تحت تاثیر قرار گرفتن عناصر نیز از جایی به جای دیگر متفاوت است.

ارزیابی خطر زمین لغزش می‌تواند در ابتدا با مدل کردن عمق آب زیرزمینی شروع می‌شود. در این حالت مدل هیدرولوژی شیب با استفاده از میزان بارندگی روزانه و خواص خاک تعیین می‌گردد. با این روش به صورت تئوری تخمین سطح آب زیرزمینی برای دوره‌های بازگشت معین قابل تخمین است.

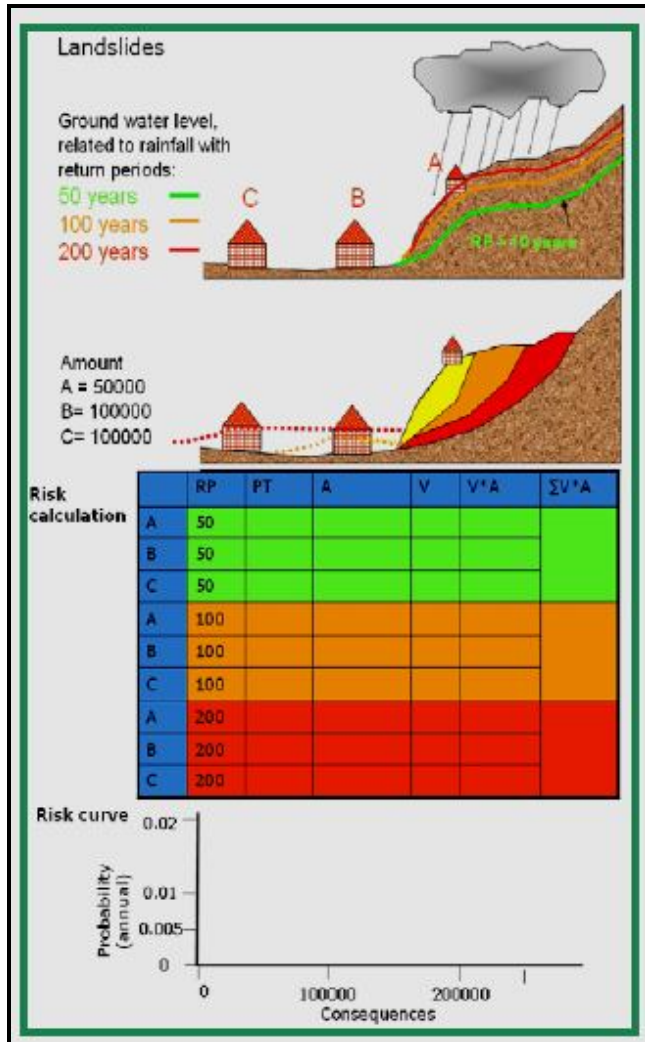
بر اساس مدل آب زیرزمینی به دست آمده، آنالیز دیگری با استفاده از مدل فیزیکی و تعیین ضریب پایداری شیب برای دوره‌های بازگشت مختلف انجام می‌گردد. این آنالیز سه سناریوی مختلف از زمین لغزش را که زمین لغزش‌هایی با احجام مختلف را ایجاد می‌کنند تولید می‌کند. مرحله بعد انجام آنالیزی برای تخمین طول گسترش، سرعت و عمق زمین لغزش است. این پارامترها ورودی‌های مورد نیاز را برای ارزیابی آسیب‌پذیری تشکیل می‌دهند.

جدول ۲-۵- واژه‌ها و تعاریف مورد استفاده در ارزیابی ریسک با GIS

واژه	تعریف	معادلات و توضیحات
خطر طبیعی (H) (Natural Hazard)	یک رویداد، پدیده، یا فعالیت مصنوعی فیزیکی با توانایی تخریب که ممکن است موجب کشته و زخمی شدن افراد، از بین رفتن دارایی‌ها، آسیب‌رسانی یا تخریب زیست‌محیطی گردد. این رویداد دارای احتمال رویداد در بازه‌ای از زمان در محدوده‌ای مشخص و با شدتی معین می‌باشد	P_T احتمال زمانی رویداد سناریویی (مثلا سالیانه) از خطری خاص (H_S) با دوره بازگشت معین در یک منطقه است؛ P_L احتمال مکانی رویداد سناریویی از خطری خاص (H_S) با دوره بازگشت معین در یک منطقه است که بر عناصر در معرض ریسک اثر می‌گذارد؛
عناصر در معرض ریسک (E) (Elements-at-risk)	جمعیت، دارایی‌ها، فعالیت‌های اقتصادی، شامل سرویس‌های عمومی، یا هر گونه موارد با ارزشی که در معرض خطر در منطقه‌ای خاص است. این واژه تحت عنوان دارایی (Assets) نیز مورد اشاره قرار می‌گیرد	E_S : نوع خاصی از عناصر در معرض ریسک (مانند ساختمان‌های آجری دو طبقه) است
آسیب‌پذیری (V) (Vulnerabilty)	شرایطی که توسط عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی، و محیطی یا فرآیندهایی که حساسیت جامعه را به رویداد خطرات افزایش می‌دهد تعیین می‌شود. این پارامتر می‌تواند به آسیب‌پذیری فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی تقسیم شود.	V آسیب‌پذیری فیزیکی است که درجه آسیب‌دیدگی E_S در منطقه مورد نظر با رخداد سناریوی خطر H_S را نشان می‌دهد. این پارامتر از صفر (بدون آسیب‌دیدگی) تا یک (تخریب کامل) تغییر می‌کند
مقدار عناصر در معرض ریسک (A_E) (Amount of elements-at-risk)	مقدار عناصر در معرض ریسک از تعداد (ساختمان، افراد و ...) مقادیر مالی (هزینه جابه‌جایی و ...) و سایر موارد (اهمین عناصر در معرض ریسک)	A مقادیر محاسبه شده نوع خاصی از عناصر در معرض ریسک (مانند تعداد ساختمان)
نتیجه (C) Consequence	خسارات مورد انتظار (بر مقدار عناصر در معرض ریسک) در منطقه‌ای معین در نتیجه سناریوی خطر مشخص.	C نتیجه مشخص یا خسارات سناریوی خطر مشخص است که حاصل ضرب $V_S \times A_{ES}$ می‌باشد

ادامه جدول ۲-۵- واژه‌ها و تعاریف مورد استفاده در ارزیابی ریسک با GIS

معادلات و توضیحات	تعریف	واژه
$R_S = H \times V \times A$ $R_S = H \times C$ $R_S = P_T \times P_L \times V \times A$	خسارات مورد انتظار در منطقه‌ای معین و بازه زمانی مشخص (مثلا سالیانه) برای یک سری خاص از عناصر در معرض ریسک در نتیجه سناریوی خطر مشخص با دوره بازگشت معین	ریسک ویژه (R_S) (Specific risk)
$R_T \approx \sum(R_T) = \sum(H_S \times V \times A)$ یا به عبارتی بهتر: $R_T = \int (V_S \times A_{ES})$ برای تمامی انواع خطرات، برای تمامی دوره‌های بازگشت برای تمامی انواع عناصر در معرض ریسک. این پارامتر معمولاً با پیاده کردن نتایج در مقابل احتمالات و ساخت یک منحنی ریسک به دست می‌آید. مساحت زیر منحنی ریسک کل است	احتمال نتایج مضر یا خسارات قابل انتظار (تلفات، مجروحین، دارایی‌ها، معیشت، قطع فعالیت‌های اقتصادی، یا تخریب زیست‌محیطی) حاصل اندرکنش بین خطرات طبیعی و مصنوعی و شرایط آسیب‌پذیر در منطقه‌ای مشخص و در بازه زمانی معین این پارامتر با ارزیابی اولیه تمامی ریسک‌های ویژه محاسبه شده و مجموع تمامی نتایج مشخص با احتساب تمامی احتمالات است	ریسک کل (R_T) (Total risk)



شکل ۲-۷- مثالی از ارزیابی ریسک کمی زمین لغزش

در فصل ۳، تعاریف و مفاهیم کامل ریسک زمین لغزش با مروری بر مطالعات مربوط آورده شده است.



فصل ۳

خلاصه‌ای از نتایج طرح راهنمای

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در

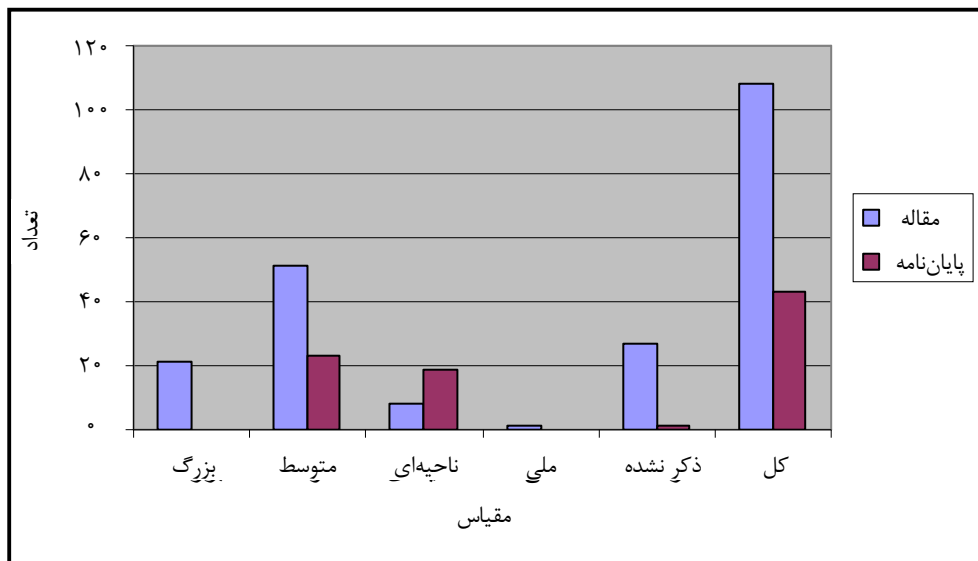
مقیاس‌های کوچک و متوسط و مبانی

مورد نظر



طرح «روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش» در سال ۱۳۸۵ به منظور دستیابی به روش‌هایی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دو مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ و ۱:۲۵۰,۰۰۰ که قابلیت اجرا در کل کشور را داشته باشند، اجرا گردید.

در این طرح در ابتدا بیش از ۱۵۰ مقاله و پایان‌نامه مختلف از سراسر دنیا مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس فاکتورهایی که در هر تحقیق در نظر گرفته شده است، نوع واحدبندی و روش اجرا گروه‌بندی و تجربه و تحلیل گردید (به عنوان نمونه: شکل (۱-۳) و شکل (۲-۳)).



شکل ۳-۱- تعداد منابع به تفکیک مقیاس



شکل ۳-۲- عوامل زمین‌لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آن‌ها جهت پهنه‌بندی استفاده نموده‌اند (مقیاس بزرگ)

همچنین وضعیت پراکنش زمین‌لغزش‌های کشور با استفاده از داده‌های ثبت شده در بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور (معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها و آبخیزداری و مراتع کشور) مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳-۳). با استفاده

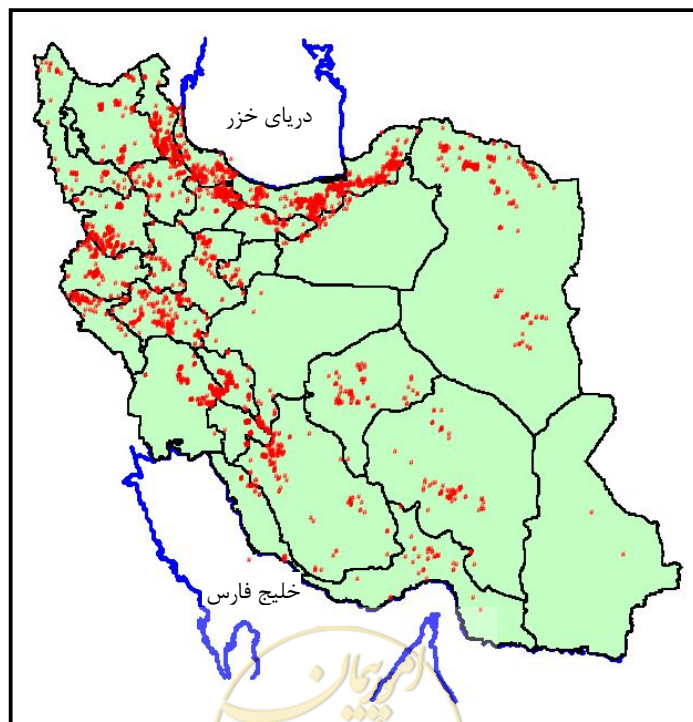


از داده‌های این بانک انواع زمین لغزش‌های رخ داده در ایران به همراه وضعیت فعالیت و همچنین چگونگی پراکنش آن‌ها در مناطق مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

مشاهده اختلاف تراکم زمین لغزش‌ها در نواحی مختلف موجب گردید که با این فرض که اقلیم نقش اساسی را در تراکم زمین لغزش‌ها ایفا می‌کند، در این پروژه نقشه‌ای تهیه شود که ایران را به شش منطقه آب و هوایی تقسیم می‌نماید. پس از تجزیه و تحلیل مجدد تراکم زمین لغزش‌ها در نواحی مختلف مشخص گردید عوامل مختلف یکسانی در مناطق مختلف در رویداد زمین لغزش ندارند. به عنوان مثال در برخی مناطق میزان بارندگی، در برخی دیگر لیتولوژی و در برخی دیگر شیب نقش اساسی را در ایجاد زمین لغزش ایفا می‌نماید.

با توجه به داده‌های حاصل از مراحل فوق، دو روش نسبتاً متفاوت برای پهنه‌بندی خطر در مقیاس‌های ۱:۲۵۰,۰۰۰ و ۱:۵۰,۰۰۰ ارائه شد و در هر دو روش واحدبندی ترکیبی انتخاب گردید.

در مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰ عوامل زمین‌شناسی، شیب، وجه شیب، تاقدیس و ناودیس، متوسط بارندگی سالانه به عنوان عوامل مستعدکننده و زلزله، زهکشی و جاده به عنوان عوامل تحریک کننده، انتخاب گردیده است. نحوه وزندهی در این مقیاس روش کور بوده و در دستورالعمل بر اساس پراکنش زمین لغزش‌ها در کشور برای اقلیم‌های مختلف تعیین گردیده است. در مقیاس ۱:۵۰,۰۰۰ عوامل زمین‌شناسی، شیب، وجه شیب، ساختارها، تاقدیس و گسل، آب زیرزمینی، کاربری اراضی، متوسط بارندگی سالانه به عنوان عوامل مستعدکننده و شدت بارندگی، زلزله، زهکشی، جاده به عنوان عوامل تحریک کننده، انتخاب گردیده است. گروه‌بندی عوامل بر اساس نوع اقلیم در دستورالعمل پیشنهاد شده است. ولی نحوه وزندهی در این مقیاس روش بینا بوده و در هر منطقه بر اساس پراکنش زمین لغزش‌ها در آن تعیین می‌گردد.



شکل ۳-۳- نقشه پراکنش زمین لغزش‌های موجود در بانک اطلاعاتی زمین لغزش‌های کشور براساس ۴۱۴۶ فرم تکمیل شده تا اردیبهشت ۱۳۸۴

پس از ارائه و تایید طرح مزبور طرح دیگری به منظور آزمایش روش‌های پیشنهادی در هر دو مقیاس برای چند منطقه الگو تعریف گردید. این طرح نیز انجام و گزارش مربوط به دو مقیاس متوسط و کوچک به ترتیب در سال ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ ارائه شد.



فصل ۴

پیشنهاد روش پهنه‌بندی خطر

زمین لغزش در مقیاس (۱:۲۵۰۰۰۰)



در این پروژه با توجه به موارد زیر نسبت به پیشنهاد روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ اقدام گردیده است:

- نتایج به دست آمده در مطالعات قبلی مخصوصاً نتایج طرح کارگروه
- نتایج مطالعه تعداد زیادی از منابع داخلی و خارجی جمع‌آوری شده مخصوصاً منابع مربوط به دهه اخیر؛ لازم به ذکر است، با توجه به فراگیر شدن کاربرد سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و امکاناتی که این نرم‌افزارها در اختیار کاربران در زمینه تحلیل‌ها و خروجی‌های مدیریت زمین قرار می‌دهند، استفاده از این سامانه در کلیه پهنه‌بندی‌های موضوع این پروژه ضروری بوده و مشاورین مربوطه بایستی افزون بر داشتن امکانات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، پرسنل مجربی را نیز در ارتباط با چگونگی استفاده از این سامانه در اختیار داشته باشند.
- در این دستورالعمل برای افزایش دقت نقشه‌های تولید شده پیشنهاد بر تولید نقشه پتانسیل و بعد از آن نقشه خطر می‌باشد. همچنین مراحل دستورالعمل مطابق با روش به کار رفته توسط مایلز و کیفیر (۲۰۱۰)، بر تولید نقشه‌های خطر برای انواع زمین‌لغزش به تفکیک می‌باشد. در زیر مبانی این دستورالعمل آورده شده است:

۴-۱- انواع زمین‌لغزش در نظر گرفته شده برای تعیین خطر

زمین‌لغزش‌ها مطابق با مطالعات مایلز و کیفیر (۲۰۰۷ و ۲۰۰۹) و مایلز (۲۰۱۰)، که بر اساس مطالعات کیفیر (۱۹۸۴) انجام شده است، می‌توانند در سه گروه اصلی شامل شش گروه فرعی تقسیم گردند (جدول ۴-۱). همان‌گونه که پیش‌تر اشاره شد این طبقه‌بندی در اصل برای زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله در نظر گرفته شده است. اما به علت این‌که ساز و کار رویداد زمین‌لغزش‌های هرگروه در شرایط استاتیکی تقریباً مشابه است، عوامل خاصی را برای ایجاد هر گروه می‌توان در نظر گرفت که در لغزش‌های آن‌ها یکسان عمل می‌کند. در نتیجه چنان‌چه در نظر باشد پهنه‌بندی خطر به تفکیک نوع زمین‌لغزش انجام شود، این طبقه‌بندی نسبت به طبقه‌بندی‌های دیگری مانند وارنز (۱۹۷۸) (جدول ۴-۱) مناسب‌تر خواهد بود.

جدول ۴-۱- طبقه‌بندی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله (کیفیر، ۱۹۸۴) شماره بندی انواع در این پروژه اضافه گردیده است.

نوع اول: ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی	گروه ۱
نوع دوم: بهمن‌های سنگی	
نوع سوم: لغزش‌ها، ریزش‌ها و بهمن‌های خاکی	
نوع چهارم: لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی	گروه ۲
نوع پنجم: لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی	
نوع ششم: جریان‌های سریع خاکی	گروه ۳
در این طبقه‌بندی گسترش‌های جانبی در نظر گرفته نشده‌اند	



۴-۲- روش واحدبندی

واحدبندی، به منظور پهنه‌بندی خطر با سه روش متفاوت انجام می‌پذیرد (Gee, 1992):

۴-۲-۱- واحدبندی منظم

منطقه به سلول‌هایی به شکل منظم (مانند مربع یا شش ضلعی) تقسیم می‌گردد (شکل ۴-۱).

مزایای این نوع واحدبندی عبارتند از:

- مساحت کلیه واحدها یکسان است؛

- مکان هر واحد با استفاده از مختصات آن (x,y) سریعاً قابل شناسایی است؛

نرم‌افزارهای رایج جهت پهنه‌بندی، مانند (GIS)، با این واحدها راحتتر از بقیه انواع واحدها کار کرده و سرعت پردازش آنها در این حالت بالاتر خواهد بود.

این نوع واحدبندی با وجود مزایای فوق دارای معایبی نیز است که مهم‌ترین آنها امکان حضور بیش از یک زیرگروه از هر عامل (مانند مارن و آهک از عامل زمین‌شناسی) در هر واحد است. این محدودیت موجب می‌گردد در چنین واحدهایی زیرگروهی در نظر گرفته شود که مساحتی بیش‌تر از سایر زیرگروه‌ها را اشغال کرده باشد. در این حالت نقش زیرگروه‌های حذف شده، در پهنه‌بندی در نظر گرفته نمی‌شود.

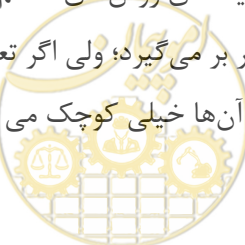
۴-۲-۲- واحدبندی شیبی

در این واحدبندی منطقه بر اساس میزان شیب و جهت دامنه به واحدهای کوچک‌تری تقسیم می‌گردد (شکل ۴-۲)؛ اساس این روش در نظر گرفتن هر دامنه به عنوان یک واحد است؛ بدین مفهوم که هر واحد عبارت است از یک دامنه که میزان و جهت شیب در آن، در بازه کمی تغییر می‌کند. از آنجایی که تمام آنالیزهای انجام شده برای پهنه‌بندی، با هدف ارزیابی پایداری دامنه‌ها صورت می‌گیرد، این روش منطقی‌تر از سایر روش‌ها به نظر می‌رسد. زیرا در نهایت خطر حرکت را در دامنه ارائه می‌نماید؛ با این وجود واحدبندی شیبی، محدودیت مذکور در واحدبندی منظم (وجود چندین زیرگروه در یک واحد) را نیز در برداشته و آنالیز آن در GIS مشکل‌تر از واحدبندی منظم انجام می‌گیرد.

۴-۲-۳- واحدبندی ترکیبی

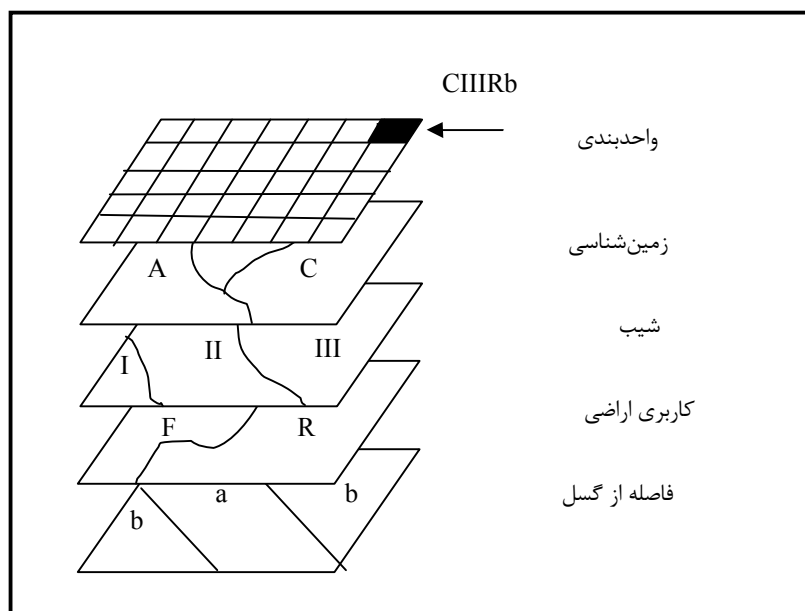
این واحدبندی حاصل روی هم اندازی لایه‌های عوامل و تشکیل واحدهایی همگن از نظر کلیه عوامل در نظر گرفته شده می‌باشد (شکل ۴-۳).

این روش به دلیل همگن بودن واحدها، محدودیت‌های روش‌های منظم و شیبی را در مورد حذف عوامل ندارد، زیرا هر واحد تنها یک زیرگروه از هر لایه اطلاعاتی را در بر می‌گیرد؛ ولی اگر تعداد لایه‌ها و زیرگروه‌های مربوط زیاد باشد، تعداد بسیار زیادی واحد ایجاد شده که بسیاری از آنها خیلی کوچک می‌باشند. از جمله محدودیت‌های دیگر این روش

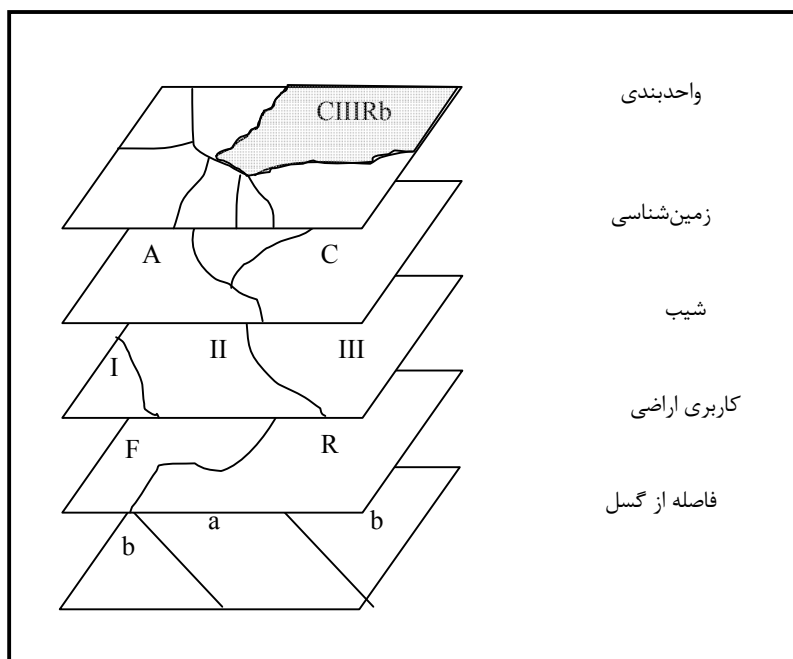


زمان بر بودن روی هم‌اندازی لایه‌ها برای تشکیل واحدها و تصحیح مرزهای آن‌ها در GIS می‌باشد. (گی (۱۹۹۲) این نوع واحدبندی را طبیعی نامیده است که در این مطالعه به ترکیبی تغییر یافته است).

