کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین

عنوان طرح

روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

بخش اول

تهیه راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران

گزارش نهایی

رضا میر صانعی- محمد رضا مهدویفر

سازمان مجری:

پژوهشکدهٔ سوانح طبیعی

شهریور ۱۳۸۵

مشاورين پروژه

سيد محمود فاطمي عقدا

سعيد هاشمي طباطبايي

همكاران پروژه(به ترتيب الفبا)

بهمن اكبري

سهيلا زارع پور

رضا سفيدگري

سيد محمد صفوي

محمد قبادي

سيد حميد قرباني

رحمت اله كاردان

تشکر و قدردانی

این گزارش با راهنمايي ها و ارشادات بسياري از اساتيد و كارشناسان محترم كه نام برخي از آنها (به ترتيب الفبا) در زير آمده است تهيه و تا حد امكان رفع نقص شده است كه بدين وسيله از تمامي آنان تشكر مي گردد.

دكتر رسول اجل لوييان: استاديار دانشگاه اصفهان

دكتر مجيد اونق: دانشيار دانشگاه علوم كشاورزي و منابع طبيعي گرگان

مهندس نادر جلالي: عضو هيات علمي پژوهشكده حفاظت خاک و آبخيزداري

دكتر سيد محسن حائري: استاد دانشگاه صنعتي شريف

دكتر ناصر حافظی مقدس: استاديار دانشگاه شاهرود

دكتر ؟ حبيب آگهی: استاد دانشگاه شيراز

دكتر ابراهيم حق شناس: استاديار پژوهشگاه بين المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله

دكتر ماشاء اله خامه چيان: استاديار دانشگاه تربيت مدرس

دكتر اورنگ فرزانه: استاديار دانشكده فني دانشگاه تهران

دكتر سادات فيض نيا: استاد دانشگاه تهران

دكتر محمد حسين قبادي: دانشيار دانشگاه بوعلي سيناي همدان

مرحوم دكتر جعفر غيوميان: دانشيار پژوهشكده حفاظت خاک و آبخيزداري

دكتر حسين معماريان: دانشيار دانشگاه تهران

مهندس سيد ابوالفضل ميرقاسمی: كارشناس ارشد و مسئول GIS سازمان جنگلها، مراتع و آبخيزداری كشور

دكتر علي نورزاد: استاديار وزارت نيرو

در تهيه اين گزارش، خانمها شيما شاملو و مينا انصاريان درجمع آوری اطلاعات و تنظيم مطالب به تهيه كنندگان ياری رسانيده اند كه از آنان تشكر می‌گردد.

فهرست مطالب

عنوان
صفحه

فهرست جداول ..... د

فهرست شکلها ..... ر

پیشگفتار ۱

۱- مقدمه ۲

۲- تعریف و طبقه بندی روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش ٤

۲-۱- تعاریف ٤

۲-۱-۱- زمین لغزش ٤

۲-۱-۲- خطر زمین لغزش ٥

۲-۱-۳- پهنه بندی ۷

۲-۲- طبقه بندی روشهای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش ۷

۲-۲-۱- روش طبقه بندی گی(۱۹۹۲) ۷

۲-۲-۲- روش طبقه بندی ون وستن (۱۹۹۳) ۹

۲-۳- معرفی برخی روشهای قالبی مرسوم در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ۱۳

۲-۳-۱- روش مورا- وارسون(۱۹۹۴) ۱٤

۲-۳-۲- روش حائری - سمیعی ۱٥

۲-۳-۳-روش آنبالاگان ۱٥

۲-۳-۴- روش پاچوری - پنت ۱٥

۲-۳-٥- روش کاناگاوا ۱٦

۲-۳-۶- روش استیونسن ۱٦

۲-۳-۷- روش گوپتا ۱٦

فهرست مطالب(ادامه)