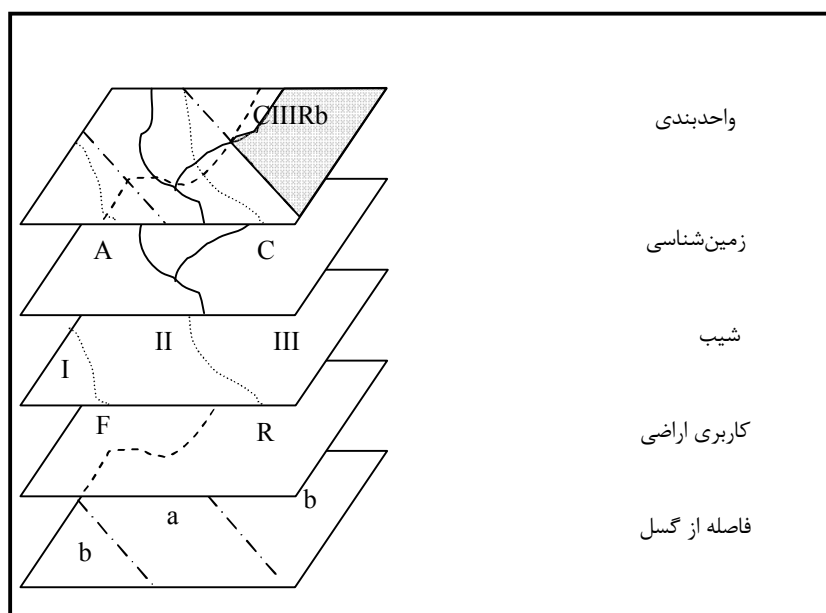
محققینی که از این روش جهت واحدبندی استفاده می‌کنند، برای حذف محدودیت ایجاد واحدهای کوچک فیلترهایی را پیش‌بینی می‌کنند تا این‌گونه واحدها در واحدهای بزرگ کناری خود ادغام گردند. به عنوان مثال در نقشه‌های ۱:۲۵,۰۰۰ این فیلتر می‌تواند به ابعاد ۲۵ در ۲۵ متر (یک میلی‌متر در یک میلی‌متر روی نقشه) و مساحت ۶۲۵ مترمربع انتخاب گردد. در این حالت کلیه واحدهایی که دارای مساحتی کوچک‌تر از این مقدار باشند حذف و در واحدهای هم‌جوار ادغام می‌گردند. مشکل این روش هنگامی نمایان می‌گردد که تعداد زیادی واحدهای کوچک هم‌جوار هم قرار گرفته و در واحدی که اندازه آن اندکی از حد فیلتر بزرگ‌تر است ادغام گردند.



شکل ۴-۱- اصول واحدبندی منظم، واحد مشخص شده دارای زمین‌شناسی C شیب III، کاربری R و فاصله از گسل b می‌باشد.



شکل ۴-۲- اصول واحدبندی دامنه‌ای. واحد مشخص شده دارای زمین‌شناسی C، شیب III، کاربری R و فاصله از گسل b می‌باشد.



شکل ۴-۳- اصول واحدبندی ترکیبی، واحد مشخص شده دارای زمین‌شناسی C، شیب III، کاربری R و فاصله از گسل b می‌باشد.

با توجه به بررسی منابع می‌توان موارد زیر را در ارتباط با کاربرد انواع واحدبندی در مقیاس‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت:

واحدبندی منظم برای مقیاس‌های کوچک مانند ۱:۲۵۰,۰۰۰ می‌تواند بسیار بهتر از واحدبندی‌های دیگر باشد. زیرا در چنین مقیاسی امکان تعیین مرز زیرگروه‌ها با دقت زیاد وجود ندارد و به عبارتی دیگر دقت نقشه بسیار کمتر از محل



تغییر زیرگروه‌هاست در نتیجه می‌توان با واحدبندی منظم برآوردی کلی از میزان حضور هر زیرگروه در هر واحد در اختیار داشت.

در مقیاس متوسط مانند ۱:۵۰,۰۰۰ که مرز زیرگروه‌ها با دقتی قابل قبول قابل پیاده کردن است، استفاده از نوع واحدبندی منظم می‌تواند دقت نقشه نهایی را کاهش دهد در این مقیاس استفاده از واحدبندی ترکیبی که بر اساس مرز واحدها استوار است دقت بیشتری را ارائه می‌دهد.

در مقیاس‌های بزرگ‌تر مانند ۱:۲۵,۰۰۰ تا ۱:۱۰,۰۰۰ وضعیت تغییر می‌کند. در این مقیاس‌ها تعداد زیرگروه‌ها کاهش می‌یابد. از طرفی به علت بزرگ شدن مقیاس و کوچک شدن اندازه واحدها در واحدبندی منظم، استفاده از این نوع واحدبندی دقت مناسبی را در ارتباط با محل تغییر زیرگروه‌ها ارائه می‌دهد. به همین دلیل گرایش به استفاده از واحدبندی منظم با توجه به مزایایی که قبلاً ذکر شد، بیش‌تر می‌شود.

در مقیاس‌های بزرگ‌تر از ۱:۱۰,۰۰۰ تمایل به استفاده از مقیاس‌های شیبی بیش‌تر می‌شود. زیرا محدوده شیب در این مقیاس‌ها کاملاً با دقت قابل پیدا کردن بوده و ارزیابی پایداری هر شیب با دقت قابل قبول امکان‌پذیر است. با توجه به موارد فوق در این مطالعه برای مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ واحدبندی منظم پیشنهاد شده است. اندازه واحدها ۱۰ متر در متر می‌باشد. لازمه انجام این نوع واحدبندی در GIS استفاده از لایه‌های اطلاعاتی به فرمت رستر است.

۴-۳- لایه‌های اطلاعاتی

مهم‌ترین مرحله در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، شناسایی عوامل موثر در رویداد آن می‌باشد. مانند هر پدیده دیگر با شناخت صحیح عوامل لغزش و اطلاع از وجود یا عدم وجود آن‌ها در یک منطقه، می‌توان به احتمال رویداد یا عدم رویداد این پدیده پی برد.

همان‌گونه که در رابطه پایداری شیروانی مشخص شده است، میزان پایداری دامنه به چند دسته از عوامل وابسته است:

- پارامترهای مقاومتی

این پارامترها شامل ضریب اصطکاک داخلی و چسبندگی می‌باشند که کاملاً وابسته به جنس مصالح و میزان خردشدگی توده سنگ می‌باشند. در مقیاس متوسط لایه‌های اطلاعاتی که می‌توانند بیانگر پارامترهای مقاومتی باشند لیتولوژی، محدوده زمین‌لغزش‌های قبلی، عمق خاک میزان درزه‌ها، گسل و تاقدیس هستند.

- شیب

میزان شیب به عنوان تنها پارامتر ژئومورفولوژیکی حاضر در رابطه پایداری است که مستقماً با در دست بودن نقشه شیب قابل تهیه است. افزون بر میزان شیب برای برخی از انواع زمین‌لغزش‌ها مانند بهم‌ها و جریان‌ها افزایش اختلاف



ارتفاع نسبی به علت افزایش انرژی پتانسل نقش تعیین کننده‌ای در ایجاد آن‌ها دارد که این پارامتر نیز با استفاده از نقشه DEM به دست می‌آید؛

- میزان رطوبت

سطح آب در شیب به علت افزایش تنشهای برشی از یک سو و کاهش مقاومت برشی از سوی دیگر در سطح لغزش تاثیر تعیین کننده‌ای بر ایجاد زمین لغزش دارد. با این وجود به دست آوردن این پارامتر در مقیاس متوسط مشکلترین لایه اطلاعاتی محسوب می‌شود و اغلب در دسترس نیست. به همین دلیل از لایه‌های اطلاعاتی دیگری که به طور غیرمستقیم می‌توانند در این پارامتر موثر باشند استفاده می‌شود. نقشه رطوبت خاک (یا جهت شیب)، انحنای شیب، طول شیب، محل چشمه‌ها و یا میزان بارندگی سالانه می‌توانند تا حدی جایگزین پارامتر مذکور شوند.

- عوامل محرک

افزون بر موارد فوق برخی از عوامل با تغییر شرایط طبیعی دامنه موجب برهم زدن تعادل شرایط پایداری می‌شوند. این عوامل می‌توانند موجب افزایش تنش برشی یا کاهش مقاومت برشی در مدت زمانی کوتاه (یا طولانی) گردند. از جمله این عوامل می‌توان به زلزله، بارندگی‌های شدید در مدت زمان کوتاه، احداث جاده، فرسایش پنجه لغزش توسط رودخانه و یا کاربری‌هایی که موجب افزایش بار روی شیب یا تزریق آب به دامنه می‌گردند را می‌توان نام برد.

برای تعیین عوامل لغزش و وزن‌دهی باید این نکته مهم را در نظر داشت که پارامترها طوری انتخاب شوند که هر چهار گروه بالا را پوشش دهند. از طرفی اگر از چند نقشه مختلف به عنوان نماینده یکی از گروه‌های بالا استفاده می‌شود وزن‌دهی به آن‌ها طوری باشد که تعداد پارامترهای در نظر گرفته شده وزن گروه مذکور را به صورت غیرعادی نسبت به گروه‌های دیگر بالا نبرد. به عنوان مثال شیب پارامتر مهمی برای محاسبه لغزش محسوب شده و مستقیماً از نقشه شیب به دست می‌آید. ولی ممکن است برای آب زیرزمینی به اجبار هم‌زمان از چند پارامتر مختلف مثل وجه شیب، انحنای شیب و محل چشمه‌ها استفاده شود. در نتیجه مجموع وزنی که به این سه نقشه داده می‌شود باید در کل معین یک پارامتر (آب زیرزمینی) و نه سه پارامتر باشد.

شناسایی عوامل زمین لغزش می‌تواند به وسیله روش‌های مختلف صورت گیرد. یکی از روش‌ها استفاده از تجربه یا قضاوت مهندسی است. در این روش فرد با استفاده از تجربه خود در زمینه عوامل زمین لغزش در مناطق مختلف مبادرت به تعیین عوامل می‌نماید. بدیهی است این روش کاملاً متکی بر قضاوت شخص بوده و از روش تعریف شده‌ای که دیگران نیز بتوانند طبق آن عمل کنند، پیروی نمی‌نماید. چنان‌چه روش قضاوت مهندسی توسط افراد مجرب انجام گیرد می‌تواند بهترین روش محسوب گردد. ولی نمی‌توان انتظار داشت نتایج پهنه‌بندی یک منطقه خاص توسط افراد مختلف نتایج یکسانی در بر داشته باشد.



روش دوم برای تعیین لایه‌های اطلاعاتی روش بینا است. در این روش با استفاده از نقشه پراکنش زمین‌لغزش و مقایسه آن با نقشه عواملی که گمان می‌رود در ایجاد زمین‌لغزش سهیم بوده‌اند، نقش آن‌ها تعیین می‌گردد. این روش بیش‌تر در مقیاس‌های متوسط و برای مناطقی که نقشه فهرست زمین‌لغزش‌های آن‌ها موجود باشد استفاده می‌گردد. بدیهی است روش مذکور معمولاً در مقیاس‌های منطقه‌ای و یا کوچک به دلیل مشکل بودن تهیه نقشه فهرست به کار نمی‌رود. همچنین به دلایلی که پیش‌تر توضیح داده شد، برای مقیاس ۱:۲۵.۰۰۰ نیز این روش ممکن است با مشکل روبرو شود.

با توجه به موارد فوق، لایه‌های اطلاعاتی زیر به عنوان عوامل موثر قابل کاربرد در مقیاس ۱:۲۵.۰۰۰ قابل پیشنهاد است:

- نوع مصالح (شامل وجود زمین‌لغزش‌های قبلی، لیتولوژی، نوع مواد (خاک یا سنگ)، عمق خاک)،
- پارامترهای ژئومورفولوژیکی (شامل شیب، جهت شیب، انحنای شیب، طول شیب، ارتفاع شیب)،
- پارامترهای ساختاری شامل (درزه‌ها، تاقدیس، گسل)،
- پارامترهای رطوبتی (شامل رطوبت خاک، بارندگی سالانه، کاربری اراضی)،
- پارامترهای محرک (شامل شدت بارندگی، زلزله، جاده و رودخانه)

– نقشه زمین‌لغزش‌های موجود

گرچه به نظر می‌رسد هنگامی که دامنه‌ای حرکت می‌کند شیب آن کم شده و از یک حالت غیرمتعادل به حالتی پایدارتر تغییر حالت داده و در نتیجه نسبت به مناطق هم‌جوار خود پایدارتر می‌گردد. اما در عمل آمادگی بیش‌تری برای رویداد دوباره زمین‌لغزش دارند. این امر به دو علت اتفاق می‌افتد:

مواد توده لغزشی دچار به هم ریختگی داخلی شده و ضریب اصطکاک داخلی و چسبندگی آن افت می‌کند. ممکن است این مواد در شرایط عادی به علت شیب کم حرکت نکنند اما دست‌خوردگی آن‌ها به وسیله هر گونه عامل محرک مثل زیرشویی به وسیله رودخانه، ایجاد جاده، گسترش مناطق مسکونی، بارندگی و زلزله می‌تواند براحتی باعث ایجاد لغزش‌های کوچک‌تر در بدنه لغزش قدیمی گردند. در این حالت معمولاً زمین‌لغزش‌های بعدی کوچک‌تر از زمین‌لغزش اولیه است.

رویداد زمین‌لغزش به علت از بین بردن تکیه‌گاه شیب‌های بالادست می‌تواند شرایط را برای رویداد زمین‌لغزش‌های بزرگ‌تر در دامنه‌ای مذکور را فراهم آورد. در این حالت معمولاً لغزش‌های بعدی بزرگ‌تر از زمین‌لغزش اولیه است. به دلایل فوق، محل زمین‌لغزش‌ها همواره جزو مناطق با حساسیت زیاد رویداد دوباره زمین‌لغزش محسوب می‌شود. در این دستورالعمل نیز نقشه فهرست زمین‌لغزش که نشان‌دهنده محدوده مواد حرکت کرده می‌باشد در انتهای آنالیز بر روی نقشه نهایی انداخته شده و محل زمین‌لغزش‌ها به عنوان محلهایی با پتانسیل بالای زمین‌لغزش‌ها تعیین می‌گردند.



- مقاومت زمین

یکی از عوامل ذاتی که در زمین لغزش نقش مهمی ایفا می نماید، جنس مصالح درگیر در حرکت می باشد که در مطالعات مختلف به اشکال متفاوتی مورد استفاده قرار گرفته است. در برخی مطالعات (مانند آنبالاگان، ۱۹۹۲) مقاومت واحدهای لیتولوژیکی در برابر فرسایش و میزان هوازگی آنها مد نظر قرار گرفته است. چانگ (۱۹۹۲)، حائری و سمیعی (۱۳۷۶)، و هانکاس و همکاران (۲۰۰۲) نیز با توجه به درجه مقاومت مهندسی و نوع سنگ شناسی به این پارامتر وزن داده اند. واحدهای زمین شناسی از یک سنگ خاص و یا تناوب لایه های سنگی تشکیل می شود. به طور مثال وقتی از واحد زمین شناسی شمشک (به عنوان یک سازند) بحث می شود، منظور تناوب لایه های ماسه سنگ و شیل است که دارای تداخل هایی از مارن، زغال، سیلت استون و کنگلومرا می باشد.

در بعضی موارد سازندهای زمین شناسی را می توان به بخش های متفاوتی تقسیم نمود. مثلا سازند میلاد البرز به پنج بخش و در ایران مرکزی به سه بخش تقسیم می شود. چنین تقسیم بندی هایی در مورد سازندهای شمشک، قم، آغا جاری، الیکا، قرمز فوقانی، گچساران، سلطانیه و ... نیز انجام گرفته است. در بعضی موارد نیز لایه کلیدی که تمیز دهنده دو سازند یا واحد از یکدیگر می باشد در منطقه مشاهده نمی گردد که در این حالت واحدهای مورد نظر به صورت تلفیقی یا گروهی در نظر گرفته می شوند. در این دستورالعمل طبقه بندی هانکاس و همکاران (۲۰۰۲) مبنا قرار گرفته شده و با توجه به لیتولوژی های ایران (برگرفته از حائری و سمیعی، ۱۳۷۶) جدول (۴-۲)، برای طبقه بندی این پارامتر آورده شده است. مقاومت واحدهای لیتولوژیکی به عنوان شاخصی از شرایط زمین و مشخصات مواد، مانند مقاومت برشی و درزه های سنگ می باشد که مقادیر پایین تر نشان دهنده شرایط زمین ضعیف تر می باشد.

- ضخامت خاک

در حالتی که جنس موارد از نوع خاک باشد، عمق لایه خاک تاثیر زیادی در نوع زمین لغزش ایجاد شده (کم عمق یا عمیق) خواهد داشت. بر همین اساس برخی از محققین (مانند مایلز و کیفر، ۲۰۰۷)، عمق (ضخامت) خاک را به عنوان یکی از پارامترها در نظر گرفته اند. ضخامت خاک مخصوصا زمانی که لازم است حساسیت شیب به زمین لغزش های عمیق مانند slump بررسی شود، در نظر گرفته می شود.

- شیب

به لحاظ تئوری، همواره با افزایش شیب دامنه تنش برشی افزایش می یابد و به تبع آن انتظار می رود پتانسیل ناپایداری شیب افزایش یابد. در شکل (۴-۴) دیاگرام آزاد بلوکی واقع بر روی یک سطح شیب دار با زاویه معین نمایش داده شده است. به طوری که دیده می شود نیروی وزن (W) به دو مولفه نیروی برشی (T) و نرمال (N) تجزیه شده است.

$$N = W \cos(\alpha) \quad (1-4)$$

$$T = W \sin(\alpha) \quad (2-4)$$

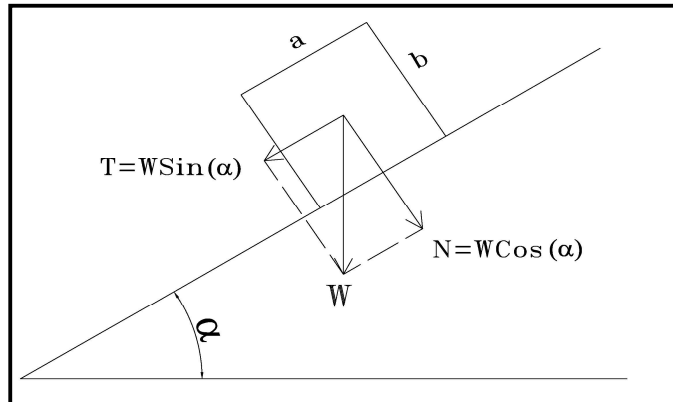


نیروی برشی به عنوان نیروی محرک و نیروی عمود بر سطح شیب‌دار (نیروی نرمال) در جهت کمک به پایداری جسم بر روی سطح شیب‌دار عمل می‌کند. با افزایش شیب دامنه مولفه برشی افزایش و مولفه نرمال کاهش می‌یابد و به تبع آن جسم به سمت ناپایداری سوق داده شده و در مرحله‌ای که نیروی برشی از نیروی مقاوم بیش‌تر می‌گردد، لغزش رخ می‌دهد. نتایج فوق با بررسی شیب دامنه‌هایی که لغزش در آن‌ها رخ داده است (بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌ها) نیز قابل اثبات است. آنچه که در نتایج این بررسی‌ها قابل تامل است، کاهش زمین‌لغزش‌ها از میزان شیئی خاص به بالا است. مصالح منفصل و واریزه‌ها (از نظر تقسیمات مهندسی خاک‌ها) معمولاً در شیب‌های بالاتر از ۴۵ درجه وجود ندارند. به عبارتی دیگر در شیب‌های بالا نوع مصالح بیش‌تر از جنس سنگ هستند. بنابراین پایداری دامنه نسبت به دامنه‌های با شیب متوسط که از مصالح سست تشکیل شده‌اند بیش‌تر است. در عین حال دامنه‌های پرشیب و سنگی بر اساس تراکم و جهت دسته درزه‌ها، تمایل بیش‌تری به ایجاد ریزش دارند. این امر سبب می‌شود که چنانچه مجموعه لغزش‌ها و ریزش‌ها با هم تحت عنوان زمین‌لغزش مورد بررسی قرار گیرند، تعداد زمین‌لغزش‌ها در این شیب‌ها نیز نسبت به شیب‌های ملایم‌تر، بیش‌تر باشد.

جدول ۴-۲- طبقه‌بندی زمین با ادغام اطلاعات (Hancox et al. 2002) و حائری و سمیعی (۱۳۷۶)

کلاس ۱:	
(a)	سنگ بستر: سنگ‌های سخت (آهک، دولومیت، گرانیت، مرمر، کنگلومرا و ماسه سنگ‌های سخت)، نسبتاً توده‌ای (بدون لایه‌بندی)، همراه با درزه‌های نزدیک یا دور از هم، گری واک‌ها و گرانیت‌های سخت، تازه تا هوازده، می‌تواند همراه با ضخامت کمی (کم‌تر از ۱ تا ۲ متر) کوهرفت‌های سطحی باشد، همچنین رسوبات رودخانه‌های سخت (گراول) که تراس‌های بلند را تشکیل می‌دهند (نه کناره‌های تراس‌ها) این کلاس می‌تواند به عنوان مقیاسی برای مقایسه با دیگر کلاس‌ها به کار می‌رود.
(b)	ترانشه‌های حفر شده در سنگ بستر و مواد مهندسی روی زمین سخت حساسیت به لغزش: کم - خیلی کم
کلاس ۲:	
	سنگ بستر: خوب لایه‌بندی شده کمی تا متوسط هوازده، سنگ آهک مارنی و ماسه سنگ‌ها و گل سنگ‌های نازک لایه با سیمان ضعیف یا متوسط، بازالیت و آندزیت و سنگ‌های آذرین با درزه‌های هوازده، توف، شیست و سنگ‌های دگرگونی درزه دار و لایه‌بندی شده، همراه با بدون واریزه و رسوبات سطحی. همچنین خاک‌های سخت حساسیت به لغزش: متوسط تا بالا
کلاس ۳:	
	سنگ بستر: توف آندزیتی، توف آهکی هوازده، شیل آهکی، تناوب شیل و ماسه سنگ، شیل، مارن ذغال‌دار. همچنین حاشیه‌های گراولی و کناره‌های تراس‌ها، رسوبات (Scree)، و ترانشه‌های ایجاد شده در رسوبات غیرمتراکم حساسیت به لغزش: بالا - خیلی بالا
کلاس ۴:	
(a)	شیل و مارن هوازده، ماسه سنگ توفی هوازده و تکتونیزه، ذغال، همچنین رسوبات کواترنری با سیمان ضعیف (لس، پومیس)
(b)	ترانشه‌ها تقویت نشده بلند (بیش‌تر از ۳ تا ۶ متر) و خیلی پر شیب (بیش‌تر از ۶۰ درجه) که در سنگ‌های سخت یا نرم حفر شده مخصوصاً ترانشه‌هایی که با ۱-۳ متر خاک یا واریزه پوشیده شده است و برای پایداری در هنگام زلزله طراحی نشده است حساسیت به لغزش: بالا - خیلی بالا
کلاس ۵:	
	لس‌ها، آبرفت‌های جوان و غیرمتراکم و ریزدانه، خاک‌های برجا، رسوبات دریاچه‌ای و دریایی (ماسه و سیلت ریز) کوهرفت‌ها و دیگر رسوبات نرم، پرشدگی‌ها و خاک‌های دستی غیرمهندسی بر روی مناطق مسطح، شیب‌های کم و مناطق کم ارتفاع (کم‌تر از ۱۰ درجه) حساسیت به لغزش بالا خیلی بالا





شکل ۴-۴- دیاگرام آزاد یک جسم بر روی سطح شیبدار با نیروهای وارد بر آن

شیب در اکثر مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل در نظر گرفته شده است. آنبالاگان (۱۹۹۲)، کومار و شاینا (۱۹۹۸)، آنبالاگان و همکاران (۱۹۹۲)، داکال و همکاران (۲۰۰۰)، تورینی و همکاران (۱۹۹۴)، و فرج‌زاده و منتظر قائم (۱۳۷۵) در مطالعات خود از رده‌بندی شیب به صورت $15 <$ ، $15-25$ ، $25-35$ ، $35-45$ و $45 >$ استفاده نمودند. برخی دیگر از طبقه‌بندی‌های انجام شده توسط سایر محققین در جدول (۴-۳) آمده است.

جدول ۴-۳- گروه‌بندی‌های شیب در مطالعات مختلف پهنه‌بندی

رده های شیب						نام محققین
>55	۳۶-۵۵	۲۶-۳۵	۱۶-۲۵	۶-۱۵	$5 <$	سشاگیری و همکاران (۱۹۸۲)
		>25	۱۵-۲۵	۵-۱۵	$5 <$	چاکون و همکاران (۱۹۹۴)
		>45	۲۵-۴۵	۵-۲۵	$5 <$	مهدوی‌فر (۲۰۰۰)
	>60	۳۰-۶۰	۱۲-۳۰	۵-۱۲	$5 <$	آینیو و همکاران (۲۰۰۵)

- جهت (وجه) شیب

جهت شیب از جمله عوامل ذاتی است که به طور غیرمستقیم منعکس‌کننده تاثیر لایه‌هایی مانند ضخامت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت و ... می‌باشد. بنابراین استفاده از این لایه، می‌تواند تا حد زیادی در پهنه‌بندی متمر ثمر واقع گردد. مطالعات مختلفی در ارتباط با چگونگی تاثیر جهت شیب در زمین‌لغزش انجام گرفته است که در زیر به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد:

براساس مطالعات لان^۱ و همکاران (۲۰۰۴) در حوزه آبخیز ژیاوجیانگ^۲ کشور چین، فراوانی زمین‌لغزش توسط جهت شیب کنترل می‌شود. در این مطالعه، ثابت شده است، دامنه‌های رو به سایه شامل دامنه‌های شمال غربی و شمالی، دارای

1- Lan
2- Xiaojiang Watershed



بیش‌ترین درصد سطحی زمین‌لغزش می‌باشند. این دامنه‌ها دارای دمای خاک پایین، رطوبت خاک بالا، پوشش ضخیم خاک در جا و کوهرفتی، پوشش گیاهی انبوه و فرسایش ورقه‌ای کم‌تر هستند. در این مطالعه دامنه‌های رو به خورشید مثل دامنه‌های جنوبی نیز دارای درصد بالایی از زمین‌لغزش می‌باشند که محقق، علت آن را با زیرشویی قوی رودخانه مرتبط دانسته است.

گوپتا و همکاران (۱۹۹۰) در منطقه هیمالایا نشان دادند که حرکات دامنه‌ای در جهتی عمود بر محور چین‌ها دارای گسترش بیش‌تری نسبت به سایر جهات هستند. در منطقه مورد مطالعه امتداد محور چین‌ها دارای راستای NW-SE تا NNW-SSE می‌باشند و گسترش حرکات دامنه‌ای به صورت (جدول ۴-۴) است. مطالعات چاکون و همکاران (۱۹۹۴) نیز نشان می‌دهد که جهات شیب به سمت شمال به دلیل رطوبت بالاتر، دارای استعداد بیش‌تری نسبت به سایر جهات دامنه‌ها، به حرکات دامنه‌ای می‌باشند.

جدول ۴-۴- وضعیت گسترش حرکات دامنه‌ای در جهات مختلف شیب در منطقه هیمالایا

جهت دامنه	SE	E	S	N	NW	W	SW	NE
درصد زمین‌لغزش	۶/۷	۸/۴	۸/۵	۱۱/۲	۱۲	۱۵	۱۹/۱	۱۹/۲

مطالعات انجام شده در منطقه طالقان توسط احمدی (۱۳۷۴)، موید این است که در دامنه‌های متشکل از مارن حوزه آبخیز طالقان که رو به شمال هستند، به خاطر برخورداری از رطوبت بیش‌تر، تعداد حرکت‌های توده‌ای بیش‌تر بوده و پس از آن دامنه‌های رو به غرب و شرق دارای زمین‌لغزش‌های بیش‌تری هستند. دامنه‌های رو به جنوب در این حوزه به دلیل حداکثر جذب انرژی و حداقل آب باقیمانده در خاک کم‌ترین تعداد حرکت توده‌ای را در بر گرفته‌اند. جعفری و همکاران (۱۳۷۸)، در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استان لرستان و سفیدگری (۱۳۸۱)، در پهنه‌بندی حوزه آبخیز دماوند نیز به نتایج تقریباً مشابهی در زمینه استعداد بیش‌تر دامنه‌های شمالی در ایجاد زمین‌لغزش دست یافته‌اند. تنها یک مطالعه (شریفی و همکاران، ۱۳۸۲)، نتیجه متناقضی را در این ارتباط به دست آورده است که علت آن غربی - شرقی بودن بیش‌تر زهکش‌های منطقه و تاثیر آن در زیر شویی و افزایش غیر منتظره تعداد زمین‌لغزش‌ها در دامنه‌های جنوبی بوده است.

با توجه به موارد فوق، جهت شیب را می‌توان یکی از لایه‌های مهم و تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به شمار آورد. این لایه به طور غیرمستقیم منعکس‌کننده نقش رطوبت، پوشش گیاهی و ... در رویداد زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. در دامنه‌های رو به آفتاب (جنوبی) به دلیل مدت زمان بیش‌تر تابش نور خورشید برف زودتر ذوب می‌گردد و میزان تبخیر نیز بیش‌تر است. برعکس دامنه‌های شمالی مدت زمان بیش‌تری پوشیده از برف می‌باشند و تبخیر در آن‌ها کم‌تر و به تبع آن دارای رطوبت بیش‌تری نسبت به دامنه‌های جنوبی می‌باشند.

به طور کلی چنانچه در نظر باشد جهات مختلف شیب را بر اساس تعداد لغزش‌های رخ داده در آن‌ها طبقه‌بندی شود، بیش‌ترین درصد رویداد زمین‌لغزش در شیب‌های شمالی خواهد بود. شیب‌های شمال غربی با تاثیر بیش‌تر و شیب‌های شمال شرقی با تاثیر کم‌تر را نیز می‌توان در رخداد زمین‌لغزش سهیم دانست. بعد از این گروه، شیب‌های غربی

تعداد بیش‌تری لغزش را در خود دارند. شیب‌های شرقی و جنوبی به علت دریافت تابش آفتاب در مدت زمان بیش‌تر، خشک‌تر بوده و پتانسیل کم‌تری را جهت رویداد لغزش دارند.

در این دستورالعمل عامل وجه شیب به صورت مستقیم در نظر گرفته نشده و به عنوان یکی از شواهد رطوبت دامنه به کار رفته است.

- انحنای دامنه

دانش زیادی در مورد ارتباط انحنای شیب زمین و خطر زمین لغزش در دسترس نیست. مطالعات (Liao et al. 2002) نشان داد، متغیری که آن‌ها به عنوان «انحنای شیب» معرفی کردند، ارتباط بسیار موثر با رویداد زمین لغزش‌های ناشی از زلزله چی چی تایوان در سال ۱۹۹۹ داشته است. زمین لغزش‌های اتفاق افتاده در این رویداد اغلب از نوع ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته بودند. انحنای شیب را می‌توان به صورت مشتق دوم ارتفاع در جهت پایین شیب، بر حسب درجه تعریف نمود. در این حالت ناهمواری شیب بدون توجه به مقعر یا محدب بودن آن در نظر گرفته می‌شود برخی محققین نیز به علت این که شیب‌ها مقعر بهتر می‌توانند آب را در خود جمع کنند، این گروه را از شیب‌های محدب جدا کرده و وزن بیش‌تری برای آن‌ها تخصیص داده‌اند.

- ارتفاع شیب

ارتفاع شیب به عنوان شرط لازم برای رویداد برخی از انواع لغزش‌ها در برخی تحقیقات وارد شده است. به عنوان مثال کیفر (۱۹۸۴)، تصریح کرده است که برای بروز بهمن سنگی ارتفاع شیب محلی باید بزرگ‌تر یا مساوی ۱۵° متر باشد. بر اساس همین نتیجه مایلز و کیفر (۲۰۰۷) این پارامتر را به عنوان یکی از پارامترهای برای تعیین پتانسیل بهمن‌های سنگی وارده کرده‌اند.

- ناپیوستگی‌های ساختاری

یکی از عوامل ذاتی زمین لغزش، ساختارهای زمین‌شناسی موجود در منطقه می‌باشد. ناپیوستگی‌هایی چون سطوح لایه‌بندی، شیستوزیته، محور چین‌ها، درزه و شکستگی‌ها، گسل‌ها و پهنه‌های خرد شده در زمین لغزش‌ها نقش مهمی ایفا می‌کنند.

در این دستورالعمل ناپیوستگی‌ها به صورت کلی به عنوان عاملی در جهت تضعیف مقاومت توده سنگ در نظر گرفته شده و تاثیر آن به صورت ویرایش وزن مقاومت توده سنگ می‌باشد.

- رطوبت خاک

وجود آب در دامنه نقش مهمی در ایجاد زمین لغزش دارد. به همین دلیل برای کنترل بسیاری از زمین لغزش‌ها خارج کردن آب از توده و یا جلوگیری از ورود آب، جزو بدیهی‌ترین اقدامات محسوب می‌گردد. با این وجود به دست آوردن



عمق سطح آب زیرزمینی (یا بخشی از توده اشباع که در بالای سطح لغزش قرار دارد) نیاز به حفر چاه‌های پیزومتریک دارد، که انجام آن برای پهنه‌بندی در مقیاس ۱:۲۵.۰۰۰ که طی آن لازم است پایداری صدها دامنه محاسبه شود، کاری غیراقتصادی محسوب می‌شود. از این رو عملاً با وجود اهمیت این پارامتر به دست آوردن دقیق آن عملاً در این مقیاس غیرممکن است. به همین دلیل برای تخمین این عامل از پارامترهایی استفاده می‌شود که به طور غیرمستقیم می‌توانند نشانه‌هایی از سطح آب زیرزمینی ارائه دهند. از جمله این پارامترها می‌توان به رطوبت خاک و بارندگی سالانه اشاره نمود. رطوبت بالای خاک می‌تواند نشان دهنده بالا بودن سطح آب زیرزمینی باشد.

گرچه تعیین دقیق سطح آب زیرزمینی در مقیاس متوسط کاری دشوار و غیرضروری است. ولی با استفاده از برخی شواهد می‌توان پی به وضعیت کلی آب زیرزمینی در دامنه‌های مورد نظر برد. در نقشه‌های توپوگرافی محل چشمه‌ها، نشتاب‌ها، باتلاق‌ها و محل‌های با تمرکز پوشش گیاهی مشخص گردیده است.

- متوسط بارندگی سالانه

میزان متوسط بارندگی سالانه می‌تواند برآوردی کلی از بالا بودن یا پایین بودن سطح آب زیرزمینی در دامنه ارائه دهد. چنانچه در بخش‌های مختلف یک منطقه (مخصوصاً مناطقی که دارای اختلاف ارتفاع زیاد هستند) میزان بارندگی تفاوت زیاد داشته باشد. به صورت کلی می‌توان نتیجه گرفت میزان رطوبت در دامنه‌هایی که باران زیادتری در طول سال دریافت می‌کنند بیش‌تر از سایر دامنه‌هاست.

در این دستورالعمل عامل متوسط بارندگی سالانه به صورت مستقیم در نظر گرفته نشده و به عنوان یکی از شواهد رطوبت دامنه به کار رفته است.

- کاربری اراضی

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استفاده می‌گردد، نقشه کاربری اراضی می‌باشد. منظور از کاربری نوع و نحوه استفاده از زمین در حال حاضر می‌باشد. انواع کاربری اراضی می‌تواند شامل: اراضی مرتعی، جنگلی، زراعی، باغ، برهنه و دیگر کاربری‌های نظیر مناطق مسکونی، تالاب‌ها و دریاچه‌ها و ... باشند.

انواع کاربری اراضی در رابطه با محافظت از شیب‌ها و پایداری و عدم پایداری عملکرد متفاوتی دارند. مطالعات مختلف در بسیاری از نقاط دنیا نشان می‌دهد، جنگل زدایی و تبدیل این مناطق به مراتع، باغات و مزارع باعث رویداد زمین‌لغزش‌های زیادی گردیده است. به عنوان مثال کمپل و راپ () نشان داده‌اند که در ارتفاعات غرب اولوکورو واقع در تانزانیا، کم‌تر از یک درصد زمین‌لغزش‌ها در زمین‌های جنگلی، ۴۷ درصد در زمین‌های زراعی و ۴۷ درصد در زمین‌های آیش رخ داده است.

اهمیت لایه کاربری در بسیاری از مطالعات پهنه‌بندی در ایران مد نظر قرار گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات سعدالدین (۱۳۷۶)، در حوزه آبخیز چاشم و خطیر کوه در استان سمنان، مهدوی‌فر (۱۳۷۶)، در



حوزه آبخیز خورش رستم در استان اردبیل و نیکاندیش (۱۳۷۴)، در حوزه کارون میانی در استان چهارمحال و بختیاری، اشاره نمود.

در سایر نقاط دنیا نیز از لایه کاربری برای پهنه‌بندی استفاده شده است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات انجام شده توسط جاگاناتاراو و کیشور کومار (۱۹۹۲)، در هیمالیا اشاره نمود. در این مطالعه نقشه کاربری با کلاس‌های جنگل، مرتع، و مراتع مشجر تهیه و در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین به کار گرفته شده است.

کاوآنگ چی و همکاران (۲۰۰۲)، در منطقه بوئین کره نیز نقشه کاربری مناطق جنگلی را با توجه به نوع جنگل، سن جنگل، تراکم جنگل و قطر جنگل تهیه و در نقشه پهنه‌بندی خطر زمین استفاده نمودند.

با توجه به موارد فوق، لایه اطلاعاتی کاربری اراضی به عنوان یک لایه اطلاعاتی مهم می‌تواند در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد.

خوشبختانه نقشه کاربری به صورت رقومی برای کل کشور در سال ۱۳۸۴ در قالب طرح سیمای آبخیز کشور توسط معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور با استفاده از تصاویر ETM2002 تهیه گردیده است. در جدول (۴-۵) گروه‌های مختلف کاربری اراضی اشاره شده در این نقشه آمده است.

جدول ۴-۵- طبقه‌بندی کاربری اراضی بر اساس معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور (۱۳۸۵)

ردیف	نوع کاربری اراضی	ردیف	نوع کاربری اراضی
۱	جنگل‌های متراکم	۷	زراعت آبی
۲	جنگل‌های نیمه متراکم	۸	باغ
۳	جنگل‌های کم متراکم	۹	زراعت دیم و آیش
۴	مراتع متراکم	۱۰	تاسیسات مسکونی
۵	مراتع نیمه متراکم	۱۱	اراضی بایر و کویر و بیابانی
۶	مراتع کم تراکم	۱۲	تالاب‌ها و دریاچه‌ها

با توجه به نقش و عملکرد انواع کاربری اراضی در ایجاد زمین لغزش، می‌توان موارد زیر را به عنوان برخی از تاثیرات

کاربری اراضی در ایجاد زمین لغزش بیان نمود:

جنگل‌ها به دلیل سامانه ریشه‌ای قوی و عمیقی که دارا می‌باشند خاک را مسلح نموده و با توجه به تبخیر و تعرقی

که انجام می‌دهند، سبب کنترل آب ورودی به توده و افزایش ضریب اطمینان دامنه‌ها می‌گردند.

مراتع به دلیل دارا بودن ریشه‌های سطحی نقش کم‌تری در پایداری دامنه‌ها نسبت به جنگل‌ها دارند.

زراعت آبی و باغات به دلیل عمل آبیاری و نفوذ آب به داخل دامنه باعث بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و کاهش

ضریب اطمینان دامنه‌ها می‌گردند.

زراعت دیم و آیش، اراضی بایر، کویر و بیابانی تاثیر کم‌تری از نظر رخداد زمین لغزش دارند.

در این دستورالعمل از زیر گروه‌های عامل کاربری، تراکم پوشش گیاهی در نظر گرفته شده است.



- شدت بارندگی

میزان و مدت زمان بارش با شدت بارندگی در یک حوضه معرفی می‌شود و پارامتر حداکثر بارش ۲۴ ساعته برآوردی از شدت بارندگی را نشان می‌دهد. نامنظم بودن توزیع مکانی بارش در ایران سبب گردیده است که متوسط بارش سالانه به تنهایی تاثیر پارامتر بارش در رخداد حوادث طبیعی، همچون سیل و زمین‌لغزش را نشان ندهد. به همین دلیل به همراه این پارامتر از حداکثر بارش ۲۴ ساعته (بالاترین بارش روزانه) استفاده می‌گردد. طبق مطالعات لامب (۱۹۷۵)، در هنگ کنگ حوادث بسیار مخرب زمین‌لغزش در بارش تجمعی ۴۸ ساعته با میزان ۱۴۰ میلی‌متر؛ حوادث مخرب با میزان ۸۰ میلی‌متر و حوادث کوچک با میزان ۴۰ میلی‌متر آغاز می‌گردند.

کمپل (۱۹۷۵) در مطالعه جریان‌های واریزه‌ای کالیفرنیا جنوبی، بارش بیش از ۲۵۴ میلی‌متر و شدت بارندگی ۶.۳۵ میلی‌متر در ساعت را به عنوان حداقل میزان بارشی خارج از توان زهکشی خاک زیرین و مسبب بروز زمین‌لغزش‌های خاکی دانسته است. تحقیق سورزانا (۱۹۸۰)، در شمال غربی ایتالیا بر آستانه‌های ترکیبی همچون بارش تجمعی ۳۰ روز و حداقل ۴ روز قبل از فعال شدن لغزش‌ها، شدت بارش ۲۴ ساعته و ۴۸ ساعته، شاخص بارش پیشین، بارش فعلی و ماهانه، تبخیر و تعرق تاکید دارد.

اویشاچر و کلاگو (۱۹۸۴)، عامل اصلی لغزش‌های خاکی، بهمن واریزه‌ای و لغزش‌های چرخشی را بارش‌های منطقه ۲۰۰-۱۵۰ میلی‌متر در ۲۴ ساعت و باران‌های محلی ۱۰ تا ۳۰ میلی‌متر در ساعت دانستند. زهانگ نیانکسو و دیگران (۱۹۹۱) شدت ۱۲۵ میلی‌متر در روز را به عنوان بارش ایجادکننده زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفته‌اند.

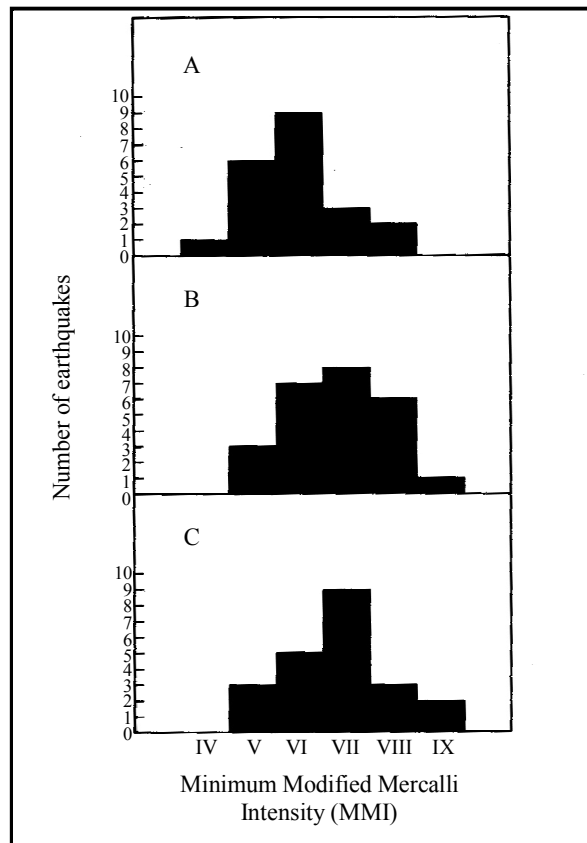
حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سواحل شمالی و جنوبی ایران اتفاق می‌افتد که نزدیکی به منبع رطوبتی یکی از عوامل اصلی آن محسوب می‌شود. در سواحل شمالی میزان بارش ۲۴ ساعته با متوسط بارش سالانه هم‌سویی بیش‌تری دارد ولی در سواحل جنوبی این هم‌سویی به حداقل خود می‌رسد و مبین آن است که در بیش‌تر اوقات سواحل جنوبی بارش ندارند. ولی هر موقع عامل صعوددهنده هوا در منطقه مهیا گردد، باران‌های شدیدی رخ خواهد داد. (شکل ۴-۵) مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته مشاهده شده در یک دوره اقلیمی سی ساله را نشان می‌دهد.

از آنجایی که در این دستورالعمل نحوه تهیه نقشه حساسیت زمین لغزش ارائه شده است، شدت بارندگی در این نقشه وارد نشده است. برای تهیه نقشه خطر نیز نقشه‌های خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله ارائه شده است. چنان‌چه در نظر باشد نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش‌های ناشی از بارندگی تهیه گردد، از الگوی ارائه شده در این گزارش برای تهیه نقشه پهنه‌بندی ناشی از زلزله استفاده نموده و به جای پارامتر زلزله، پارامتر شدت بارندگی به نحوی مناسب به کار می‌رود.



در بسیاری از نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زلزله، به جای منحنی‌های هم‌شتاب از محدوده‌های هم‌خطر استفاده شده است. در این نقشه‌ها شتاب معادل درجات خطر در راهنمای نقشه قید گردیده است. به عنوان مثال در نقشه تهیه شده توسط برنامه جهانی ارزیابی خطر زلزله^۱ (GSHAP)، محدوده خطرات مختلف زلزله به چهار دسته خیلی پایین، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد تقسیم گردیده است.

ارتفاع ستون‌ها، نمایانگر تعداد زلزله‌هایی است که رویداد زمین‌لغزش از شدت‌های مربوطه شروع شده است. حداقل شدت‌ها با مقایسه نقشه‌های پراکنش زمین‌لغزش‌ها با نقشه‌های هم‌شدت تعیین شده است. A: شدت حداقل برای لغزش‌های گسسته و ریزش‌ها، B: شدت حداقل برای لغزش‌های پیوسته، C: شدت حداقل برای گسترش‌های جانبی و جریان‌ها. (کیفر، ۱۹۸۴).



شکل ۴-۶- حداقل شدت مرکالی اصلاح شده‌ی زلزله‌های مطالعه شده توسط کیفر (۴۰ زلزله از کل دنیا) که در اثر آن‌ها زمین‌لغزش رخ داده است.

1- Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)



- جاده

عوارض خطی مانند راه و رودخانه عمدتاً با تضعیف نیروی مقاومتی دامنه‌ها باعث کاهش ضریب اطمینان در شیب‌های طبیعی گردیده و در نتیجه پتانسیل ناپایداری را افزایش می‌دهند. احداث راه در مناطق کوهستانی معمولاً از شرایط ریخت شناسی و توپوگرافی منطقه تبعیت می‌نماید. مناسب‌ترین مسیرهای پیش‌بینی شده برای راهسازی غالباً در خط القعر و در امتداد رودخانه در نظر گرفته می‌شود. در این مسیرها معمولاً جاده در ترازوی حدود چند متر بالاتر از رودخانه ساخته می‌شود. در فواصلی در طول مسیر مشخص شده برای احداث جاده، عملیات کوهبری، ایجاد ترانشه، تونل و پل غیر قابل اجتناب است. در این مناطق عامل نگهدارنده از پای دامنه‌ها برداشته شده و در نتیجه وضعیت تعادلی موجود در شیب‌های مشرف به جاده برهم خورده و زمینه رخداد انواع حرکات دامنه‌ای افزایش می‌یابد. در طول فواصلی از راه‌های درجه یک کوهستانی، برای تثبیت دامنه‌ها، پس از ترانشه‌زنی و کوهبری اقدام به احداث دیوار حایل می‌گردد که این امر مستلزم هزینه زیادی است. با احداث دیواره‌های نگهبان، گابیون، زهکش‌ها و ...، پتانسیل ناپایداری در بسیاری موارد کاهش یافته ولی در بعضی موارد به دلیل طرح و اجرای نادرست و یا عدم پیش‌بینی موارد پیشگیری، ناپایداری تشدید می‌گردد (حائری و سمیعی ۱۳۷۶).

در محورهای درجه ۲ و ۳ که معمولاً راه ارتباطی بین شهرهای کوچک و روستاها بوده و از اهمیت کمتری برخوردارند، پس از حفر ترانشه و کوهبری، به دلیل هزینه سنگین، بندرت اقدام به احداث دیوار حائل یا به کارگیری دیگر روش‌ها جهت پایدار نمودن شیب‌ها می‌شود (حائری و سمیعی ۱۳۷۶). بدین جهت غالباً در این محورها شاهد رویداد انواع زمین لغزش‌ها می‌باشیم.