عنوان
صفحه

۳- طبقه بندی و آنالیز مطالعات انجام شده ۱٦

۳-۱ طبقه بندی مطالعات انجام شده ۱۶
۳-۲- آنالیز اطلاعات جمع آوری شده..... ۱۸
۴- وضعیت پراکنش زمین لغزشها در کشور ۲۵
۵- پهنه بندی کشور از نظراقلیمی ۲۹
۵-۱- ارتباط پارامترهای اقلیمی با زمین لغزش..... ۳۰
۵-۲- تحقیقات انجام یافته در زمینه ارتباط عوامل اقلیمی با زمین لغزش..... ۳۱
۵-۳- وضعیت ایران از نظر اقلیمی..... ۳۱
۵-۴- پهنه‌بندی اقلیمی ایران ۳۲
۵-۴-۱- روش کوپن ۳۲
۵-۴-۲- روش ژنتیکی تحلیل عاملی..... ۳۵
۵-۴-۳- انتخاب روش بهینه پهنه بندی اقلیمی..... ۳۶
۶- بررسی وضعیت زمین شناسی کشور از نظر استعداد زمین لغزش..... ۴۱
۶-۱- پهنه‌های رسوبی و ساختاری ایران..... ۴۱
۶-۲- استعداد سازندهای زمین‌شناسی به وقوع لغزش در ایران ۴۱
۶-۲-۱- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی A..... ۴۲
۶-۲-۲- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی B1..... ۴۲
۶-۲-۳- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی B2..... ۴۴
۶-۲-۴- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی C..... ۴۵
۶-۲-۵- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی D..... ۴۶

فهرست مطالب(ادامه)

عنوان
صفحه

۶-۲-۶- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی E..... ۴۶
۶-۲-۷- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی F..... ۴۷
۷- آنالیز استعدادپارامترهای مختلف زمین‌لغزش‌ها..... ۴۸
۷-۱- تحلیل کلی عوامل زمین لغزش در ایران..... ۴۸
۷-۲- تحلیل علل زمین لغزشها در هر یک از پهنه‌های اقلیمی ۴۹

۸- پیشنهاد روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاسهای منطقه ای و متوسط..... ۵۵
۸-۱- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه ای ۵۵
۸-۱-۱- روش واحد بندی..... ۵٦
۸-۱-۲- لایه های اطلاعاتی..... ۵۸
۸-۱-۳-روش آنالیز ۷٤
۸-۱-۴- روش محاسبه خطر ۷۵
۸-۱-۵- روش گروه بندی خطر ۷٦
۸-۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس متوسط..... ۷۸
۸-۲-۱- روش واحد بندی..... ۷۸
۸-۲-۲- لایه های اطلاعاتی..... ۷۸
۸-۲-۳-روش آنالیز ۸۵
۸-۲-۴- روش محاسبه خطر ۸۵
۸-۲-۵- روش گروه بندی خطر ۸٦
۸-۲-۶- آزمایش و تصحیح نقشه پهنه بندي..... ۸۷
۸-۲-۷- تهیه نقشه پهنه بندي نهایی..... ۸۸

فهرست مطالب(ادامه)

عنوان
صفحه

۹- جمع بندی ۸۸
۹-۱- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰..... ۸۸
۹-۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰..... ۸۸
۹-۳- زمینه های ادامه تحقیق..... ۸۹
فهرست منابع..... ۹۰
پیوست ۱: شرح روش non-hierarchical cluster analysis جهت طبقه بندی گروههای خطر .. ۱۰۳
پیوست ۲: راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران در مقیاس منطقه ای (۱:۲۵۰،۰۰۰) ۱۰۷
پیوست ۳: راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران در مقیاس متوسط(۱:۵۰،۰۰۰) ۱۱۹
پیوست ۴: جدول خصوصیات منابع جمع آوری شده ۱۳٦

پیوست ۵: جدول خصوصیات و استعداد سازندهای زمین شناسی در ایران از نظر وقوع زمین لغزش۱۶۲
پیوست ۶: شرح مختصر برخی از روشهای آماری مورد استفاده در پهنه بندی خطر زمین لغزش .. ۲۷۱

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۱: روشهای مختلف پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس نوع تجزیه و تحلیل..... ۹