موارد فوق و همچنین تجربیات و آمار موجود در رابطه با رویداد زمین لغزش در هنگام نوسازی و تعریض جاده‌ها در سال‌های اخیر، نشان دهنده لزوم به کارگیری و استفاده از این فاکتور در مطالعات پهنه‌بندی خطر زمین لغزش می‌باشد. باید در نظر داشت که نحوه و چگونگی استفاده از این فاکتور با توجه به مقیاس نقشه مورد نظر و مدل به کار گرفته شده متفاوت خواهد بود.

- رودخانه

آب‌های جاری نیز یکی از عوامل افزایش استعداد ناپایداری در دامنه‌ها به شمار می‌روند. بر اثر جریان آب رودخانه‌ها، حفر و فرسایش در دره‌ها صورت می‌پذیرد که اولاً باعث شسته شدن مصالح پای شیب‌ها در دو سوی رودخانه شده و ثانیاً موجب افزایش زاویه شیب دامنه‌ها گشته و عامل نگهدارنده را از پای دامنه‌ها حذف می‌نماید. رودخانه در مسیر خود دره‌هایی حفر می‌کند که معمولاً شکل آن به جنس زمین ارتباط دارد. میزان حفر بستر رودخانه به عوامل زیر بستگی دارد (حائری و سمیعی ۱۳۷۶):

- **دبی رودخانه:** با افزایش دبی قدرت تخریبی و فرسایش آن بیش‌تر می‌گردد.
- **شیب:** هرچه شیب بیش‌تر باشد توان فرسایشی رودخانه افزایش می‌یابد.



- نوع سنگ بستر: قدرت تخریب و حفر رودخانه در سنگ بستر نرم بیش‌تر از سنگ سخت است.
 - تکتونیک و ایزوستازی: برخاستگی هر پهنه باعث می‌شود که سطح اساس رودخانه نسبت به حالت تعادلی اولیه خود پایین‌تر رفته و حفر بیش‌تری صورت پذیرد.
- همچنین بر اثر وجود فشار متفاوت آب در دو طرف رودخانه، آب‌کند یا مئاندر ایجاد می‌شود. این فرآیند در قسمت کوژ مئاندر باعث حفر و فرسایش شده و عامل نگهدارنده را از پای شیب بر می‌دارد که در این حالت استعداد لغزش افزایش می‌یابد. رودخانه‌های اصلی با جریان پایه دائم، به دلیل داشتن توان و انرژی فراوان و دائمی، از قدرت بیش‌تری جهت تخریب دامنه‌ها و ایجاد رمین لغزش برخوردار بوده و به همین دلیل غالب زمین‌لغزش‌ها در کنار رودخانه‌ها اتفاق می‌افتند. به طور کلی رودخانه‌ها به دلیل شرایط مورفولوژیکی و شکل طبیعی، کانال‌های طبیعی هدایت آب می‌باشند. بدیهی است که هرچه میزان نفوذپذیری بالا باشد تراکم رودخانه کم‌تر بوده و برعکس، بالا بودن میزان تراکم رودخانه نشان دهنده میزان کم نفوذپذیری است.
- افزون بر مطالب ذکر شده در بالا، شواهد بسیار دیگری حاکی از نقش رودخانه‌ها در ایجاد زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. به همین دلیل در مطالعات مربوط به زمین‌لغزش‌ها در نظر گرفتن لایه رودخانه بسیار لازم و ضروری است.

با توجه به شباهت نوع عملکرد، در دستورالعمل تهیه شده در این پروژه هر دو عامل راه و رودخانه با همدیگر و تحت عنوان عامل به هم‌ریختگی مورد استفاده قرار گرفته‌اند

۴-۴-۴- روش آنالیز

روش آنالیز می‌تواند به انواع زیر تقسیم گردد:

۴-۴-۱- به نقشه در آوردن لغزش‌های موجود

در این روش با استفاده از محدوده لغزش‌های موجود، پایداری دامنه‌ها تخمین زده شده و احتمال ایجاد زمین‌لغزش در محدوده و یا نزدیکی زمین‌لغزش‌های قبلی، بالا در نظر گرفته می‌شود؛

۴-۴-۲- آنالیز شکل زمین

طی این روش مواد دامنه و تاثیر فرآیندها در سطح زمین تفسیر شده و منطقه به بخش‌هایی با درجات خطر متفاوت تقسیم می‌گردد؛ این روش بستگی به درجه تبحر و تجربه افراد داشته و با توجه به هدف یکسان‌سازی روش‌ها در این مطالعه قابل پیشنهاد نیست.



۴-۴-۳- روی هم قرار دادن عوامل (Factor Overlay)

با استفاده از این روش چند نقشه از عوامل شناخته شده برای قبول یا رد ناپایداری دامنه بر روی هم قرار داده می‌شوند که در نهایت منجر به تهیه نقشه خطر می‌گردد. به هر یک از موارد موجود در نقشه‌های عوامل، بر اساس نقش آن‌ها در ایجاد زمین لغزش وزن داده می‌شود؛ سپس مجموع وزن‌های موجود در هر واحد محاسبه و حاصل آن برای تخمین میزان خطر به کار برده می‌شود. این روش با توجه به در دسترس بودن سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) از روش‌های قبل دقیق‌تر و کاربردی‌تر خواهد بود.

۴-۴-۴- آنالیز مهندسی

در آنالیز دامنه، خواص فیزیکی شیب اندازه‌گیری شده و مقادیر به دست آمده در مدل‌های رفتار شیب مورد استفاده قرار می‌گیرند. این روش معمولاً در تحقیقات محلی برای ساختمان سازی و دیگر کارهای خاکی استفاده شده و برای پهنه‌بندی در مقیاس متوسط استفاده نمی‌گردد.

بررسی منابع جمع‌آوری شده نشان می‌دهد که اکثر مطالعات برای وزن‌دهی در مقیاس متوسط به نحوی از روش‌های بینا استفاده کرده‌اند. این در حالی است که استفاده از روش وزن‌دهی کور با استفاده از روش‌هایی ابزاری مانند مجموعه‌های فازی یا AHP برای مقیاس‌های بزرگ‌تر در سال‌های اخیر بیش‌تر توسعه یافته است.

واقعیت این است که به کار بردن روش روی هم قراردادن عوامل و وزن‌دهی بینا برای پهنه‌بندی در مقیاس متوسط برعکس مقیاس منطقه‌ای و ملی دقیق‌تر از روش کور بوده و نتایج بهتری را حاصل می‌کند. این امر به استخراج ساده‌تر نقشه فهرست زمین لغزش‌ها و پیاده نمودن محدوده بسیاری از زمین لغزش‌ها (با ابعاد کم‌تر از ۲۵۰ متر) در این مقیاس مربوط می‌شود. اما برای مقیاس‌های بزرگ‌تر استفاده از روش‌های بینا به علت محدودیت وجود زمین لغزش‌ها با مشکل روبرو می‌شود. هر نقشه استاندارد ۱:۵۰.۰۰۰ به چهار نقشه ۱:۲۵.۰۰۰ تقسیم می‌شود و همین امر موجب می‌گردد تعداد زمین لغزش‌های قابل استفاده در روش‌های بینا نیز به یک چهارم کاهش یابند. این امر با توجه به این که تعداد پارامترها و زیرگروه‌ها در این مقیاس خیلی با مقیاس ۱:۵۰.۰۰۰ تفاوت نمی‌کند می‌تواند نتایج حاصل از آنالیزهای بینا را با تردید مواجه کند. این مشکل مخصوصاً در اقلیم‌های خشک و مناطقی که تراکم زمین لغزش‌ها در آن‌ها کم‌تر است بیش‌تر خودنمایی می‌کند.

مجموع استدلال‌های فوق باعث تفکیک روش پیشنهادی در این پروژه برای مناطقی که دارای زمین لغزش‌های زیادی هستند و مناطقی که دارای تراکم زمین لغزش کم‌تری هستند می‌شود. در دستورالعمل پیشنهادی برای مناطقی که دارای زمین لغزش‌های زیادی هستند برای وزن‌دهی روش بینا و برای مناطق با تراکم کم‌تر زمین لغزش روش کور پیشنهاد شده است. روش پیشنهاد شده برای وزن‌دهی بینا، روش آنالیز دو مت... و برای وزن‌دهی کور تکنیک AHP می‌باشد.



۴-۵- روش محاسبه میزان حساسیت و خطر زمین‌لغزش

تا این مرحله، نقشه مورد نظر واحدبندی شده و نقشه‌های عوامل مختلف برای محاسبه میزان خطر در هریک از واحدها آماده گردیده است. همان‌گونه که در فصول قبل بیان شد در این مرحله ادامه کار می‌تواند به دو شکل انجام شود میزان خطر با استفاده از نقشه‌های عوامل مستقیماً محاسبه شود همانند مطالعات مایلز و کیفر (۲۰۱۰) در ابتدا نقشه امکان و حساسیت و بعد از آن نقشه خطر تهیه شود.

در این دستورالعمل با توجه به دقت بالاتر، روش دوم انتخاب شده است.

از طرفی دیگر برخی موارد را می‌توان در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ و بزرگ‌تر در نظر گرفت که در مقیاس‌های کوچک‌تر ممکن است امکان به کارگیری آن‌ها با مشکل روبرو شود. از جمله این موارد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- تهیه نقشه خطر برای انواع مختلف زمین‌لغزش

همان‌گونه که در بخش تعاریف عنوان شد واژه زمین‌لغزش طیف وسیعی از حرکات دامنه‌ای را از ریزش گرفته تا لغزش و جریان و بهمن در برمی‌گیرد. انواع زمین‌لغزش نه تنها در سازو کار رویداد، سرعت و جنس مصالح با یکدیگر متفاوتند بلکه گاهی عوامل آن‌ها نیز با یکدیگر کاملاً مختلفند.

در ریزش‌های سنگی عامل شیب و جهت یابی درزه‌ها موثرتر از عاملی مانند کاربری اراضی است. در بهمن‌های سنگی عامل ارتفاع نسبی نقشی اساسی ایفا می‌کند و در لغزش‌ها اغلب لیتولوژی و وجود آب در توده بسیار مؤثرند. تمام این موارد باعث می‌شوند که در مقیاس‌های بزرگ‌تر که تفکیک عوامل بهتر امکان‌پذیرتر است نسبت به تهیه نقشه زمین‌لغزش‌ها به تفکیک نوع اقدام شود.

- در نظر گرفتن منطقه تحت تاثیر زمین‌لغزش در نقشه پهنه‌بندی

وقتی زمین‌لغزش رخ می‌دهد، توده گسیخته شده از محل اولیه خود (Source) جابه‌جا شده و معمولاً تا مسافتی بر روی زمین دست نخورده حرکت می‌کند (Runout). پیش‌بینی محل منشاء زمین‌لغزش با استفاده از روش‌هایی انجام می‌گیرد که در فصول قبلی توضیح داده شده است. چنان‌چه عوامل ایجاد زمین‌لغزش در محدوده‌ای خاص مهیا شود زمین‌لغزش برویداد می‌پیوندد. با استفاده از نقشه عوامل می‌توان نسبت به پیش‌بینی محل ایجاد زمین‌لغزش‌ها اقدام نمود. اما میزان گسترش توده لغزیده در زمین دست نخورده به عواملی دیگر بستگی دارد. از جمله این عوامل می‌توان به نوع لغزش، ارتفاع نسبی توده لغزیده، حجم توده و توپوگرافی زمین دست نخورده اشاره نمود. معمولاً نسبت بردار جابه‌جایی حرکت توده لغزیده به طول توده اولیه در بهمن‌ها بسیار بیش‌تر از ریزش‌ها و در ریزش‌ها بیش‌تر از لغزش‌هاست. در نقشه‌های با مقیاس‌های کوچک و متوسط تفکیک این دو منطقه بسیار مشکل است. اما در نقشه‌هایی با مقیاس بزرگ‌تر می‌توان این مناطق را از یکدیگر تفکیک نمود.



در دستورالعمل پیشنهادی به کاربرانی که قصد دارند نقشه ریسک تهیه کنند پیشنهاد شده است محدوده گسترش زمین لغزش‌ها را به نقشه خطر اضافه نمایند. چگونگی افزودن این پارامتر در دستورالعمل ذکر شده است. برای کاربرانی که قصد دارند نقشه خطر منشاء را تهیه نمایند لزومی به انجام مرحله فوق نخواهد بود

شرط رویداد زمین لغزش وجود عواملی تعیین کننده برای رویداد است که چنانچه مهیا نشود رویداد زمین لغزش ممکن نخواهد بود. این شرایط برای انواع زمین لغزش متفاوت است. چنانچه شرایط مذکور بررسی شود، از ابتدای تحلیل می‌توان مناطقی را که رویداد زمین لغزش در آنها امکان پذیر نیست، از آنالیزهای بعدی حذف نمود. این کار در این مطالعه با پیشنهاد تهیه نقشه امکان برای هر نوع زمین لغزش ممکن گردیده است.

(جدول ۴-۶) عوامل و زیرگروه‌های در نظر گرفته شده در این پروژه را برای تهیه نقشه امکان رویداد انواع زمین لغزش نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود هفت عامل مختلف بدین منظور در نظر گرفته شده است. اگر یک متغیر شاخص، مشخص کند که نوع خاصی از زمین لغزش امکان پذیر نیست، نتیجه کلی این مرحله این خواهد شد که آن نوع زمین لغزش خاص غیرممکن است. توضیح چگونگی در نظر گرفتن این عوامل در زیر آمده است.

جدول ۴-۶- عوامل و زیرگروه‌های در نظر گرفته شده برای تهیه نقشه امکان رویداد انواع زمین لغزش
(عدد ۱- به معنای عدم وجود اطلاعات است)

نام لایه عامل	حداقل	حداکثر	زیرگروه‌ها	مقادیر
انحنای دامنه	۰	۴۰	صاف	۱۵-۰
			ناصاف	بیش از ۱۵
شدت زلزله	-۱	۱۲	فاقد اطلاعات	
			<V	
			V-VI	
			VI-VII	
			>VII	
ضخامت خاک	-۱	۱۰	فاقد اطلاعات	
			کم عمق	۴متر <
			عمیق	۴متر >
ارتفاع شیب	-۱	۳۰۰	فاقد اطلاعات	
			کم	۱۴۰متر <
			زیاد	۱۴۰متر >
نوع مواد	-	-	فاقد اطلاعات	
			سنگ	-
			خاک	-
رطوبت	۰	۱۰۰	خشک	>۵ درصد
			رطوبت متوسط	۵-۵۰ دصد
			رطوبت زیاد	بیش از ۵۰ درصد
زاویه شیب	۰		I	بین ۵ تا ۴۰
			II	بین ۱۵ تا ۴۰
			III	بیش از ۵
			IV	بیش از ۱۵
			V	بیش از ۲۵
			VI	بیش از ۳۵

- انحنای دامنه

انحنای شیب را می‌توان به صورت مشتق دوم ارتفاع در جهت پایین شیب، بر حسب درجه تعریف نمود. در این حالت، انحنای شیب بدون توجه به مقعر یا محدب بودن آن در نظر گرفته می‌شود. دو مقدار «صاف» و «ناصاف» - برای مقدار مشتق دوم کم‌تر و بیش‌تر از ۱۵ می‌توان در نظر گرفت. (Liao et al.(2002) افزایش قابل توجهی در تعداد زمین‌لغزش‌ها برای شیب‌هایی با انحنای بیش از ۱۵ مشاهده کردند. (Liao et al.(2002) مشاهده کردند که امکان کمی برای رویداد زمین‌لغزش در مناطق با انحنای شیب کم‌تر از ۵ وجود دارد.

برای زمین‌لغزش‌های دسته یک، امکان رویداد تنها زمانی وجود دارد که شیب از نوع «ناصاف» باشد. انحنای زمین، شاخصی مهم برای دیگر انواع زمین‌لغزش‌ها نبوده و بنابراین امکان رویداد این نوع زمین‌لغزش‌ها برای هر مقدار از این پارامتر وجود دارد.

- شدت زلزله

این پارامتر در حقیقت حداقل شدت مورد نیاز برای رویداد هر نوع از زمین‌لغزش می‌باشد. واحد این متغیر شدت اصلاح شده مرکالی (MMI) است. همان‌طور که در جدول (۴-۶) نشان داده شده است این عامل از پنج زیرگروه تشکیل شده است: «فاقد اطلاعات»، «کم‌تر از ۵»، «بین ۵ تا ۶»، «بین ۶ تا ۷» و «بزرگ‌تر از ۷». کم‌ترین مقدار به دسته اول زمین‌لغزش‌ها، به جز بهمن‌های سنگی، اعمال می‌شود. مقدار متوسط به دسته دوم (لغزش‌های چسبیده) و دسته سوم زمین‌لغزش‌ها (جریان‌های سریع خاکی) اعمال می‌گردد. بالاترین مقدار مربوط اطلاعات به رویداد بهمن‌های سنگی است. مقادیر آستانه MMI برای بهمن‌های سنگی از اطلاعات حداقل بزرگی و فاصله در (Hancox et al.(2002) و (Keefe (1984) ، که به MMI تبدیل شده است، استخراج شده‌اند. سایر مقادیر از (Rodriguez et al.(1999), Miles & Keefe (2007) و (Keefe (1984) برداشت شده‌اند اگر هیچ اطلاعاتی از شدت وجود نداشته باشد، امکان رویداد در حالت استاتیکی را برای هر نوع لغزش محاسبه می‌شود.

این پارامتر زمانی به کار برده می‌شود که هدف تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله باشد. اگر هدف نهایی تهیه نقشه‌های حساسیت باشد این پارامتر در نظر گرفته نمی‌شود. در نقشه خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی پارامتر شدت بارندگی جایگزین این پارامتر می‌گردد.

- ضخامت خاک

این متغیر برپایه اطلاعات برگرفته از (Keefe (1984) و (Bommer & Rodriguez (2000) تعریف شده است. دو مقدار آن در دو سوی مقدار ۴ متر تعریف می‌شوند. این آستانه نشان دهنده این است که آیا به اندازه کافی خاک برای رخ دادن گسیختگی عمیق وجود دارد. اگر داده‌های مربوط به عمق شیب موجود نباشند، فرض خواهد شد که زمین‌لغزش نوع پنجم امکان‌پذیر است.



- ارتفاع شیب

بر طبق مطالعات کیفر (۱۹۸۴) برای بروز بهمن سنگی ارتفاع شیب محلی باید بزرگ‌تر یا مساوی 15° متر باشد. برای در نظر گرفتن اطمینان، در این مطالعه مقدار 14° متر در نظر گرفته شده است این متغیر از دو مقدار «کم» و «زیاد» تشکیل شده است. مقدار «فاقد اطلاعات» نیز امکان‌پذیر است و بدین معنی است که در صورتی که اطلاعات مقادیر ارتفاع شیب موجود نباشد فرض بر این است که رخداد بهمن سنگی ممکن است.

- نوع مواد دامنه

این متغیر یک متغیر کیفی است و می‌تواند سه مقدار «سنگ»، «خاک»، و «ناموجود» را اختیار کند. اگر هیچ اطلاعاتی ارائه نشده باشد، فرض می‌شود که هر دو زمین لغزش‌های سنگی و خاکی هستند امکان‌پذیر هستند.

- رطوبت

این متغیر نشان دهنده دانش موجود در مورد انواع مختلف زمین لغزش‌ها با توجه به محتوای رطوبتی خاک یا عمق آب زیرزمینی می‌باشد و نشان می‌دهد که لایه مورد تجزیه و تحلیل نسبت به عمق لایه تا چه درجه‌ای اشباع شده است. متغیر رطوبت از نظر مفهومی نسبت ارتفاع زمین آبدار به عمق کل لایه مورد بررسی، ضرب در 100% می‌باشد. این تعریف همان تعریف مقدار m است که به طور معمول در مدل‌های شیب بینهایت برای مدل سازی منطقه‌ای به کار گرفته می‌شود (به عنوان مثال، (Jibson et al. (1998)). پس از دامنه خشک، پایین‌ترین مقدار «رطوبت متوسط» است که مربوط به گروه دوم زمین لغزش‌ها می‌شود، با این فرض که رویداد لغزش‌های چسبنده نیاز به آب زیر زمینی کمی دارد. مقدار بالا، «رطوبت بالا» مربوط به جریان‌های سریع خاکی می‌باشد، که نیاز به رطوبت بالا دارند (Keefner (1984)). مقدار آستانه 50% به عنوان مقدار محافظه کارانه برای رویداد این دسته از زمین لغزش‌ها در نظر گرفته شده است.

- شیب دامنه

این متغیر حداقل زاویه شیب لازم برای رویداد هر نوع زمین لغزش را نشان می‌دهد. بازه‌های نشان داده شده در جدول (۴-۷) برای شیب بر اساس (Hancox et al. (2002), Rodriguez et al. (1999) و Keefner (1984) تولید شده‌اند. اکثر جریان‌های خاکی (مطابق با Keefner (1984)) در شیب بیش از 5° درجه اتفاق افتاده‌اند. مقدار «بیش از 15° » برای دسته اول زمین لغزش‌های خاکی بر اساس مقادیر موجود برای لغزش‌های خاکی گسسته در نظر گرفته می‌شود. این بدان معنی است که امکان رخداد بهمن‌های خاکی بیش از واقعیت پیش‌بینی می‌شود زیرا در حالت کلی زاویه شیب حداقل برای رویداد این نوع از زمین لغزش 35° درجه می‌باشد. مقدار «بزرگ‌تر از 35° » بر اساس اطلاعات موجود در مورد ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی تعریف شده است. اطلاعات موجود در مورد لغزش‌های بلوکی خاکی و لغزش‌های بلوکی خاکی «بین 5° تا 40° » مورد استفاده قرار گرفته است و برای هر دو لغزش‌های بلوکی خاکی و لغزش‌های چرخشی خاکی به کار گرفته شده است. مقدار بین « 15° و 40° » بر اساس اطلاعات مربوط به همه انواع لغزش‌های چسبنده سنگی استوار شده است. زاویه شیب

حداکثر ۴۰ درجه برای زمین‌لغزش گروه دوم بر اساس (Hansen & Franks, 1991), Cruden & Varnes (1996) و مجموعه داده‌های Keifer (1984) تعریف شده است.

جدول ۴-۷- حداقل شیب لازم برای رویداد انواع زمین‌لغزش بر اساس مطالعات مختلف

Landslide Type	Minimum Slope Angle (degrees)		
	Keifer (1984)	Rodriguez et al. (1999)	Hancox et al. (2002)
Disrupted rock falls and rock slides	35-40	35	40
Disrupted soil slides/soil falls	15/40	55	25-35
Rock avalanches	25	n/a	25-35
Rock slumps and rock block slides	15	15	15
Soil slumps and soil block slides	5-10	8	15
Rapid soil flows	2.3	0	2

خلاصه موارد فوق در جدول شماره (۴-۸) آورده شده است. در این جدول علامت (*) نشان‌دهنده عدم امکان رویداد و علامت (-) نشان‌دهنده امکان رویداد زمین‌لغزش مربوط می‌باشد. در حقیقت موارد عدم امکان در هر نوع مهم بوده و موجب حذف واحدهایی با مشخصات مربوط در آنالیزهای بعدی می‌گردند. در نقشه امکان هر نوع زمین‌لغزش دو کد وجود خواهد داشت: صفر به معنای عدم امکان رویداد و یک به معنای امکان رویداد. به عنوان مثال برای تهیه نقشه امکان ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی (نوع اول) واحدهایی که دارای هر یک از خصوصیات:

- انحنای شیب هموار،
- شدت زلزله کم‌تر از ۵،
- مواد دامنه خاک،
- یا شیب کم‌تر از ۳۵ درجه

باشند کد صفر گرفته و امکان ایجاد این نوع از زمین‌لغزش‌ها در آن‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود. طبعاً واحدهای مذکور برای تعیین حساسیت ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی گسسته مورد ارزیابی در مراحل بعد قرار نمی‌گیرند.

جدول ۴-۸- چگونگی در نظر گرفتن عوامل مختلف برای تهیه نقشه امکان انواع زمین‌لغزش علامت (*) نشان‌دهنده عدم امکان رویداد و علامت (-) نشان‌دهنده امکان رویداد می‌باشد.

عامل	زیرگروه	نوع لغزش				
		اول	دوم	سوم	چهارم	پنجم
انحنا	هموار	*	*	-	-	-
	ناهموار	-	-	-	-	-
شدت زلزله	<V	*	*	*	*	*
	V-VI	-	-	*	*	*
	VI-VII	-	-	-	-	*
	>VII	-	-	-	-	-
ضخامت خاک	< ۴متر	-	-	-	-	*
	> ۴متر	-	-	-	-	-
ارتفاع شیب	< ۱۴۰متر	-	*	-	-	-
	> ۱۴۰متر	-	-	-	-	-

ادامه جدول ۴-۸- چگونگی در نظر گرفتن عوامل مختلف برای تهیه نقشه امکان انواع زمین لغزش علامت (*) نشان دهنده عدم امکان رویداد و علامت (-) نشان دهنده امکان رویداد می باشد.

ششم	نوع لغزش					زیرگروه	عامل
	پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول		
*	*	-	*	-	-	سنگ	مواد دامنه
-	-	*	-	*	*	خاک	
*	*	*	-	-	-	کم	رطوبت
*	-	-	-	-	-	متوسط	
-	-	-	-	-	-	زیاد	
<۵	>۴۰ و <۵	>۴۰ و <۱۵	<۱۵	<۲۵	<۳۵		شیب

۴-۵-۱- تهیه نقشه های حساسیت برای انواع زمین لغزش

تهیه نقشه حساسیت با استفاده از روی هم اندازی لایه های عوامل و وزن دهی به آنها انجام می شود. این نقشه بدون در نظر گرفتن سناریوی خاص از عوامل محرک مانند بارندگی و زلزله تهیه می شود.

- متغیرهای ورودی

در (جدول ۴-۹)، فهرست همه متغیرهای ورودی را برای تهیه نقشه حساسیت و خطر فهرست کرده است. هر متغیر با واحدهای کمی (مقادیر حداقل و حداکثر)، تعریف شده است. در ادامه برای هر متغیر ورودی جزئیات بیش تری ارائه شده است.

جدول ۴-۹- عوامل و زیرگروه های در نظر گرفته شده برای تهیه نقشه حساسیت رویداد انواع زمین لغزش

مقادیر	زیرگروه ها	حداکثر	حداقل	واحد	نام لایه عامل
کم تر از ۱۰۰	نزدیک	۲۰۰	۰	متر	فاصله از به هم ریختگی
بیش از ۱۰۰	دور				
	خیلی خوب	۵	۱	نسبی	مقاومت واحدهای لیتولوژی
	خوب				
	متوسط				
	ضعیف				
	خیلی ضعیف				
۱۰-۰	خیلی پایین	۱۰۰	۰	درصد	رطوبت
۳۵-۱۰	پایین				
۶۰-۳۵	متوسط				
۸۵-۶۰	بالا				
۱۰۰-۸۵	خیلی بالا				
کم تر از ۴.۵	ضعیف	10	4	MMI	شدت زلزله
۵.۵-۴.۵	متوسط				
۶.۵-۵.۵	قوی				
۷.۵-۶.۵	خیلی قوی				
۸.۵-۷.۵	شدید				
۹.۵-۸.۵	خیلی شدید				
بیش از ۹.۵	بی نهایت شدید				

ادامه جدول ۴-۹- عوامل و زیرگروه‌های در نظر گرفته شده برای تهیه نقشه حساسیت رویداد انواع زمین‌لغزش

مقادیر	زیرگروه‌ها	حداکثر	حداقل	واحد	نام لایه عامل
بین ۵ تا ۱۰	خیلی کم شیب	۶۵	۵	درجه	زاویه شیب
۱۵-۱۰	کم شیب				
۲۵-۱۵	نسبتاً کم شیب				
۳۰-۲۵	متوسط				
۳۵-۳۰	نسبتاً پرشیب				
۴۵-۳۵	پرشیب				
۵۵-۴۵	خیلی پرشیب				
۶۵-۵۵	بی‌نهایت پرشیب				
بیش از ۶۵	نزدیک قائم				
کم‌تر از ۵۰	تنک	۱۰۰	۰	درصد	پوشش گیاهی
بیش از ۵۰	انبوه				

- فاصله از به هم‌ریختگی

از نظر مفهومی، فاصله از به هم‌ریختگی، نماینده عوامل مورفولوژیکی است که به گسیختگی شیب کمک می‌نمایند، عواملی مانند فرسایش پنجه توسط جریان آب، یا شیب بیش از حد ناشی از قطع جاده ((Cruden & Varnes(1998)). این متغیر به طور مشخص، فاصله شیب از آبراهه یا جاده برحسب متر می‌باشد. دامنه متغیر و تعداد مقادیر بر اساس بررسی فهرست زمین‌لغزش‌های Loma Prieta از Keefer (1998) فرض شده است. تعریف حد تعیین شده بر این فرض استوار است که تاثیر برخی از دستخوردگی‌های خطی در فواصل فراتر از ۱۰۰ متر به طور آشکاری کم می‌شود.

- مقاومت واحدهای لیتولوژی

مقاومت واحدهای لیتولوژیکی بر اساس جدول (۴-۲) تعیین می‌گردد.

- رطوبت

این لایه قبلاً برای تهیه نقشه امکان، استفاده گردید. این متغیر نشان می‌دهد که دامنه مورد مطالعه به نسبت عمق چند درصد اشباع است. رطوبت با استفاده از نسبت ارتفاع قسمت اشباع دامنه مورد مطالعه بر عمق لایه، ضرب در ۱۰۰٪ به دست می‌آید. دامنه این متغیر از ۰ تا ۱۰۰٪ اشباع می‌باشد.

- شدت زلزله

متغیر شدت زلزله نشان دهنده اطلاعات درباره تاثیر شدت زلزله در زمین‌لغزش است. مقداری بزرگ‌تر از ۱۰ تعریف نشده است زیرا در نقشه‌های لرزه‌ای این مقادیر را وجود ندارد. این متغیر برای تهیه نقشه‌های خطر زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله وارد شده و برای نقشه‌های حاصل از بارندگی شدت بارندگی جایگزین می‌گردد.



- زاویه شیب

حداقل مقدار این متغیر (۵ درجه) شاخص آستانه رویداد برای جریان‌های سریع خاکی و لغزش‌های چرخشی خاکی می‌باشد. برای مقادیر کم‌تر از شیب ۵ درجه، معمولاً هیچ نوع زمین‌لغزشی ممکن نیست.

- پوشش گیاهی

از نظر مفهومی، این متغیر اشاره به پوشش گیاهی (تراکم) یک منطقه، که به صورت درصد از منطقه بیان می‌شود، دارد. دو مقدار فازی، «تنک» و «انبوه» با مقدار ۵۰ درصد به عنوان مرز تصمیم‌گیری، تعریف شده‌اند.

۴-۵-۱-۱- ایجاد نقشه‌های حساسیت و خطر برای انواع زمین‌لغزش

بر اساس مطالعات مایلز و کیفر (۲۰۰۷)، برای ارزیابی خطر هر یک از شش نوع لغزش، سه مجموعه قوانین وجود دارد. بنابراین در مجموع ۱۸ مجموعه قوانین در بخش خطر قابل تعریف است - شش مجموعه قوانین حساسیت استاتیکی، شش مجموعه قوانین اختیاری «ویرایشگر»، و شش مجموعه قوانین خطر لرزه‌ای. متغیرهای در نظر گرفته شده در مجموعه قوانین حساسیت استاتیکی و ویرایشگر می‌تواند برای انواع زمین‌لغزش متفاوت باشد. انتخاب این‌که هر یک از متغیرها برای انواع زمین‌لغزش‌های مختلف چه نقشی ایفا می‌کند بر اساس نتایج مطالعات قبلی می‌باشد. (جدول ۴-۱۰) شامل فهرست انواع زمین‌لغزش‌های در نظر گرفته شده به همراه این‌که کدام متغیر برای هر یک به عنوان متغیرهای اصلی و متغیرهای ویرایشگر استفاده می‌شوند و یا اصلاً مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، می‌باشد. متغیر شدت لرزه‌ای برای تمام انواع زمین‌لغزش در نظر گرفته می‌شود. برای اختصار، در زیر تنها به مجموعه قوانین ریزش‌ها و لغزش‌های بلوکی سنگی اشاره شده است. به جز برای متغیرهای ورودی، ترکیب قوانین در نظر گرفته شده و انتخاب‌های طراحی یکسان هستند.

جدول ۴-۱۰- متغیرهای ورودی در نظر گرفته شده برای انواع زمین‌لغزش در بخش خطر

نوع زمین‌لغزش	حساسیت استاتیکی	ویرایشگر
نوع اول: ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی	مقاومت واحدهای لیتولوژی زاویه شیب	فاصله از به هم‌ریختگی رطوبت پوشش گیاهی
نوع دوم: بهمن‌های سنگی	مقاومت واحدهای لیتولوژی زاویه شیب	فاصله از به هم‌ریختگی
نوع سوم: لغزش‌ها، ریزش‌ها و بهمن‌های خاکی	مقاومت واحدهای لیتولوژی زاویه شیب	فاصله از به هم‌ریختگی رطوبت پوشش گیاهی
نوع چهارم: لغزش‌های چرخشی و بلوکی سنگی	مقاومت واحدهای لیتولوژی زاویه شیب رطوبت	فاصله از به هم‌ریختگی پوشش گیاهی
نوع پنجم: لغزش‌های چرخشی و بلوکی خاکی	مقاومت واحدهای لیتولوژی زاویه شیب رطوبت	فاصله از به هم‌ریختگی پوشش گیاهی
نوع ششم: جریان‌های سریع خاکی	مقاومت واحدهای لیتولوژی زاویه شیب	فاصله از به هم‌ریختگی رطوبت پوشش گیاهی

- مجموعه قوانین حساسیت استاتیکی

مجموعه قوانین حساسیت استاتیکی برای لغزش‌های گسسته و ریزش‌های سنگی در (جدول ۴-۱۱) نشان داده شده است. بر اساس روش (Combs & Andrews (1998)، برای ترکیب قوانین تک ورودی تک خروجی، مقاومت واحدهای لیتولوژی و شیب در مجموعه قوانین، با در نظر گرفتن دو مجموعه قوانین مستقل و جداگانه ساخته می‌شوند. یعنی مقاومت واحدهای لیتولوژی و شیب هرگز با هم در یک قانون در نظر گرفته نمی‌شوند.

مطابق با (جدول ۴-۱۱) برای واحدهایی که طبق نقشه امکان ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی، امکان چنین لغزش‌هایی را دارند چنانچه مقاومت واحدهای لیتولوژی خیلی خوب باشد حساسیت استاتیکی خیلی کم خواهد بود. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود ۵ قانون مربوط به مقاومت واحدهای لیتولوژیکی می‌باشد. طبق این ۵ قانون می‌توان نقشه حساسیت استاتیکی مربوط به ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی را تهیه نمود.

جدول ۴-۱۱- بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی

آنگاه		اگر	
خطر	وزن قانون (W)		
خیلی کم	۰/۸	خیلی خوب	مقاومت واحدهای لیتولوژی
کم	۰/۸	خوب	
متوسط	۰/۸	متوسط	
بالا	۰/۸	ضعیف	
خیلی بالا	۰/۸	خیلی ضعیف	
خیلی کم	۰/۲	متوسط و نسبتاً پرشیب	شیب
کم	۰/۲	پرشیب	
متوسط	۰/۲	خیلی پرشیب	
بالا	۰/۲	بی‌نهایت پرشیب	
خیلی بالا	۰/۲	نزدیک قائم	

حساسیت به رویداد ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی مطابق با (جدول ۴-۱۱) تنها وابسته به مقاومت نیست، بلکه مقدار شیب نیز موثر است طبق پنج قانون دوم (جدول ۴-۱۱) می‌توان نقشه حساسیت استاتیکی دیگری برای ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی تهیه نمود که این بار بر اساس شیب است.

هر دو نقشه فوق باید به طریقی با یکدیگر ادغام شده و نقشه حساسیت واحدی تهیه گردد. پر واضح است که میزان تاثیر دو عامل شیب و مقاومت واحدهای لیتولوژی در ایجاد این نوع از زمین‌لغزش‌ها یکسان نیست. اهمیت هر یک از نقشه‌ها (و به طبع آن قوانین مربوط) با ارائه وزن به آن‌ها قابل در نظر گرفتن است.

در این‌جا سهم هر عامل توسط کسری از یک بیان می‌شود که مجموع آن‌ها در کل نقشه عدد یک خواهد بود. برای ترکیب دو نقشه مذکور می‌توان واژه‌های حساسیت هر زیرگروه را نیز به عددی مابین صفر و یک تبدیل کرد. معادل عددی واژه‌های خطر در (جدول ۴-۱۲) آمده است.



جدول ۴-۱۲- معادل عددی واژه‌های حساسیت زیرگروه‌ها (R)

مقاومت	شیب	معادل عددی
خیلی خوب	متوسط و نسبتا پرشیب	۰/۲
خوب	پرشیب	۰/۴
متوسط	خیلی پرشیب	۰/۶
ضعیف	بی‌نهایت پرشیب	۰/۸
خیلی ضعیف	نزدیک قائم	۱/۰

- مجموعه قوانین ویرایشگرها

قوانین مربوط به زیر بخش ویرایشگرها در (جدول ۴-۱۳) نشان داده شده است. نحوه عمل ویرایشگرها به این گونه است که اگر شرایط برای به کار افتادن ویرایشگر فراهم شود، حساسیت استاتیکی تعیین شده در مجموعه قوانین قبلی باید به میزان یک مقدار معین، افزایش یا کاهش پیدا کند.

برای واحدی که در مثال قبل آورده شد حساسیت استاتیکی متوسط تعیین شد. اگر فاصله از به هم‌ریختگی در این واحد ۱۵۰ متر (دور)، رطوبت ۱۵ درصد (پایین) و پوشش گیاهی ۷۰ درصد (انبوه) باشد، شرط اول برقرار نیست. ولی هر دو شرط دوم و سوم برقرار است. بنابراین، میزان حساسیت طبق شرط دوم از ۰/۰۷ افزایش می‌یابد ولی مطابق با شرط سوم مجدداً ۰/۰۷ کاهش می‌یابد. از این رو تغییری در میزان حساسیت ایجاد نمی‌شود.

جدول ۵-۱۳- بلوک قوانین ویرایشگرها برای لغزش‌های گسسته سنگی و ریزش‌ها

عامل	شرط	تغییر حساسیت
فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۰۷
رطوبت	همه موارد به جز خیلی پایین	+۰/۰۷
پوشش گیاهی	انبوه	-۰/۰۷

- روش گروه‌بندی حساسیت

همان‌گونه که در فصل قبل آمده است مقدار نهایی محاسبه شده برای حساسیت زمین لغزش‌ها به صورت کمی (بین صفر تا یک) می‌باشد که بایستی به واژه‌های کیفی تبدیل گردد.

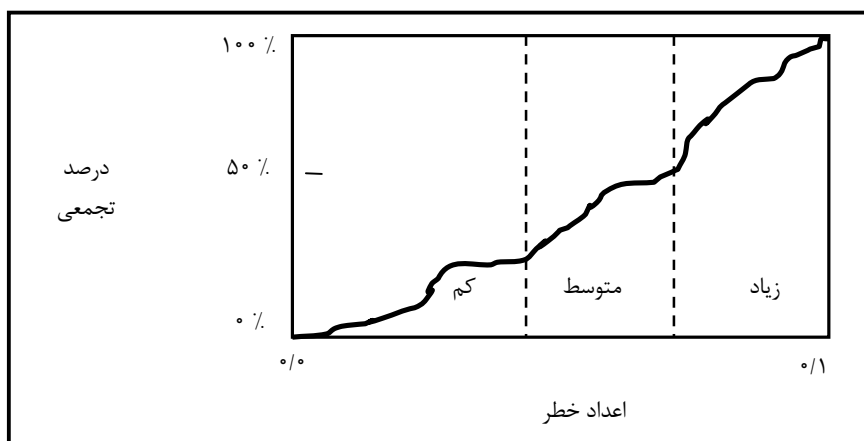
قدم اول برای این مرحله، تعیین تعداد گروه‌های حساسیتی است که برای مطالعه ضروری است. در این دستورالعمل این مقدار پنج تعیین شده است.

مرحله بعد تعیین مرز گروه‌ها با توجه به بازه اعداد خطر و تعداد گروه‌هاست. جهت گروه‌بندی اعداد خطر نیز محققین مختلف به روش‌های گوناگون عمل کرده‌اند. برخی مانند آنبالاگان (۱۹۹۲) صرفاً با توجه به بازه اعداد خطر، آن را به تعداد مورد نیاز تقسیم کرده و واحدهای مربوط را با توجه به عدد نهایی خطر در گروه مربوطه قرار داده‌اند،

گروه دیگری از محققین ابتدا مقادیر اعداد خطر را به چند گروه (ترجیحاً مساوی) تقسیم نموده و نقشه پهنه‌بندی خطر را تهیه نموده‌اند (شبه روش اول)؛ سپس بر اساس نقشه فهرست زمین لغزش‌ها، تراکم زمین لغزش‌ها را در هر

گروه خطر محاسبه نموده و منطقی بودن درصد زمین لغزش‌ها در گروه‌های مذکور را به صورت مشاهده‌ای مورد بررسی قرار داده‌اند. در این روش مرز گروه‌ها آنقدر جابه‌جا می‌شود که تراکم زمین لغزش‌ها در هر یک از گروه‌ها مقادیری منطقی را ارائه نماید. (تراکم زمین لغزش‌ها از خطر کم به زیاد به صورت منظم افزایش یابد). استفاده از این روش مستلزم داشتن نقشه فهرست زمین لغزش‌ها می‌باشد.

گروه سوم از محققین از درصد تجمعی اعداد خطر برای تفکیک گروه‌ها استفاده می‌کنند. در این روش درصد اعداد خطر از کم به زیاد در محور افقی پیاده شده و درصد تجمعی آن به وسیله منحنی نمایش داده می‌شود (شکل ۴-۷). نقاط شکست در این منحنی می‌تواند نمایانگر مرز گروه‌های خطر محسوب گردد. این روش در واقع روشی کاملاً آماری بوده و بر اساس سرعت و یا کاهش تعداد واحدهای منطقه در هر زیرگروه تعیین می‌شود. در نتیجه مرزهای گروه‌ها کاملاً وابسته به شرایط منطقه می‌باشند. به عبارتی دیگر اگر در دو منطقه مجاور از این روش استفاده شود ممکن است دو شیب با شرایط کاملاً یکسان در دو گروه متفاوت خطر قرار گیرند.

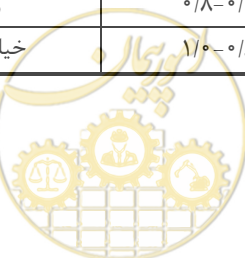


شکل ۴-۷- استفاده از روش شکست منحنی جهت تفکیک محدوده‌های حساسیت یا خطر

با توجه به موارد فوق، تعداد گروه‌های حساسیت برای مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰ پنج و مرز آن‌ها توسط روش (non-) hierarchical cluster analysis (فصل ۳ دستورالعمل) تعیین می‌گردد. در نتیجه مرز بندی گروه‌های خطر کاملاً وابسته به ارزش‌های اطلاعاتی به دست آمده است.

جدول ۴-۱۴- معادل توصیفی اعداد حساسیت

معادل عددی	معادل توصیفی
۰/۲-۰/۰	خیلی کم
۰/۴-۰/۲	کم
۰/۶-۰/۴	متوسط
۰/۸-۰/۶	زیاد
۱/۰-۰/۸	خیلی زیاد



دقت گردد که اگر مجموع شرایط در یک مجموعه قوانین برای به کار افتادن عوامل ویرایشگر برقرار باشد مطابق با وزن‌های ارائه شده تنها یک پله از میزان حساسیت کاسته یا به آن افزوده می‌شود.

تا این مرحله نقشه حساسیت زمین لغزش تهیه شده است. برای تهیه نقشه خطر بایستی نوع عامل محرک معلوم باشد. در زیر نحوه تهیه نقشه خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله آورده شده است. برای تهیه نقشه خطر زمین لغزش‌های ناشی از بارندگی نیز می‌توان مجموعه قوانینی مشابه با استفاده از پارامتر شدت بارندگی تعریف نمود.

۴-۵-۲- ایجاد نقشه‌های خطر برای انواع زمین لغزش

- مجموعه قوانین خطر لرزه‌ای

اطلاعات موجود در متون علمی در خصوص ارتباط حساسیت استاتیکی و شدت زلزله جزئیات کافی را ندارد. با این وجود، (جدول ۴-۱۵) به عنوان نمونه، همه قوانینی را که مجموعه قوانین خطر لرزه‌ای ریزش‌ها و لغزش‌های بلوکی سنگی را تشکیل می‌دهند ارائه داده است.

جدول ۴-۱۵- بلوک قانون متغیرهای لرزه‌ای برای ریزش‌ها و لغزش‌های بلوکی سنگی. VL: خیلی کم، L: کم، M: متوسط، H: بالا، VH: خیلی بالا.

	ضعیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	شدید	خیلی شدید	بی‌نهایت شدید
ریزش‌ها و لغزش‌های سنگی و گسسته	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L
	VL	VL	VL	VL	VL	L	L
	VL	VL	VL	L	L	M	M
	VL	L	L	L	M	H	H
	L	L	M	M	H	H	VH

طبق مجموعه قوانین (جدول ۴-۱۵) بر طبق شدت لرزه ایجاد شده طی زلزله مقدار خطر تعیین می‌گردد به عنوان مثال چنانچه در واحد مورد بررسی در مثال قبلی شدت لرزه‌ای ۸ (شدید) باشد خطر نهایی ریزش‌ها و لغزش‌های بلوکی سنگی در این واحد کم خواهد بود.

در این راستا بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای انواع زمین لغزش در (جدول ۴-۱۶)، بلوک قوانین ویرایشگرهای استاتیکی برای انواع زمین لغزش در (جدول ۴-۱۷) و نیز مجموعه قوانین خطر لرزه‌ای در (جدول ۴-۱۸) ارائه شده است.