جدول ۲: خلاصه ای از روشهای مهم در به نقشه درآوردن ناپایداری شیروانیها(Safavi, 1997, Luzi, 1995) ۱۰

جدول ۳ : گروههای پتانسیل خطر زمین لغزش (مورا و وارسون، ۱۹۹۴) ۱٤

جدول ۴: نمونه جدول طراحی شده جهت استخراج اطلاعات موجود درمقالات..... ۱۷

جدول ۵: اسامی و علائم انواع آب و هواهای کشور ایران در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن ۳۳

جدول ۶: تراکم زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در نواحی اقلیمی کوپن ۳٤

جدول ۷: برخی پارامترهای آب و هوایی در نواحی اقلیمی با روش تحلیل عاملی..... ۳۸

جدول ۸: مشخصات مساحت پهنه‌های اقلیمی تحلیل عاملی و تعداد زمین‌لغزش‌ها ۳۹

جدول ۹: QS زمین‌لغزش‌ها در دو روش پهنه‌بندی اقلیمی..... ٤۰

جدول ۱۰: نمونه جدول جهت گزارش اطلاعات سازندها ٤۲

جدول ۱۱: علل موثر در وقوع ۴۱۴۶ زمین‌لغزش مرتب شده بر اساس مجموع پنج علت اول(بر اساس بانك اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور)..... ۵۰

جدول ۱۲: دسته‌بندی عوامل محرك در وقوع زمین‌لغزش در پهنه‌های اقلیمی تحلیل عاملی..... ۵۱

جدول ۱۳: دسته‌بندی ارزش اطلاعاتی عوامل محرك ایجاد زمین‌لغزش در پهنه های اقلیمی(روش تحلیل عاملی)..... ۵۳

جدول۱۴: طبقه‌بندی سنگها از نظر مقاومت در برابر لغزش(حائری وسمیعی ۱۳۷۶) ۵۹

جدول ۱۵: گروه بندی های شیب در مطالعات مختلف پهنه بندی..... ٦۱

جدول ۱۶: ردهبندی شیب جهت استفاده در تهیه نقشه پهنهبندی خطر زمینلغزش..... ٦۳

جدول ۱۷: وضعیت گسترش حرکات دامنهای در جهات مختلف شیب در منطقه هیمالایا..... ٦٤

جدول ۱۸: تعداد زمینلغزش در جهات دامنهای مختلف طبق نتایج مستخرج از بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور ٦۵

جدول ۱۹: ردهبندی جهات شیب و وزن هر کدام در وقوع زمینلغزش..... ٦٦

جدول ۲۰: امتیاز عامل طول گسل توسط حوزه اداری کاناگاوا(۱۹۸۶)..... ٦٦

جدول ۲۱: وزن دهی به طول گسل در یك واحد مربعی به ضلع ۲/۵کیلومتر (حائری و همکاران، ۱۳۷۶) ٦۷

جدول ۲۲: چگونگی تأثیر طول گسلها در بروز ناپایداری دامنههای منطقه(سیارپور ۱۳۷۸)..... ٦۷

فهرست جداول(ادامه)

عنوان
صفحه

جدول ۲۳:چگونگی تأثیر فاصله از گسل در بروز ناپایداری دامنهها(پاچوری-پنت، ۱۹۹۲) ٦٧

جدول ۲۴: چگونگی تأثیر ارتباط ناپیوستگیها وجهت شیب درناپایداریهای دامنهای(کامور و سینها ۱۹۹۸)..... ٦٧

جدول ۲۵: تأثیر تراکم گسل و محور تاقدیس بر روی ناپایداری دامنهای(با توجه به روش حائری)..... ٦٨

جدول ۲۶: امتیاز کلاس های بارش در نواحی اقلیمی (تحلیل عاملی)..... ٧١

جدول ۲۷: ارتباط PGA و شدت اصلاح شده مرکالی ، محدوده گروههای مختلف خطر زلزله، و وزن دهی پیشنهادی در این مطالعه ٧٢