جدول ۴-۱۶- بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای انواع زمین لغزش

آنگاه		اگر	نوع زمین لغزش
خطر	وزن (W)		
خیلی کم	۰/۸	خیلی خوب	ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی
کم		خوب	
متوسط		متوسط	
بالا		ضعیف	
خیلی بالا		خیلی ضعیف	

ادامه جدول ۴-۱۶- بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای انواع زمین‌لغزش

آنگاه		اگر		نوع زمین‌لغزش
خطر	وزن (W)			
خیلی کم	۰/۲	متوسط و نسبتا پرشیب	شیب	
کم		پرشیب		
متوسط		خیلی پرشیب		
بالا		بی‌نهایت پرشیب		
خیلی بالا		نزدیک قائم		
خیلی کم	۰/۷۵	خیلی خوب	مقاومت واحدهای لیتولوژی	
کم	۰/۷۵	خوب		
متوسط	۰/۷۵	متوسط		
بالا	۰/۷۵	ضعیف		
خیلی بالا	۰/۷۵	خیلی ضعیف		
خیلی کم	۰/۲۵	متوسط	شیب	بهمن سنگی
کم	۰/۲۵	نسبتا پرشیب		
متوسط	۰/۲۵	پرشیب		
بالا	۰/۲۵	خیلی پرشیب		
خیلی بالا	۰/۲۵	بی‌نهایت پرشیب		
خیلی کم	۰/۴۰	نزدیک قائم	مقاومت واحدهای لیتولوژی	
کم	۰/۴	خیلی خوب		
متوسط	۰/۴	خوب		
بالا	۰/۴	متوسط		
خیلی بالا	۰/۴	ضعیف		
خیلی پایین	۰/۲۰	کم شیب	شیب	لغزش‌های چرخی و لغزش‌های بلوکی سنگی
پایین	۰/۲۰	نسبتا کم شیب		
متوسط	۰/۲۰	متوسط		
بالا	۰/۲۰	نسبتا پرشیب		
خیلی بالا	۰/۲۰	پرشیب		
خیلی کم	۰/۳۰	خیلی پرشیب	رطوبت	
کم	۰/۴۰	بی‌نهایت پرشیب		
متوسط	۰/۴۰	نزدیک قائم		
بالا	۰/۵۰	خیلی کم		
خیلی بالا	۰/۴۰	کم		
خیلی کم	۰/۴۰	متوسط	مقاومت واحدهای لیتولوژی	لغزش‌های گسسته خاکی، ریزش‌های خاکی، و بهمن‌های خاکی
کم	۰/۴۰	بالا		
متوسط	۰/۴۰	خیلی بالا		
بالا	۰/۴۰	خیلی خوب		
خیلی بالا	۰/۷۵	خوب		
خیلی کم	۰/۷۵	متوسط		
کم	۰/۷۵	ضعیف		
متوسط	۰/۷۵	خیلی ضعیف		



ادامه جدول ۴-۱۶- بلوک قوانین حساسیت استاتیکی برای انواع زمین لغزش

آنگاه		اگر	نوع زمین لغزش		
خطر	وزن (W)				
خیلی پایین	۰/۲۵	کم شیب	شیب		
پایین	۰/۲۵	نسبتا کم شیب			
پایین	۰/۲۵	متوسط			
متوسط	۰/۲۵	نسبتا پرشیب			
متوسط	۰/۲۵	پرشیب			
بالا	۰/۲۵	خیلی پرشیب			
بالا	۰/۲۵	بی نهایت پرشیب			
خیلی بالا	۰/۲۵	نزدیک قائم			
خیلی کم	۰/۲	خیلی کم شیب	شیب		
خیلی کم	۰/۲	کم شیب			
کم	۰/۲	نسبتا کم شیب			
متوسط	۰/۲	متوسط			
بالا	۰/۲	نسبتا پرشیب			
خیلی بالا	۰/۳	پرشیب			
خیلی بالا	۰/۴	خیلی پرشیب			
خیلی بالا	۰/۵	بی نهایت پرشیب			
خیلی بالا	۰/۴	نزدیک قائم			
خیلی کم	۰/۴	خیلی خوب		مقاومت واحدهای لیتولوژی	
کم	۰/۴۰	خوب			
متوسط	۰/۴۰	متوسط			
بالا	۰/۴۰	ضعیف			
خیلی بالا	۰/۴۰	خیلی ضعیف			
خیلی کم	۰/۴۰	خیلی کم			رطوبت
کم	۰/۴۰	کم			
متوسط	۰/۴۰	متوسط			
بالا	۰/۴۰	بالا			
خیلی بالا	۰/۴۰	خیلی بالا			
خیلی کم	۰/۷۵	خیلی خوب	مقاومت واحدهای لیتولوژی		
کم	۰/۷۵	خوب			
متوسط	۰/۷۵	متوسط			
بالا	۰/۷۵	ضعیف			
خیلی بالا	۰/۷۵	خیلی ضعیف			
خیلی پایین	۰/۲۵	خیلی کم شیب		شیب	
خیلی پایین	۰/۲۵	کم شیب			
پایین	۰/۲۵	نسبتا کم شیب			
پایین	۰/۲۵	متوسط			
متوسط	۰/۲۵	نسبتا پرشیب			
متوسط	۰/۲۵	پرشیب			
بالا	۰/۲۵	خیلی پرشیب			
بالا	۰/۲۵	بی نهایت پرشیب			
خیلی بالا	۰/۲۵	نزدیک قائم			

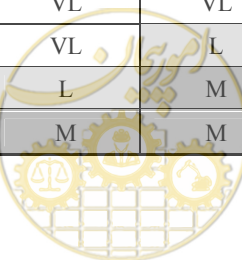


جدول ۴-۱۷- بلوک قوانین ویرایشگرهای استاتیکی برای انواع زمین‌لغزش

نوع لغزش	عامل	شرط	تغییر حساسیت
ریزش‌ها و لغزش‌های گسسته سنگی	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۳۴
	رطوبت	همه موارد به جز خیلی پایین	+۰/۳۴
	پوشش گیاهی	انبوه	-۰/۳۴
بهم‌سنگی	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۵
	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۵
لغزش‌های چرخی و لغزش‌های بلوکی سنگی	پوشش گیاهی	انبوه	-۰/۵
	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۳۴
لغزش‌های گسسته خاکی، ریزش‌های خاکی، و بهم‌سنگی خاکی	رطوبت	همه موارد به جز خیلی پایین	+۰/۳۴
	پوشش گیاهی	انبوه	-۰/۳۴
	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۵
لغزش‌های چرخی و بلوکی خاکی	پوشش گیاهی	انبوه	-۰/۵
	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۳۴
جریان‌های سریع خاکی	رطوبت	همه موارد به جز خیلی پایین	+۰/۳۴
	پوشش گیاهی	انبوه	-۰/۳۴
	فاصله از به هم‌ریختگی	نزدیک	+۰/۳۴

جدول ۴-۱۸- مجموعه قوانین خطر لرزه‌ای

	شدت زلزله						
	ضعیف	متوسط	قوی	خیلی قوی	شدید	خیلی شدید	بی‌نهایت شدید
ریزش‌های سنگی و لغزش‌های گسسته	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L
	VL	VL	VL	VL	VL	L	L
	VL	VL	VL	L	L	M	M
	VL	L	L	L	M	H	H
	L	L	M	M	H	H	VH
بهم‌سنگی	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL
	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L
	VL	VL	VL	VL	VL	L	M
	VL	VL	VL	VL	L	M	H
	VL	VL	VL	L	M	H	VH
لغزش‌های چرخی و لغزش‌های بلوکی سنگی	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL
	VL	VL	VL	VL	VL	L	L
	VL	VL	VL	VL	L	M	M
	VL	VL	VL	L	M	H	H
	VL	VL	L	M	H	H	VH
لغزش‌های گسسته خاکی، ریزش‌های خاکی، و بهم‌سنگی خاکی	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L
	VL	VL	VL	VL	VL	L	L
	VL	VL	VL	L	L	M	M
	VL	L	L	M	M	H	H
	L	L	M	M	H	H	VH



لغزشهای چرخشی و بلوکی خاکی	VL	VL	VL	VL	VL	VL	L
	VL	VL	VL	VL	L	L	M
	VL	VL	VL	L	M	M	H
	VL	VL	L	M	H	H	VH
	VL	L	M	H	H	VH	VH
براهای سریع خاکی	VL	VL	VL	VL	VL	VL	VL
	VL	VL	VL	VL	VL	L	L
	VL	VL	VL	VL	L	M	M
	VL	VL	VL	L	M	H	H
	VL	VL	L	L	M	H	VH

۴-۶- آزمایش و تصحیح نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت و خطر

برای آزمایش نقشه پهنه‌بندی حساسیت و اجتناب از خطاهای انسانی که در به کارگیری فرمول‌ها و وارد نمودن رابطه‌ها در GIS ممکن است پیش بیاید، لازم است نقشه پهنه‌بندی از نظر صحت آزمایش گردد. گروهی از نقشه‌های خروجی در این پروژه می‌تواند از نظر توانایی پیش‌بینی محل زمین لغزشها مورد ارزیابی قرار گیرند. مطابق با روشی که در این دستورالعمل ذکر شد خروجی‌های این مطالعه شامل شش نقشه حساسیت استاتیکی است. دیگر نقشه‌های خروجی (نقشه‌های خطر برای انواع زمین لغزش‌های ناشی از زلزله یا بارندگی) هنگامی قابلیت تولید دارند که عامل محرک (زلزله، بارندگی) رخ دهد.

برای ارزیابی نقشه‌های حساسیت، چنانچه تعداد زمین لغزش‌های رخ داده از هر یک از گروه‌های شش‌گانه در محدوده مورد مطالعه، در حدی باشد که بتوان با آن آنالیز آماری انجام داد می‌توان از روش زیر استفاده نمود:

گی (۱۹۹۲)، بدین منظور پارامتری را به نام نسبت تراکم (DR) برای گروه‌های مختلف خطر در نقشه پهنه‌بندی نهایی معرفی نموده است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$DR = \frac{\text{Landslide}}{\text{Area}} \quad (۱۴)$$

که در آن Landslide درصدی از تعداد (یا سطح) زمین لغزش‌ها است که در رده خطر مربوط واقع شده و Area درصدی از سطح منطقه است که توسط رده خطر مربوطه اشغال شده است.

بدیهی است نسبت تراکم گروه خطر پایین نسبت به گروه‌های خطر بالا بایستی کم‌تر باشد. چنانچه روند صعودی تراکم سطحی از گروه‌های خطر پایین به بالا مشاهده نگردد نقشه مربوطه قابل قبول نبوده و تحلیل‌ها بایستی مجدداً کنترل گردند.

آزمایش نقشه‌های خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله یا بارندگی دقیقاً مطابق با مراحل آزمایش نقشه‌های حساسیت است با این تفاوت که از زمین لغزش‌هایی که در یک رویداد محرک (یک زلزله یا دوره بارندگی شدید) ایجاد شده‌اند جهت کنترل استفاده می‌شود.

۷-۴ - تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی

از آنجایی که نقشه‌های پهنه‌بندی در مقیاس ۱:۲۵,۰۰۰، در نهایت جهت استفاده در اختیار مجریان و تصمیم‌گیریان قرار می‌گیرد، مناطق لغزشی در این نقشه‌ها بایستی با خطر خیلی بالا مشخص گردند. این عمل به علت بالا بودن احتمال رویداد زمین‌لغزش در مناطقی است که قبلاً حرکت کرده‌اند. این کار با روی هم اندازی نقشه فهرست زمین‌لغزش بر روی نقشه پهنه‌بندی و اختصاص دادن خطر خیلی بالا به محدوده لغزش‌ها انجام می‌گیرد.



فصل ۵

جمع‌بندی



۵-۱- جمع‌بندی

در این راهنما با هدف تهیه دستورالعمل تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، مطالعات انجام یافته در ایران و سایر کشورها مرور گردیده است. خلاصه روش‌های پیشنهادی در این راهنما به شرح زیر می‌باشد:

- روش واحدبندی

شبکه‌ای منظم که با استفاده از سامانه رستر در GIS ساخته می‌شود. تحلیل لایه‌های اطلاعاتی در واحدهای مربعی این شبکه انجام می‌گیرد.

- اندازه واحد

با توجه به مقیاس نقشه اندازه واحدها ۱۰ متر در ۱۰ متر (۱۰۰ متر مربع) انتخاب گردیده است.

- مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت و خطر

در این دستورالعمل روش تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت و خطر برای شش نوع زمین‌لغزش مختلف ارائه شده است.

- تهیه نقشه‌های امکان

با استفاده از چند عامل تعیین کننده، نقشه‌های امکان برای هر یک از انواع زمین‌لغزش تهیه می‌شود. به واحدهای این نقشه‌ها تنها یکی از دو کد صفر به معنای عدم امکان و یک به معنای امکان رویداد زمین‌لغزش اختصاص می‌یابد. برای واحدهایی که امکان رویداد ندارند، آنالیز حساسیت انجام نمی‌گیرد.

- تهیه نقشه‌های حساسیت

برای تعیین حساسیت واحدها نسبت به هر نوع از لغزش‌ها تنها دو یا سه عامل در نظر گرفته می‌شود. پس از تهیه نقشه‌های حساسیت اولیه به وسیله سه عامل دیگر که عوامل ویرایشگر نامیده می‌شوند و اهمیت کم‌تری نسبت به عوامل اصلی دارند مقدار حساسیت واحدها تعدیل می‌گردد. به این ترتیب نقشه حساسیت برای شش نوع زمین‌لغزش به تفکیک تهیه می‌گردد. طبقه‌بندی گروه‌های حساسیت بر اساس روش (non-hierarchical cluster analysis) در فصل ۱ ارائه شده است.

- تهیه نقشه‌های خطر (زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله یا بارندگی)

چنانچه در منطقه زلزله‌ای رخ دهد با استفاده از نقشه‌های حساسیت، نقشه هم شدت زلزله، و روشی که در این دستورالعمل آمده است نسبت به تهیه نقشه خطر هر یک از انواع زمین‌لغزش اقدام می‌گردد. برای پیش‌بینی زمین‌لغزش‌های ناشی از بارندگی می‌توان به طریق مشابه عمل نمود. تهیه نقشه خطر زمین‌لغزش‌ها برای زلزله یا



بارندگی‌هایی با دوره بازگشت‌های معین نیز امکان‌پذیر است. به این منظور به جای استفاده از سناریویی خاص از زلزله یا بارندگی، از نقشه‌های خطر مربوطه استفاده می‌شود. در این حالت دوره بازگشت ایجاد زمین لغزش‌ها در نقشه خطر زمین لغزش، برابر با دوره بازگشت‌های نقشه خطر زلزله یا بارندگی مورد استفاده خواهد بود.

همچنین، با توجه به مطالعات انجام شده در ارتباط با ریسک زمین لغزش، یکی از نمونه روش‌های محاسبه ریسک با تغییرات تهیه و به همراه توصیه‌های لازم در فصل ۲ آورده شده است. امید است این راهنما راه را برای انجام مطالعات بزرگ مقیاس پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین لغزش بیش از پیش باز نماید.



منابع و مراجع

- ۱- آقا نباتی، ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۲- آقاباتی، ع.، ۱۳۷۹. پهنه‌های رسوبی - ساختاری عمده ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ۳- احمدی، ح.، ۱۳۷۴. ژئومرفولوژی کاربردی (جلد ۱، فرسایش آبی). انتشارات دانشگاه تهران. ۶۱۰ صفحه.
- ۴- ارومیه ای، ع.، امینی‌زاده، م. ر. ۱۳۷۷. بررسی و پایداری شیب‌ها و نحوه کنترل آن‌ها در حوضه آبخیز سد جیرفت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۵- اشقلی فراهانی، عقیل، ۱۳۸۰. ارزیابی خطر ناپایداری دامنه‌های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوزه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۹-۲۸.
- ۷- امینی حسینی، کامبد، محمد رضا مهدوی‌فر، محمد کشاورز بخشایش، بیژن خزاعی، اصغر آزادی، عبدالله سهرابی بیدار، سید امید روانفر، فرشته کمالپور، معصومه رخشنده و شراره بانکی. ۱۳۸۴. گزارش شناسایی زمین‌لغزش‌های ناشی از زلزله ۱۳۸۳/۳/۸ فیروزآباد - کجور، پژوهشنامه زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، سال هفتم، شماره دوم.
- ۸- پژوهشکده سوانح طبیعی. ۱۳۸۸. انجام پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در دو مقیاس منطقه‌ای و متوسط در دو منطقه الگو. گزارش نهایی، پژوهشکده‌ی سوانح طبیعی.
- ۹- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. ۱۳۸۴. مطالعات ریز پهنه‌بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای شهر قم. گزارش پیشرفت کار شماره ۳. انجام شده برای شهرداری قم.
- ۱۰- جعفری، محمد کاظم، مهدوی‌فر، محمد رضا، کشاورز بخشایش، محمد. (۱۳۷۸): مطالعات ژئوتکنیک لرزه‌ای استان لرستان. گزارش نهایی (دو جلد). پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
- ۱۱- جلالی، ن. ۱۳۷۶. روشی برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش‌های متاثر از ساختار زمین‌شناسی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارات آن. ص ۱۵۹-۱۷۲.
- ۱۲- حائری، س. م. ۱۳۷۵. طرح جامع خطر رانش استان مازندران. وزارت مسکن و شهرسازی، زیر کمیته زلزله و لغزش لایه‌های زمین.
- ۱۳- حائری، س. م. ستاری، م. ح. ۱۳۷۲. لغزش‌های بزرگ برویداد پیوسته بر اثر زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹، مرکز مطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران.
- ۱۴- حائری، س. م. سمیعی، الف. ح. ۱۳۷۶. روش جدید پهنه‌بندی مناطق شیب‌دار در برابر خطر زمین‌لغزش با تکیه بر بررسی‌های پهنه‌بندی استان مازندران، فصل‌نامه علمی و پژوهشی علوم زمین، سال ششم، شماره ۲۴ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.



- ۱۵- حسن‌زاده، محمدحسن، ۱۳۷۹، پهنه‌بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز شلمانرود، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تهران.
- ۱۶- حق‌شناس الف، جعفری، م.ک، ارومیه‌ای، ع. ۱۳۷۶. استفاده از روش‌های آماری در پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، مجموعه مقالات دومین سمینار زمین لغزه و کاهش خسارات آن. ص. ۱۲۵-۱۳۵.
- ۱۷- حیدری، ح. ۱۳۷۸. تحلیل عناصر اقلیمی ایران به منظور ارائه یک الگوی طبقه‌بندی، پایان‌نامه دکتری، دکتر بهلول علیجانی، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا.
- ۱۸- رجبی، علی محمد، ۱۳۸۹. بررسی احتمالی خطر زمین لغزش‌های ناشی از زلزله در ایران، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۱۹- رمضی، ح.ر، قریشی، م، مالکی، الف، معین‌فر، ع.الف، مهدویان، ع، نبوی، م.ح. ۱۳۷۸. نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین لرزه در ایران. در: آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش دوم (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)، ۱۳۷۸.
- ۲۰- سعدالدین، امیر، ۱۳۷۳، بررسی اثر پارامترهای هیدروژئومرفولوژیک بر حرکت‌های توده‌ای مواد دامنه‌ای در حوزه آبخیز چاشم و خطیر کوه سمنان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۲۱- سفیدگری، ر. ۱۳۸۱. ارزیابی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تهران.
- ۲۲- سیارپور، مرتضی. ۱۳۷۸. پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین لغزش در جنوب خلخال استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش اکتشاف، ص ۵۷.
- ۲۳- شریعت جعفری. م، ۱۳۸۸. ارزیابی ریسک ویژه‌ی زمین لغزش در بخشی از البرز جنوبی؛ مجله‌ی انجمن زمین‌شناسی مهندسی ایران.
- ۲۴- شریفی، ر. و کاظمی، م، ۱۳۸۲. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش با استفاده از مدل آماری در حوضه آبخیز شمال سمنان. سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه همدان.
- ۲۵- طباطبائی، س. ۱۳۷۷. پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در بخشی از استان اردبیل، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- ۲۶- طباطبائی، س. توفیق ریحانی، م.ح. ۱۳۸۲. راهنمای بررسی های محلی و تخمین پایداری سطوح شیب‌دار سنگی به روش تجربی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. گزارش تحقیقاتی شماره گ-۳۷۸.
- ۲۷- علیجانی، ب. ۱۳۷۹. آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.
- ۲۸- علیجانی، ب، کاویانی، م. ۱۳۸۰. مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ هشتم، تهران.
- ۲۹- فتاحی اردکانی، محمد علی، ۱۳۷۹، بررسی و ارزیابی کار آیی مدل‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش و تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز لتیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، مرکز آموزش عالی امام خمینی.

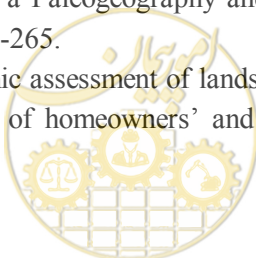


- ۳۰- فرج‌زاده، م.، س.، منتظرالقائم، ۱۳۷۵. پهنه‌بندی قابلیت رویداد زمین‌لغزه‌ها با استفاده از GIS مطالعه موردی: جاجرود تا رودهن. سومین کنفرانس سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی. ص: ۲۴۵-۲۶۱.
- ۳۱- فرهنگ‌فر، ر.، کمک‌پناه، ع. ۱۳۷۳. پهنه‌بندی ناپایداری شیب‌های سنگی در مناطق زلزله‌خیز. مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزه در کشور. ص: ۴۱۰-۴۲۹.
- ۳۲- کاردان، ر. و همکاران. ۱۳۸۳. گزارش «فهرست زمین‌لغزش‌های کشور»، گروه مطالعات امور زمین‌لغزش‌های سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور.
- ۳۳- کاشانچی، م.، ۱۳۹۰. تحلیل ریسک ناپایداری شیروانی‌ها در مخازن سدها؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد اراک.
- ۳۴- کاردان، ر. ۱۳۸۲. ارزیابی چهار روش طبقه‌بندی اقلیمی در ایران با مدل‌سازی رایان‌های، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دکتر بهلول علیجانی، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران مرکزی، گروه جغرافیا.
- ۳۵- کشاورز بخشایش، م. منتظرالقائم، س. ۱۳۷۹. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده جنوب البرز مرکزی (جاجرود - رودهن)، گردهمایی انجمن زمین‌شناسی ایران ۱۳۷۹ تبریز، ص ۳ و ۴.
- ۳۶- کمک‌پناه، ع.، حافظی‌مقدس، س. ۱۳۷۳. روش‌های پهنه‌بندی خطر لغزش. مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزه در کشور.
- ۳۷- گروه بررسی زمین‌لغزش‌ها. ۱۳۷۵. گزارش مرحله اول طرح ایجاد بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور. زیر کمیته زلزله و لغزش لایه‌های زمین.
- ۳۸- گی، ام. دی. ۱۹۹۲. طبقه‌بندی روش‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش و اندازه‌گیری توانایی پیش‌بینی آن‌ها، مترجم: محمد رضا مهدوی‌فر (۱۳۷۵)، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزهای معاونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی.
- ۳۹- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. ۱۳۷۸. آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، ویرایش دوم. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.
- ۴۰- معاونت آبخیزداری سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری. ۱۳۸۵. نقشه‌های رقومی کاربری اراضی کشور.
- ۴۱- مهدوی‌فر م.، نیک اندیش، ن. ۱۳۸۴. مطالعات مورد نیاز جهت جلوگیری از رویداد یا کاهش خسارات ناشی از زمین‌لغزش در کشور، جلد سوم: کلیات مطالعات و اقدامات مورد نیاز جهت بررسی زمین‌لغزش‌ها در کشور، کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین.
- ۴۲- مهدوی‌فر، م. ر. ۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه خورش رستم (جنوب غربی شهرستان خلخال)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه.

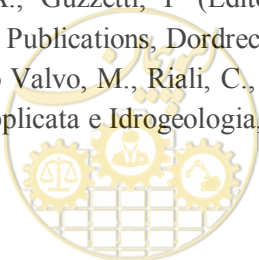


- ۴۳- مهدوی فر، م.ر.، منتظرالقائم، س. ۱۳۸۲. مطالعات پیشاهنگ پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در جنوب البرز مرکزی. پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، گزارش طرح تحقیقاتی برای کمیته فرعی - تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین.
- ۴۴- مهدوی فر، محمد رضا، ۱۳۸۵. ارزیابی تحلیلی و طراحی سامانه مدیریت ریسک زمین لغزش‌های ناشی از زلزله در کشور، پایان‌نامه دکترا، پژوهشگاه زلزله شناسی و مهندسی زلزله.
- ۴۵- میانجی یعقوب ۱۳۷۷، تحلیل چند متغیره آماری احتمال رویداد زمین لغزش با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در طالقان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴۶- میرصانعی، ر. مهدوی فر، م. ر. ۱۳۸۵. روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین لغزش؛ گزارش نهایی تهیه راهنمای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در ایران، پژوهشکده‌ی سوانح طبیعی
- ۴۷- میرصانعی، س.ر.، کاردان، ر. ۱۳۷۸، نگرشی تحلیلی بر ویژگی‌های زمین لغزش‌های کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم، ص ۲۴۷-۲۵۸.
- ۴۸- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، ۱۰۹ ص.
- ۴۹- نوریزدان. ع. الف.، ۱۳۸۵. بررسی ناپایداری و ریزش‌های سنگی شرق و شمال شرق شهر خرم‌آباد؛ پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد؛ دانشگاه بوعلی سینا
- ۵۰- نوگل سادات، م. ۱۳۷۵. طرح جامع خطر رانش استان گیلان. وزارت مسکن و شهرسازی، زیر کمیته زلزله و لغزش لایه‌های زمین.
- ۵۱- نیک‌اندیش، ن. ۱۳۷۸، بررسی نقش عوامل هیدرواقلیم در رویداد حرکات توده‌ای در حوضه‌ی کارون میانی با توجه به نقش رسوب‌زایی آن‌ها، پایان‌نامه دکترا، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا.
- 52- Abbot, B., Bruce, I., Savigny, W., Keegan, T., Oboni, F., 1998a. A methodology for assessment of rock fall hazard and risk along linear transportation corridors. In: Moore, D., Hunger, O (Editors) Proceeding of the 8th IAEG Congress, Vancouver, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1195-1200.
- 53- 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., Hunger, O (Editors) Proceeding of the 8th IAEG Congress, Vancouver, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1195-1200.
- 54- Abella, E.A. 2008. Multi-scale landslide risk assessment in Cuba, PhD Thesis, University of Utrecht, Cuba.
- 55- Abella, E.A., Van westen, C.J., 2005. Development of a system for landslide risk assessment for cuba. In: E. Eberhardt, O. Hungr, R. Fell., R. Couture (Editors), Proceeding, International Conference on Landslide Risk Management, May 31-Jun 3, 2005, Vancouver, Canada.
- 56- Abolmasod, B. and Stojkov, K. 1994. The Influence of the Landslide on Urban Planning in Belgrade City, Proc. of 7th. International Congress, International Association of Engineering Geology, Lisbon, Portugal, 3: 2161-2168.
- 57- AGS, 2000. Landslide risk management concepts and guidelines, Australian Geomechanics Society (AGS), Sub-Committee on landslide risk management.

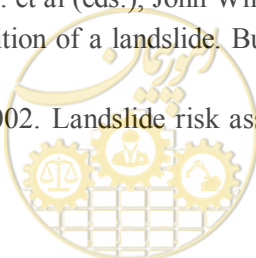
- 58- Ajalloeian R. et al, 1379; Investigation of Landuse in Relation to Landslide by Using Gis, Department of Geology, Isfahan University, Isfahan-Iran
- 59- Alavi, M., 1991. Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran, Geol. Soc. Of Amer. Bull. 103: 983-992
- 60- Aleotti, P., Chowdury, R., 1999. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bull Eng Geol Environ2:21-44
- 61- Alexander, D.E. 2002. Principal of Emergency Planning and Management, New York, Oxford University Press.
- 62- Alonso, E., 1986. Influencia del agua en la estabilidad de taludes. Roturas en roca. Casos reales. Riesgos Naturales en Ingenieria civil. U.P.C. Barcelona, 99-136.
- 63- Amimoto, P.Y. 1978. Erosion and Sediment Control Handbook. California Division of Mines and Geology, Department of Conservation. 197 p.
- 64- Anbalagan, R. 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain. Engineering Geology, 32: 269-278.
- 65- Anbalagan, R; Gupta, P; sharma, S. 1992. Landslide Hazard Zonation (LHZ) Mapping of Kathgodam-Nainital Area, Kumauh Himalaya, India. Regional Symposium on Rock Slopes, 1992, India. Pp. 3_4.
- 66- Anderson, L.R., Bowles, D.S., Pack, R.T., Keaton, J.R., 1996. A risk-based method for landslide mitigation. In: K. Sennest (Editors), 7th International Symposium on Landslide. A.A.Balkema, Trondheim, Norway, pp. 135-140.
- 67- Anderson, M.G. Richards, K.S.1987. Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology, John Wiley & Sons, New York, 648 pp.
- 68- Australian Geomechanics Society. 2000. Landslide Management Concept and Guidelines. Subcommittee on Landslide Risk Management. Australia.
- 69- Ayenew, T., & G., Barbieri, 2005. Inventory of landslides and Susceptibility Mapping in the Dessie Area, Northern Ethiopia. Engineering geology, (77): 1-15.
- 70- Balassanian, S. Yu. 2004. Global Seismic Risk Mapping Through a New Approach for Rapid Seismic Risk Assessment, IUGG Special Volume ,pp.413-430, also is available at: http://www.icce.ac.cn/shr_iaspei/docs/iugg_special_volume/iugg_p024_Balassanian.pdf.
- 71- Bates, R. L., Jackson, J. A. 1987. Glossary of Geology, Virginia, American Geological Institute, 788 pp.
- 72- Bayens, F.J., Lee, E.M., 1998. Geomophology in landslide risk analysis, an Interim report. In: Moore, D., Hungr, O (Editors) Proceedings of 8th IAEG Congress, Vancouver. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 1129-1136.
- 73- Bell, R., Glade, T. and Danschied, M., 2001. Challenges in defining acceptable risk levels. In: W. Ammann and S. Dannemann (Editors), Coping with Risks Due to Natural Hazards in th 21st Century: "RISK 21".-28. September – 03. December 2004. Balkema, Monte verita (CH), pp. 1-10.
- 74- Bell, R., Glade, T., 2004. Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bildudalur, NW-Iceland. Natural Hazards and Earth System Sciences, \$: 117-131.
- 75- Berberian, M. et al., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evaluation of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences. 18(2): 210-265.
- 76- Blochl, A., Braun, B., 2005. Economic assessment of landslide risk in the Swabian Alb, Germany – research framework and first results of homeowners' and experts' surveys. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5: 389-396.



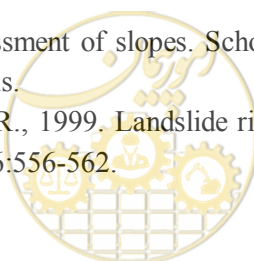
- 77- Brabb, E.E. 1984. Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping. IV International Symposium on Landslides(Toronto, 1984), 1:307-323
- 78- Brabb, E.E. et al. 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County, California, US Geological Survey Miscellaneous field studies map. MF360, scale 1:62500.
- 79- Brand, E.W., 1988. Special lecture: Landslide risk assessment in Hong Kong. In: C. [78] Bonnard (Editor), Proc 5th International Symposium on Landslides. Publ Rotterdam: A A Balkema, Laussane, pp. 1059-1074.
- 80- Brass A., Wadge, G., Reading, A. J. 1989. Designing a Geographical Information System for the Prediction of Landsliding Potential in the West Indies. Proc. of Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions, University College, London, 3-7 April, 1989, 13 pp.
- 81- Brunsdon, D. et al. 1975. Large Scale Geomorphological Mapping and Highway Engineering Design. Quart. J. Eng. Geol., 8: 227-253.
- 82- Budetta , P., 2004. Assessment of rockfall risk along roads. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 71-81.
- 83- Bureau of Indian Standards. 1998. Preparation of Landslide Hazard Zonation Maps in Mountainous Terrains-Guidelines, Hill Area Development Engineering Sectional Committee, New Delhi, India.
- 84- Campbell, R.1975. Soil Slips, Debris Flows and Rainstorms in the Santa Monica Mountains and Vicinity, Southern California” USGS Professional paper 851.
- 85- Canutti et al. 1985. Stabilita dei Versanti Nellarea Representative di Montespertoli (Firenze), S.E.L.C.A Firenze. 2 mapsheet.
- 86- Canutti, P. 1986. Slope Stability Mapping in Tuscany Italy, In: International Geomorphology. 142: 231-239.
- 87- Canutti, P., Frascati, F. , Garzonio, C.A., Rodolfi, G. 1979. Dinamica Morfologica di un Ambiente Sogetto a Fenomeni Franosi e ad Intensa Attiva’ Agricola. C.N.R. Publication No. 142., National Research Council, Firenze, Italy, pp. 81-102.
- 88- Capecchi, F. Focardi, p. 1988. Rainfall and Landslides: Research into a Critical Precipitation Coefficient in an Area of Italy. Proc. 6th. International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, 2: 1131-1136.
- 89- Capolongo, D; Refice, A; Mankelow, J M. 2002 Evaluating earthquake-triggered landslide hazard at the basin scale through GIS in the Upper Sele River Valley. Surveys in Geophysics, 23 (6). 595-625.
- 90- Carrara, A. and Merenda, L., 1974. Metodologia per un Censimento Degli Eventio Franoso in Calabria. Geologica Applicata e Idrogeologia, X:237-255.
- 91- Carrara, A., Cardinali, M, Guzzetti, F., 1992. Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. ITC J 2:172-183.
- 92- Carrara, A., Cardinali, M., Detti, R., Guzzetti, F., Pasqui, V., Reichenbach, P., 1991. GIS techniques and statistical models in evaluating landslide hazard. Earth Surface Processes and Landforms 16: 427-445.
- 93- Carrara, A., Cardinali, M., Guzzetti, F., Reichenbach, P., 1995. GIS-based techniques for mapping landslide hazard. In: Carrara, A., Guzzetti, F (Editors) Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Publications, Dordrecht, pp 135-176
- 94- Carrara, A., Catalano, E., Sorriso Valvo, M., Riali, C., and Osso, I., 1978, Digital Terrain Analysis for Land Evaluation. Geologia Applicata e Idrogeologia, Vol. XIII: 69-127.



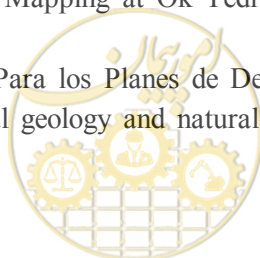
- 95- Carrara, A., Guzzetti, F., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Use of GIS technology in the prediction and monitoring of landslide hazard. *Nat Hazards* 20:117-135
- 96- Carrara, A., Pugliese Carratelli, E., Merenda, L., 1977. Computer-based Data Bank and Statistical Analysis of Slope Instability Phenomena. *Zeitschrift fur geomorphologie N. F.*, 21(2): 187-222.
- 97- Cascini, L., 2004. Risk assessment of fast landslide – from theory to practice. In: W.A. Lacerda, M. Ehrlich, S. Fontoura., A. Sayao (Editors), *Proc 9th International Symposium on Landslide. Landslide: Evaluation and Stabilization. ISL 04, Rio de Janeiro*, pp. 20.
- 98- Chacon, J., Irigaray, C. & Fernandez, T., 1994. Large to Middle Scale landslides Inventory Analysis and Mapping with Modeling and Assessment of Derived Susceptibility, Hazards and Risks in a GIS. 7th International IIAEG congress. P: 4669-4678.
- 99- Chacon, J., Irigaray, C., Fernandez, T., El Hamdouni r, 2006. Engineering Geology maps: landslide and GIS, *Bull Eng. Geo. Environ.* 65:341-411.
- 100- Chang, S.C.1992. The Simprecise Mapping and Evaluation System for Zonation Engineering Geological and Landslide hazard, *Landslide*, volume 2, 1992. pp.907.
- 101- Chardon AC. (1999) A geographic approach of the global vulnerability in urban area, *Geo. Journal* 49: 197-212.
- 102- Chi, K. & et al., 2002. Fuzzy Logic Integration for Landslide Hazard Mapping using Spatial Data from Boeun, Korea. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*.
- 103- Chowdhury, R., Flentje, P., 2003. Role of slope reliability in landslide risk management. *Bulletin of Engineering Geogy and Environment*, 62: 41-46.
- 104- Chowdhury, R.N., 1988. Special lecture: analysis methods for assessing landslide risk- recent developments. In: Bonnard (Editor), *Proc 5th International Symposium on Landslides. Publ Rotterdam: A A Balkema, Lausanne*, pp. 515-524
- 105- Chowdury, R.N. 1984. Recent Developments in Landslide Studies: Probabilistic Models, *Proc. 4th. International Symposium on Landslide, Toronto, Canada*, 1: 209-220.
- 106- Chung C., Bobrowsky P.T., Guthrie R. 2002. Quntitative Prediction Model for Landslide Hazard Mapping: Tisitika and Schmidt Creek Watersheds, Northern Vancouver Island, British Columbia, Canada. *Geoenvironmental mapping methods- theory and practice*.
- 107- Coates, D.R. 1977. Landslide Prespectives, In: *Landslides, Coates(Ed.)*, Geological Society of America, pp. 3-28.
- 108- Corominas, J., Mavrouli, O., the Safeland Project Team (Santo, A., Di Crescenzo, G., Ulrich, T., Sedan Miegemolle, O., Malet, J.-P., Remaître, A., Narasimhan, H., Faber, M.H., Maftei, R., Filipciuc, C.T., Van Den Eeckhaut, M., Hervás, J., Smith, J., Winter, M., Tofani, V., Casagli, N., Crosta, G.B., Agliardi, F., Frattini, P., Cascini, L., Ferlisi, S.), 2012. Comparison of landslide hazard and risk assessment practices in Europe. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 14, EGU2012-8557-1.
- 109- Crozier, M. J., 1986, *Landslides: Causes, Consequences and Environment*. Croom Helm, London, England, 245pp.
- 110- Crozier, M. J., Glade, T. 2004. Landslide Hazard and Risk: Issues, Concepts and Approach, In: *Landslide Hazard and Risk, Glade, T. et al (eds.)*, John Wiley and Sons, Ltd. pp. 1-40.
- 111- Cruden, D.M., 1991. A simple definition of a landslide. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology* 43:27- 29.
- 112- Dai, F.C., Lee, C.F., Ngai, Y.Y., 2002. Landslide risk assessment and management: an overview. *Eng Geol* 64:65-87



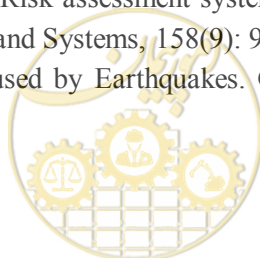
- 113- Das D., GIS application in hydrogeological studies, Department of Environmental Science, University of Kalyani, W.B.-741235, India- ddas@klyuniv.ernet.in
- 114- Davis J.C., Chung C., Ohlmacher G. C. 2003. Two Models for Evaluation Landslide Hazards. Proc. of IAMG annual meeting. Portsmouth, UK. Website: http://www.iamg.org/meetings/Proceedings_2003/papers/Davis.pdf
- 115- Davis, J.C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley & Sons, New York, 546 pp.
- 116- Decaulne, A., 2005. Slope Processes and related risk appearance within the Icelandic Westfjords during the twentieth century. Natural Hazards and Earth System Sciences, 5: 309-318.
- 117- Del Gaudio V., Wasowski, J., 2004. Time probabilistic evaluation of seismically induced landslide hazard in Irpinia (Southern Italy). Soil Dyn Earthquake Eng. Vol. 24. pp. 915-928.
- 118- Dhakal, S., Ahmada, T. and Aniya, M., 2000. Databases and Geographic Information System for Medium Scale landslide Hazard Evaluation: and Example From Typical Mountain Watershed in Nepal. Landslide in research, theory and practice.
- 119- Disperati L., Guastaldi E., Rindinella A., 2003. Landslide Hazard Prediction in the North-eastern Apennines (Italy). Geophysical research abstracts.
- 120- Einstein, H.H., 1997. Landslide risk—systematic approaches to assessment and management. In: Cruden, D., Fell, R., (Editors) Landslide risk assessment. A.A. Balkema, Rotterdam, pp 25-50.
- 121- Einstein, H.H., 1988. Landslide Risk Assessment Procedure Landslides (Proceeding of 5th International Symposium on Landslides), C. Bonnard (ed.), pp. 1075-1090
- 122- Eoishacher, G. H., Clague J. J. 1984. Destructive Mass-movement in Thigh Mountains Hazard and Management, Geological Survey of Canada, P. 84-106.
- 123- Ercanoglu, M; Gokceoglu, C. (2003). Landslide Susceptibility Mapping for the South of Kumluca (West Black Sea Region, Turkey) by Statistical Index Method, WWW.IAMG.ORG / MEETINGS / PROCEEDINGS_2000 / PAPERS / Gokceoglu.pdf,
- 124- Feiznia S., Bodaghi B., 2000. A Statistical Approach for Logical Modelling of a Landslide Hazard Zonation in Shahrood Drainage Basin. Proc. On Landslide in research, theory and practice, 2:549-552.
- 125- Fell, R., 1992. Some landslide risk zoning schemes in use in Eastern Australia and their application. In: Proceeding of the 6th Australian-New Zealand conference on geomechanics society, Christchurch, NZ, pp 505-512.
- 126- Fell, R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal 31:261-272.
- 127- Fell, R., Hartford, D., 1997. Landslide risk management. In: Cruden, D., Fell, R., (Editors) Landslide risk assessment. Balkema, Rotterdam, pp 51-109
- 128- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment. In: E, Eberhardt, O. Hunger, R. Fell and R. Couture (Editors), Proceedings, International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver, Canada.
- 129- Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management, Proceedings International Conference on Landslide Risk Management, London, Taylor & Francis, 3-25.
- 130- Finlay, P.J., 1996. The risk assessment of slopes. School of Civil Engineering, University of New South Wales, Australia, PhD thesis.
- 131- Finlay, P.J., Mostyn, G.R., Fell, R., 1999. Landslide risk assessment: Prediction of travel distance. Canadian Geotechnical Journal 36:556-562.



- 132- Forest Practices Code of British Columbia Act. 1999. Mapping and Assessing Terrain Stability Guidebook.
Website:<http://www.for.gov.bc.ca/TASB/LEGSREGS/FPC/FPCGUIDE/terrain/ziped/terrain.pdf>
Forest Practices Division.2005. Landslide Hazard Zonation Project Protocol. Washington State Department of Natural Resources, http://www.dnr.wa.gov/forestpractices/lhzproject/lhz_protocol_v2_final.pdf
- 133- Gee, M. D. 1992. Classification of Landslide Hazard Zonation Methods and a Test of Predictive Capability. Proc. 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2: 947-952.
- 134- Glade, T., Anderson, M., Crozier, M.J., (Editors), 2005. Landslide hazard and risk. John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England. 802pp.
- 135- Gokceoglu, C., et al. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu Landslide(Sivas, turkey) and Landslide-Susceptibility Map of its Near Vicinity, Engineering Geology, Vol.81, pp. 65-83
- 136- Gonzalez, A.J. 1992. Avalanch Risk Evaluation at Utica(Colombia). Proc. 1th Symposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de Informacion Geografica (SIG) para el estudio de Riesgos Naturales, Bogota, Colombia, pp. 356-378.
- 137- Grunder, M. 1980. Beispiel Einer Anwendungsorientierten Gefahrenkartierung 1:25000 fur Forstliche Sanierungsprojekte Im Berner Oberland (Schweiz) Proceedings Interpraevent 1980, Bad Ischl, Austria, 4: 353-360.
- 138- Gupta, R.P., & Joshi, B.C., 1990. Landslide Hazard Zoning Using the GIS Approach – A case Study from the Ramganga Catchment, Himalayas. Engineering geology. 28: 119-131.
- 139- Gupta, R.P., Joshi, B.C., 1989. Landslide hazard zoning using the GIS approach—a case study from the Ramganga catchment, Himalayas. Engineering Geology 28, 119–131
- 140- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multiscale study, Central Italy. Geomorphology 31:181–216.
- 141- Haeri, S.M. Samiee, M. 1994. Same Methods on Landslide Microzonation, Proc. 10th European Conference on Earthquake Engineering: 95-100.
- 142- Hammond, C. J., Prellwitz, R. W., Miller, S. M., 1992, Landslide Hazard Assessment Using Monte Carlo Simulation. Proc. 6th. International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, 2: 959-964.
- 143- Hansen, M. J. 1984. Strategies for Classification of Landslides, In: Slope Instability, Brunsten & Prior(eds.), Jhon Wiley and Sons Ltd. pp. 1-25.
- 144- Harp, E.L. Jibson, R.W. 1995. Inventory of Landslides Triggered by the 1994 Northridge, California Earthquake: U.S. Geological Survey Open-File Report 95-213, 17p.
- 145- Harp, E.L. Jibson, R.W. 1996. Landslides Triggered by the 1994 Northridge, California Earthquake: Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 86, No. 1B, pp. S319- S332.
- 146- Hartford, D.N.D. and Baecher, G.B. (2004). "Risk and uncertainty in dam safety". Thomas Telford. London, UK. 391 p.
- 147- Hearn, G.J., 1992. Terrain Hazard Mapping at Ok Tedi Mine, Papua New Guinea. In: Bell(ed.) Proc. on Landslides, 971-976.
- 148- Hermelin, M. 1990. Bases Fisicas Para los Planes de Desarrollo de los Municipios de Risaralda. AGID reports nr. 13. Environmental geology and natural hazard of the Andean region. pp. 269-274.



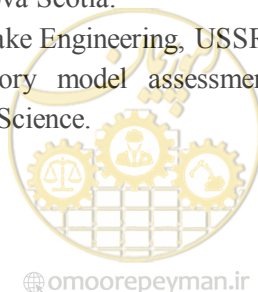
- 149- Hermelin, M. 1992. Medio Ambiente, Planes de Desarrollo y Toma de Decisiones. Proc. 1th. Simposio Internacional sobre Sensores Remotos y Sistemas de o Informacion Geografics (SIG) para el studio de Riesgos Naturales, Bogota, Co Colombia, pp. 646-663.
- 150- Ho, K., Leroi, E., Roberds, B., 2000. Quantitative risk assessment. Application, Myths and future directions. GeoEng 2000, Technomic Publishing, 269-312.
- 151- Hoek E, Carranza-Torres CT, Corkum B.2002. "Hoek-Brown failure criterion-2002 edition". Proceedings of the fifth North American rock mechanics symposium 1: 267–273.
- 152- 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.
- 153- Hutchinson, J.N. 1968. Mass movement, In: Encyclopaedia of Aarth Sciences, Fairbridge(Ed.), Reinhold, New York, pp. 688-695.
- 154- IADB, 2005. Indicators of disaster risk management. Summary report for WCDR, Inter-American Development Bank (IADB), Manizales, Colombia
- 155- ICG, 2003. Risk assessment. Basic terms for landslides. ICG- International centre for Geohazards.
- 156- Ingles J., Darrozes, J., Soula J.C. 2006. Effects of the vertical component of ground shaking on earthquake-induced landslide displacements using generalized Newmark analysis. Engineering Geology, 86 (2-3): 134 – 147.
- 157- International Association of Engineering Geology(IAEG).1976. Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation. UNESCO Press, Paris, 79pp.
- 158- Ives, J.D. Messerli, B. 1981. Mountain Hazard Mapping in Nepal. Introduction to an Applied Mountain Research Project. Mountain Research and Development, 1(3,4): 223-230.
- 159- Jaedicke, C., Nadim, F., Kalsnes, B., Sverdrup-Thygeson, K., Radermacher, C., Fischer, G., Hervás, J., Van Den Eeckhaut, M., 2012. Impacts of global change on landslide hazard and risk in Europe in 21st century. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-7010.
- 160- Jagannatha Rao P., Kumar K., 1992. Landslide Hazard Zonation in Himalaya. Proc. Int. Regional symposium on rock slopes, pp. 53-59.
- 161- Jibson, R. W., Harp, E.L., and Michael J.A., 1998. A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps: An Example from the Los Angeles, California, Area, U.S. Geological Survey, Open-File Report 98-113, 17 p.
- 162- Jibson, R. W., Harp, E.L., and Michael J.A., 1998. A Method for Producing Digital Probabilistic Seismic Landslide Hazard Maps: An Example from the Los Angeles, California, Area, U.S. Geological Survey, Open-File Report 98-113, 17 p.
- 163- Jibson, R.W., 1993. Predicting Earthquake-Induced Landslide Displacement Using Newmark's Sliding Block Analysis. Transportation Research Record 1411, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- 164- Jibson, R.W., 2007. Regression models for estimating coseismic landslide displacement. Eng Geol. vol. 91, pp. 209–218.
- 165- Kanagawa Prefectural Government. 1986. Prediction of Seismic Damage in Kanagawa Prefecture, In: TC4, 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, pp. 54-56.
- 166- Karimi, I., Hullermier, E., 2007. Risk assessment system of natural hazard: A new approach based on fuzzy probability. Fuzzy Sets and Systems, 158(9): 987-999
- 167- Keefer, D. 1984. Landslides Caused by Earthquakes. Geological Society of America Bulletin 95: 406-421.



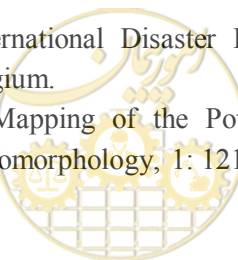
- 168- Keefer, D.K. et al., 1987. Real-Time Landslides Warning During Heavy Rainfall, *Science*, 238: 921-925.
- 169- Khawlie M.R., 1994. Hazard Mapping: The Abou A'li river Flood, Tripoli-Lebanon. Proc. 7th international IAEG congress. 2: 2049-2057.
- 170- Kienholz et al. 1983. Kathmandu-Kakani Area, Nepal: Mountain Hazard and Slope Stability Map. United Nations University, Mountain Hazard Mapping Project: Map No.4. Scale 1:10000.
- 171- Kienholz et al. 1988. Rigi Nordlene. Beurteilung der Naturgefahren und Waldbauliche Prioritatenfestlegung. Proc. Interpraevent 1988, Graz, Austria, 1: 161-174.
- 172- Kienholz, H. 1977. Kombinierte Geomorphologische Gefahrenkarte 1:10000 Von Grindelwald. *Geographica Bernensia* G4, Geographisches Institut Universitat, Bern, Switzerland.
- 173- Kienholz, H. 1987. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland, scale 1:10000, *Arctic and Alpine Research*, 10: 169-184.
- 174- Kienholz, H., 1980. Zur Anwendung des Luftbildes bei der Mittelmasstaabigen Gefahrenkartierung fur Regionalplanerische Zwecke in Schlecht Erschlossenen Gebirgsraumen Anhand von Erfahrungen aus Kartierungen in den Colorado Rocky Mountains. Proc. Interpraevent 1980, Bad Ischl, Austria, 3: 155-172.
- 175- Kienholz, H., 1984. Hangstabilitats- und Gefahrenbeurteilung Im Nepalischen Mittelgebirge. Proc. Interpraevent 1984, Villach, Austria, 2: 331-342.
- 176- Ko Ko, C., Flentje, P., Chowdhury, R., 2004. Landslide quantitative hazard and risk assessment method and its reliability. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 63(2): 149-165.
- 177- Kobashi, S., Suzuki, M. 1988. Hazard Index for the Judgment of Slope Stability in the Rokko Mountain Region. Proc. INTERPREVENT 1988, Graz, Austria, 1: 223-233.
- 178- Koirala, N.P., Watkins, A.T., 1988. Bulk appraisal of slopes in Hong Kong. In: C. [178] Bonard(Editor), Proc 5th International Symposium on Landslides. Publ Rotterdam: A A Balkema, Lausanne, pp. 905-909
- 179- Kong, W.K., 2002. Risk Assessment of slopes. *Quarterly of Engineering Geology and Hydrogeology*, 35: 213-222.
- 180- Koukis, G., Ziourkas, C. 1991. Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis. *Bull. Int. Assoc. Eng. Geol.* 43:47-60
- 181- Kumar, P., Shina, U.N. 1998. Landslide Hazard zonation in Joshimath-Jelam Area, Garhwal Himalaya, U.P., India. 8th international IIAEG congress. P: 925-932.
- 182- Kvalstad, T.J., Nadim, F., Harbitz, C.B., 2001. Deepwater geohazard: Geotechnical concerns and solutions. *Offshore Technology Conference.*, 11pp.
- 183- Laird, R.T., Perkins, J.B., Bainbridge, D.A., Baker JB, Boyd, R.T., Huntsman, D., Staub, P.E., Zucker, M.B., 1979. Qualitative land-capability analysis. US Geological Survey Professional paper 945. US Department of Interior, Washington, 115 pp.
- 184- Lamas P.C., Rodrigues-carvalho J.A. 1994. A Case of Landslide Hazard Zonation in Almada County. Proc. 7th international IAEG congress. 2: 2239-2243.
- 185- LANDSLIDE SITE ; <http://eu soils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/LandSlides>
- 186- Latelin, O.E., 1997. Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bundesamt für Raumplanung (BPR), Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern.
- 187- Lee, E.M., Jones, D.K.C. (Editors), 2004. Landslide risk assessment. Thomas Telford, London, 454pp.



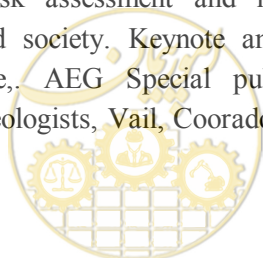
- 188- Lee, E.M., Jones, D.K.C., 2004. Landslide risk assessment. Thomas Telford, London, pp 454
- 189- Lee, S. Evangelista, D.G. 2006. Earthquake-induced landslide-susceptibility mapping using an artificial neural network, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6: 687–695.
- 190- Leone, F., Aste, 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.
- 191- Leroi, E., 1996. Landslide hazard—risk maps at different scales: objectives, tools and development. In: Senneset K (eds) *Landslides—Glissements de Terrain*, 7th International symposium on landslides. Balkema, Trondheim, Norway, pp 35–51.
- 192- Leroueil, S., Locat, J., 1998. Slope monements_ Geotechnical characterization, risk assessment and mitigation In: Moore, D., Hunger, O., (Editors) *Proceeding of the 8th IAEG Congress*, Vancouver, A.A. Balkema, Rotterdam, pp 933-944.
- 193- Leroueil, S., Locat, J., Vaunat, J., Picarelli, L., Lee, H., Faure, R., 1996. Geotechnical characterization of slope movements. In: Senneset, K. (Ed.), *Landslides*. Balkema, Rotterdam, pp. 53–74.
- 194- Li, T., Wang, S., 1992. *Landslide Hazards and their Mitigation in China*. Science Press, Beijing, 84 pp.
- 195- Lin, C.W, Shieh, C.L., Yuan, B.D., Shieh, Y.C., Liu, S.H., Lee, S.Y. 2003. Impact of Chi-Chi earthquake on the occurrence of landslides and debris flows: example from the Chenyulan River, watershed, Nantou, Taiwan, *Engineering Geology* 71 (2003) 49–61.
- 196- Liu, X., and Lei, j., 2003. A method for assessing regional debris flow risk: an application in Zhaotong of Yunnan province (SW China), *Geomorphology* 52:181–191.
- 197- Lumb, P. 1975. Slope Fialures in Hong Kong, *Quartly Journal of Engineering Geology*, pp. 31-65.
- 198- Lumb, P. 1975. Slope Failures in Hong Kong", *Quartly Journal of Engineering Geology*, P. 31, 65.
- 199- Luzi L., Pergalani F., Terlien M.T.J. 2000. Slope vulnerability to earthquakes at subregional scale, using probabilistic techniques and geographic information systems. *Engineering Geology* 58: 313–336.
- 200- Luzi, L. 1995. GIS for Slope Stability Zonation in the Fabriano Area, Central Italy, Ms thesis, ITC, Enschede, The Netherland, 1995.
- 201- MahdaviFar, M.R., 2000. Fuzzy Information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System. *Landslides in research, theory and practice*. 993-997.
- 202- MahdaviFar, M.R., Jafari, M.K., Zolfaghari, M.R., 2008. Real-Time Generation of Arias Intensity and Seismic Landslides Hazards Maps Using GIS. *Journal of Seismology and earthquake engineering (JSEE)*, 10(2):81-90.
- 203- Malgot, J., Mahr, T. 1979. Engineering Geological Mapping of the West Carpathian Landslide Areas. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 19: 116-121.
- 204- Mallamud, B.D., 2003. A universal probability distribution for landslide events. *Geophys Res abstr* 5:04399.
- 205- McLean, A., 2011. Landslide Risk Assessment using Digital Elevation Models. MSc Thesis, Dalhousie University Halifax, Nova Scotia.
- 206- Medvedev, S. M., 1962. *Earthquake Engineering*. USSR Academy of Sciences (in Russian).
- 207- Miles, S. B. 2010 “Participatory model assessment of earthquake-induced landslide hazard models.” *Nat. Hazards*, Springer Science.



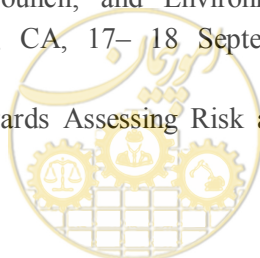
- 208- Miles, S. B. and Keefer, D. K. 2009. "Evaluation of CAMEL — comprehensive areal model of earthquake-induced landslides" Eng. Geol. (Amsterdam), 104 1-2, 1–15.
- 209- Miles, S.B., Keefer, D.K., 2007. "Comprehensive areal model of earthquake-induced landslides: technical specification and user guide" U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1072. 69 pp
- 210- Mora, S., Vahrson, W.-G., 1994, Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination: Bulletin of the International Association of Engineering Geology,, 31(1): 49-58.
- 211- Morgan, G.C., 1992. Quantification of risks from slope hazards. Open File Report No. 1992-15, Geological Survey of Canada, Canada.
- 212- Morgenstern, N.R., 1997 Toward landslide risk assessment in practice. In: Cruden D, Fell R (Editors) Landslide risk assessment. AA Balkema, Rotterdam, pp 15– 23.
- 213- Morgenstern, N.R., 1997. Toward landslide risk assessment in practice. In: Cruden, D., Fell, R. (Editors), Landslide Risk Assessment. Balkema, Rotterdam, pp. 15– 23.
- 214- Mossa, S., 2004. Assessment of landslide hazard and risk in the western part of the cervaro basin, Puglia, southern Italy. PhD Thesis, University of Bari, Bari, Italy.
- 215- Mulder, H. F. H. M. 1991. Assesment of Landslide Hazard. Netherlandse Geografische Studies. PhD thesis University of Utrecht, 150p.
- 216- Mulder, H. F. H. M., van Asch, T. W. J., van, 1988, A Stochastic Approach to landslide Hazard Determination in a Forested Area. Proceeding 5th. International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, 2: 1207-1210.
- 217- Murphy, W., Vita-Finzi, C., 1991. Landslides and Seismicity: An Application of Remote Sensing. Proceedings 8th. Thematic Conference on geological Remote Sensing (ERIM), Denver, Colorado, USA, 2: 771-784.
- 218- Nadim, F., Haugland, H. and McLean, A., Work Project 1.4: Landslides Triggered by Anthropogenic Factors, Deliverable 1.6, SafeLand - Living with Landslide Risk in Europe, EU FP7 Research Project No 226479, 2010.
- 219- Nadim, F., Kjekstad, O., Domaas, U., Rafat, R., Peduzzi, P., 2006. Global landslide risk case study. In: M. Arnold, R.S. Chen, U. Deichemann and M. Dilley (Editors), Natural disaster hotspots. Case studies. The World Bank, Washington,D.C., pp.204.
- 220- Nadim, F., Kronic, D., Jeanjean, P., 2003. Probabilistic slope stability analyses of the Sigsbee Escarpment. Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 8pp
- 221- Nadim, F., Lacasse, S., 1999. Probabilistic slope stability evaluation. Geotechnical risk management, Hong Kong Institution of Engineering, Hong Kong, 177-186.
- 222- Nadim, F., Lacasse, S., 2003. Review of probabilistic methods for quantification and mapping of geohazards. Geohazards 2003, Edmonton, 276-386.
- 223- Nadim, F., Lacasse, S., 2004. Mapping of landslide hazard and risk along the pipeline route, Terrain and Geohazard Challenges facing Oil and Gas Pipelines.london.
- 224- Narula P.L., Gupta S.K., Sharda Y.P., Singh J. 1996. Crustal Adjustment and Related Landslide Hazard, Proc. On Landslides, Glissements terrain. 2: 995-1000.
- 225- Newmark, N. M. 1965. Effect of Earthquakes on Dams and Embankments. Geotechnique, 15(2): 139-159.
- 226- OFDA/CRED. 2007. EM-DAT International Disaster Database – www.em-dat.net. University Catholique de Louvain, Brussels, Belgium.
- 227- Okimura, T. Kawatani, T. 1986. Mapping of the Potential Surface-failure Sites on Granite Mountain Slopes. In: International Geomorphology, 1: 121-138.



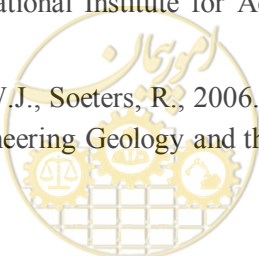
- 228- Omar 1990. Use of SIR-A Interpretation for Underground Water Prospecting in Southern Iraq. Proceed, Remote Sensing: An operational technology for mining and petroleum Industries-165-172, imm. London
- 229- Pachauri, A. K., and Pant, M., 1992, Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes. Engineering Geology, Vol. 32, No. ½, pp. 81-100.
- 230- Perrot, A., 1988, Cartographie des Risques de Glissement en Lorraine. Proceeding 5th. International Symposium on Landslides. Lausanne, Switzerland, Vol. 2, pp. 1217-1222.
- 231- Phi, N.Q., Bac, B.H. 2004. Landslide Hazard Mapping using Bayesian Approach in GIS – Case Study in Yangsan Area, Korea. International symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences.
- 232- Pierson, L.A., Davis, S.A., Van Vickle, R., 1990. Rockfall Hazard Rating System: Implementation Manual: Federal Highway Administration Report OR-EG-90-01, 172pp.
- 233- Pierson, L.A., Van Vickle, R., 1993. Rockfall Hazard Rating System: Participant's Manual: Federal Highway Administration Publication SA-93-057, 104pp.
- 234- Prina, E., Bonnard, Chr., Vulliet, L., 2004. Vulnerability and risk assessment of a mountain road crossing landsides. Riv Ital Giotec 2: 67-79.
- 235- Pzham, M.R. & Shariat Jafari, M., 1998. A Statistical Approach for logical Modeling of landslide Hazard zonation. 8th International IIAEG congress. P: 965-969..
- 236- Quoc Phi N., Hoang Bac B., 2004. Landslide Hazard Mapping Using Bayesian Approach in Gis- Case study in Yangsan Area, Korea. International symposium on geoinformatics for spatial infrastructure development in earth and allied sciences.
- 237- Raghavan V., Masumoto S., Kajiyama A., Nemoto T., Fujita T., 2004. Landslide hazard zonation using the Grass Gis: A Case study in the Ojiya District, Niigata prefecture, Japan. International symposium on geoinformatics for spatial infrastructure development in earth and allied
- 238- Ragozin, A.L., 1996. Modern problems and quantitative methods of landslide risk assessment. In: K.Sennest (Editor), VII International Symposium on Landslide. A.A.Balkema, Trondheim, Norway, pp 339-344.
- 239- Ragozin, A.L., Tikhvinsky, I.O., 2000. Landslide hazard, Vulnerability and risk assessment , 8th International Symposium on Landslides. Thomas Telford Ltd., Cardiff, Wales.
- 240- Rajabi, A.M., MahdaviFar, M, Khamechian, M., Del Gaudio V. 2011. A new empirical estimator of coseismic landslide displacement for Zagros Mountains Region (Iran), Natural Hazards Available Online at: <http://www.springerlink.com/content/f174wt3vh605w873/>
- 241- Ramarkrishnan S.S., Sanjeevi Kumar V., Zaffar Sadiq M.G.S.M., Venugopal K. 2004?. Landslide Zonation for Hill Area Development. Web site: www.gisdevelopment.net/application/natural_hazard/landslides.
- 242- Refice, A., Capolongo, D., 2002. Probabilistic modeling of uncertainties in earthquake-induced landslide hazard assessment. Computer and Geosciences, vol. 28, pp. 735-749.
- 243- Roberts, N.J., Nadim, F. & Kalsnes, B. 2009, Quantification of vulnerability to natural hazards. GeoRisk DOI:10.1080/17499510902788850.
- 244- Roberts, W.J., 2007. Slope risk assessment and management. In: A.K. Turner and R.L. Schuster (Editors), Landslide and society. Keynote and invited presentations at the 1st North American Landslide Conference, AEG Special publications No. 22. The Association Of Environmental & Engineering Geologists, Vail, Colorado, June 3-8, 2007, pp 319-345.



- 245- Rocha, G.C., 2004. Landslide risk mapping methodology applied to medium size urbanities in Brazil: case study of Juiz de Fora town, Minas Gerais state. In: Lacerda WA, Ehrlich M. Fontoura SAB, Sayao ASF (Editors) Landslide: evaluation and stabilization. Balkema, Taylor & Francis Group, London, pp 297-302.
- 246- Romeo, R. 2000. Seismically induced landslide displacements: a predictive model, Engineering Geology 58: 337-351.
- 247- Runqiu, H., Yuanguo, L. 1992. Logical Message Model of Slope Stability Prediction in Three Gorges Reservoir Area, China, Proceedings 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, New Zealand, Vol. 2, pp. 977-981.
- 248- Rupke et al, 1988, Engineering Geomorphology of the Widentobel Catchment, Appenzell and Sankt Gallen, Switzerland. A geomorphological inventory system applied to geotechnical appraisal of slope stability. Engineering Geology 26, pp. 33-68.
- 249- Rupke et al. 1987, A Geomorphological Mapping System at Scale 1:10,000 for Mountainous Area. Zeitschrift fur Geomorphologie N. F., 31 No. 2, pp.229-242.
- 250- Sabto, N. 1991. Probabilistic Modelling Applied to landslides in Central Colombia Using GIS Procedures. Unpublished Msc thesis, ITC, Enschede, Netherlands, 26pp.
- 251- Safavi, S. M., 1977. Assessment of the Landslide Hazard in the Damavand Basin. Ms thesis, ITC, Enschede, The Netherlands.
- 252- Salvadier-Sali, A., Einstein, H.H., 2007. A Landslide risk rating system for Baguio, Philippines. Engineering Geology, 91(2-4): 85-99.
- 253- SAOAS.1991. Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planning, Chapter 10: Landslide Hazard Zonation. Department of Regional Development and Environment Executive Secretariat for Economic and Social Affairs Organization of American States
- 254- Schuster, R. 1978. Landslides: Analysis and Control(Introduction), Schuster and Krizek(eds.), Transportation Res. Board Nat. Ac. Sci. Washington Spec. Rep. 176, pp. 1-10.
- 255- Schuster, R.L., Fleming, R.W., 1986. Economic losses and fatalities due to landslides. Bull Assoc Eng Geol 23:11-28
- 256- Seijmonsbergen, A. C., 1992, Geomorphological Evaluation of an Alpine Area and its Application to Geotechnical and Natural Hazard Appraisal. PhD Thesis, University of Amsterdam, 109 pp.
- 257- Seker D.Z., Altan M.O., Duran Z., Shretha M.B., Yuasa A., Kawamura K., 2003?. Producing landslide Risk Map of Sebinkarahisar by Means of Remote Sensing and Gis Techniques. E-mail: (seker, oaltan, duranza)@itu.edu.tr.
- 258- Seshagiri, D.N., C.B., Lakshmikantham, R., Upendran & K., Subramanian, 1982. Landslide Zonation in Nilgiri Plateau, Tamil Nadu, India. 4th Congress international association of engineering geology. Volume 1, P: 379-390.
- 259- Sharpe, C. F.S. 1938. Landslide and Related phenomena, Columbia Univ. Press, New York.
- 260- Slosson, J.E., Krohn, J.P., 1982. Southern California landslides of 1978 and 1980. Storms, Floods, and Debris Flows in Southern California and Arizona, 1978 and 1980. Proceedings of a Symposium, National Research Council, and Environmental Quality Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, CA, 17- 18 September 1980. National Academy Press, Washington, DC, pp. 291- 319.
- 261- Smith K. 1996. Environmental Hazards Assessing Risk and Reducing Disaster, Second Edition, Routledge ed. 389p.



- 262- Soeters, R., van Westen, C.J. 1996. Slope Instability Recognition, Analysis, and Zonation. In: Special Report 247: Landslides: Investigation and Mitigation, TRB, National Research Council, Washington, D.C., Chap. 8, pp. 129-177.
- 263- Soeters, R., Van Westen, C.J., 1996. Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L., (Editors) Landslides, investigation and mitigation. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington, USA, pp 129–177.
- 264- Sorzana, P. F.1980. Lafrana di Arnulf, nel Comane di Cherasco(cn)(febbraia 1974)”, P. 2:505-529.
- 265- Spiker, E.C., Gori, P.L., 2000. National landslide hazards mitigation strategy: a framework for loss reduction. Open file report 00-450, Department of Interior, U.S.G.S., USA, pp 49.
- 266- Spiker, E.C., Gori, P.L., 2003a. Partnerships for reducing landslide strategy. The national Academy of Sciences Press, Washing, DC.
- 267- Spiker, E.C., Gori, P.L., 2003b. National landslide hazard mitigation strategy: a framework for loss reduction. USGS Circular 1244. US Department of Interior, U.S.G.S Reston, Virginia, pp 56.
- 268- 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(Editors) Landslide evaluation and Stabilization. Balkema, Taylor and Francis Group, London, pp 242-273.
- 269- Stampeli, G.M., 1978. Etud Geologique Generale de l’Elbourz Oriental Au sud de Gondad-e-Qabus, Iran NE. These Geneve, 329p.
- 270- Statgraphics. 1991. Statgraphics Reference Manual, Version 5.0. STSC, Inc. USA.
- 271- Stevenson, P.C., 1977. An empirical method for the evaluation of relative landslide risk. Int Ass Eng Geol Bull 16:69-72.
- 272- Technical Committee for Earthquake Geotechnical Engineering (TC4). 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards. The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Maruei Co. Ltd, Japan, pp. 54-63.
- 273- Terlien, M.T.J., Van Asch, T.W.J., Van Westen, C.J., 1995. Deterministic modelling in GIS-based landslide hazard assessment. In: Carrara A, Guzzetti F (eds) Geographical information systems in assessing natural hazards. Kluwer Academic Publishing, The Netherlands, pp 57–77.
- 274- Turrini, M. C., Semenza, P. and Abu Zeid, N. 1994, "Landslide Hazard Zonation of the Alpage Area (Belluno, Northern Italy)", 7th. International Congress, International Association of Engineering Geology, Lisbon, Portugal, Vol.3, pp. 2181-2189.
- 275- van Beek, R., 2002. Assessment of the influence of changes in climate and land use on landslide activity in a Mediterranean environment. Netherlands Geographical Studies no. 294, KNAG, Faculty of Geosciences, Utrecht University, pp 366.
- 276- van Den Eeckhaut, M., Kerle, N., Poesen, J., Hervás, J., 2012. Object-oriented identification of forested landslides with derivatives of single pulse LiDAR data. Geomorphology. DOI 10.1016/j.geomorph.2012.05.024.
- 277- van Westen, C. J., 1993, Application of Geographic Information Systems to landslide Hazard Zonation. Vol. ۱: Theory, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Publication No. 15.
- 278- van Westen, C. J., Van Asch, T.W.J., Soeters, R., 2006. Landslide hazard and risk zonation– why is still so difficult? Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 65: 167-184



- 279- van Westen, C.J., 2004. Geoinformation tools for landslide risk assessment: an overview of recent developments. In: Lacerda WA, Ehrlich M, Fontoura SAB, Sayao ASF (Editors) *Landslide evaluation and stabilization*. Balkema, Taylor and Francis Group, London, pp 39-56.
- 280- van Westen, C.J., Soeters, R., Sijmons, K., 2000. Digital Geomorphological landslide hazard mapping of the Alpaio area, Italy. *Int Appl Earth Observ Geoinf* 2:51-59
- 281- Varnes, D.J. 1978. Slope Movements and Types and Processes. In: *Landslides: Analysis and control*, Transportation Res. Board Nat. Ac. Sci. Washington Spec. Rep. 176, pp. 11-33.
- 282- Varnes, D.J. 1984. *Landslide Hazard Zonation: a Review of Principles and Practice*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO), France.
- 283- Ward T. J., Ruh-Ming Li and Simons, D. B., 1982, Mapping landslide Hazards in Forest Watershed. *Journal of Geotechnical Engineering Division*, Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Vol. 108, No. GT2, pp. 319-324.
- 284- Wasowski, J., Del Gaudio, V., 2000. Evaluating seismically induced mass movement hazard in Caramanico Terme (Italy), *Eng. Geol.* Vol. 58, pp.291-311.
- 285- Whitman, R.V., 1984. Evaluating calculate risk in geotechnical engineering. *Journal of Geotechnical Engineering Division ASCE*, 110: 145-189
- 286- Wiczorek, G.F. 1984, Preparing a Detailed Landslide Inventory Map for Hazard Evaluation and Reduction. *Bulletin of International Association of Engineering Geology*, No. 21, pp. 337-342.
- 287- Wiczorek, G.F., 1984. Preparing a detailed landslide-inventory map for hazard evaluation and reduction. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* 21: 337- 342.
- 288- Wilson, R.C. and Keefer, D.K. 1985. Predicting Areal Limits of Earthquake-Induced Landsliding, U.S. Geological Survey, Prof. Paper 1360: 317-345.
- 289- Wong, H.N., 2001. Recent advances in slope engineering in Hong Kong. (invited paper) In: *Proceedings of the 1st Southeast Asian geotechnical conference*, Hong Kong, vol 1, pp 641-659
- 290- Wong, H.N., Ho, K.K.S., Chan, Y.C., 1997. Assessment of consequence of landslides. In: Cruden, R., Fell, R. (Eds.), *Landslide Risk Assessment*. Balkema, Rotterdam, pp 111 - 149.
- 291- Wright, R.H., Campbell, R.H., Nilsen, T.H., 1974. Preparation and use of isopleth maps of landslide deposits. *Geology* 2, 483-485.
- 292- Wu Y., Yin K., 2000. Information Analysis System for landslide Hazard Zonation. *Proc. On Landslide in research, theory and practice*, 1593-1598.
- 293- Wu Y., Yin K., 2000. Information analysis system for landslide hazard zonation. *Proc. On Landslide in research, theory and practice*, 1593-1598.
- 294- 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*:104-112.
- 295- Wu, T.H., Tang, W.H., Einstein, H.E., 1996. Landslide hazard and risk assessment. In: Turner and AK, Schuster RL (Editors) *Landslides. Investigation and mitigation*. Transportation Research Board Special Report. National Academy Press, Washington, pp 106-118
- 296- Wu, W., Sidle, R.C., 1995. A distributed slope stability model for steep forested basins. *Water Resources Research* 31 (8), 2097- 2110.
- 297- XiaoLi, C., Nobuaki, K., Ryosuke, T., Keiji, M. 2009. Prediction of slope failure due to earthquake, *Chinese Science Bulletin*, 54: 2888-2894.



- 298- Yin, K.L., Yan, T.Z. 1988. Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks. Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Vol. 2, pp. 1269-1272.
- 299- Yin, K.L., Yan, T.Z. 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Vol. 2, pp. 1269-1272.
- 300- Yin, K.L., Yan, T.Z., 1988. Statistical prediction models for slope instability of metamorphosed rocks. In: Bonnard, C. (Ed.), Proceedings of 5th International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, vol. 2. Balkema, Rotterdam, pp. 1269–1272.
- 301- Zhang Nianxue & Sheng Zhuping.1991. Probability Analysis of Rain Related Occurrence and Revival of Landslides in Yungang-Fengjie Area in East Sichuan, Landslides, Vol. 2, P. 1077-1082.
- 302- Zillman.J., 1999, The physical impact of disaster. In.J.Ingleton (Editor), Natural disaster management. Tudor Rose Holding Ltd., Leicester, pp 320.



خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از چهل سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر هشتصد عنوان نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، ضابطه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست نشریات منتشر شده در سال های اخیر در سایت اینترنتی nezamfanni.ir قابل دستیابی می باشد.



**Islamic Republic of Iran
Plan and Budget Organization**

Guideline for Study and Implementation of landslide Stabilization Operations

(Vol II. Landslide Hazard and risk zoning studies)

No. 829-2

Last Edition: 12-16-2020

Deputy of Technical, Infrastructure and
Production Affairs

Forest, Range & Watershed Management
Organization

Department of Technical & Executive affairs,
Consultants and Contractors

Water Harvesting & Flood Control Office

nezamfanni.ir

www.frw.org.ir



omoorepeyman.ir

این ضابطه

راهنمای مطالعه و اجرای عملیات پایدارسازی زمین لغزش‌ها (جلد دوم- مطالعات پهنه‌بندی خطر و ریسک زمین لغزش)، با معرفی روش‌ها و مدل‌های مختلف پهنه‌بندی خطر زمین لغزش، استاندارد تهیه لایه‌های اطلاعاتی، چگونگی وزن‌دهی لایه‌ها و روش واحدبندی آن‌ها، آنالیز و محاسبه میزان حساسیت و خطر زمین لغزش، استاندارد تهیه نقشه پهنه‌بندی حساسیت و خطر زمین لغزش برای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی یکنواخت در سطح کشور ارائه شده است. این راهنما با گردآوری کلیه ضوابط و معیارهای فنی داخلی و خارجی موجود در این زمینه، برای شرایط ویژه کشور ایران تهیه شده است.