جدول ۲۸: طبقه بندی عامل راه و رودخانه برای کاربرد در پهنه بندی منطقه ای(حائری و سمیعی، ۱۳۷۶) ٧٤

جدول ۲۹: جمع بندی لایه ها و وزنهای پیشنهادی در مقیاس منطقه ای ٧٤

جدول ۳۰: گروه بندی خطر بر اساس عدد HPI برای مقیاس منطقه ای..... ٧٨

جدول ۳۱: طبقه بندی عامل رودخانه(Kumar & Shina, 1998)..... ٧٩

جدول ۳۲: طبقه بندی راه و رودخانه در مطالعات پاچوری و پنت(۱۹۹۲) ٧٩

جدول ۳۳: طبقه بندی عامل راه در مقیاس متوسط..... ٧٩

جدول۳۴ : گروه بندی و امتیاز دهی به عوامل ساختاری(آنبالاگان، ۱۹۹۲)..... ٨٠

جدول۳۵ : گروه بندی عوامل ساختاری..... ٨١

جدول ۳۶: طبقه بندی وضعیت آب زیر زمینی بر اساس آنبالاگان(۱۹۹۲) ٨٢

جدول ۳۷: طبقه بندی کاربری اراضی بر اساس معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزدارزی کشور(۱۳۸۵) ٨٣

جدول ۳۸: طبقه بندی کاربری اراضی مذکور در جدول ۳۷ بر اساس استعدادبه لغزشها ٨٤

جدول ۳۹: امتیاز کلاس های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در نواحی اقلیمی (تحلیل عاملی)..... ٨٦

جدول ۴۰: عوامل در نظر گرفته شده جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ..... ٨٦

فهرست شکلها

عنوان
صفحه

شکل ۱: ارتباط مفهومی بین خطر، عناصر در معرض ریسک، آسیب پذیری و ریسک (Alexander, 2002) ۷

شکل ۲: تعداد منابع به تفکیک مقیاس ۱۸

شکل ۳: تعداد مقالات جمع آوری شده به تفکیک سال انتشار ۱۹

شکل ۴: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک نوع منبع ۲۰

شکل ۵: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک شکل زمین ۲۰

شکل ۶: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک نوع اقلیم ۲۱

شکل ۷: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک زلزله خیزی ۲۱

شکل ۸: مقایسه عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(مقیاس منطقه ای) ۲۲

شکل ۹: عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(مقیاس متوسط) . ۲۲

شکل ۱۰: عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(مقیاس بزرگ) ۲۳

شکل ۱۱: مقایسه روشهای آنالیز مختلف بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(کل منابع) ۲۳

شکل ۱۲: مقایسه روشهای واحد بندی مختلف بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(کل منابع) ۲٤

شکل ۱۳: مقایسه نحوه ترکیب لایه ها بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(کل منابع) ۲٤

شکل ۱۴ فرم بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور(گروه بررسی زمین لغزشهای وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵) ۲۷

شکل ۱۵: نمودار توزیع استانی زمین لغزش‌های موجود در بانك اطلاعاتی براساس ۴۱۴۶ زمین‌لغزش ثبت شده (تا اردیبهشت ماه ۱۳۸۴) ۲۸

شکل ۱۶: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های موجود در بانك اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور براساس ۴۱۴۶ فرم تکمیل شده تا اردیبهشت ۱۳۸۴ ..... ۲۸

شکل۱۷: نمودار وضعیت فعالیت زمین‌لغزش‌های ثبت شده ۲۹

شکل۱۸ نمودار انواع حرکت‌های دامنه‌ای ۲۹

شکل ۱۹: نقشه پهنه‌های اقلیمی ایران به روش کوپن ۳٤

شکل ۲۰: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌های اقلیمی روش کوپن ۳۵

شکل ۲۱: نقشه پهنه‌های اقلیمی ایران به روش تحلیل عاملی ۳۹

شکل ۲۲: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و نقشه اقلیمی تحلیل عاملی ٤۰

شکل ۲۳: پهنه‌های رسوبی ساختاری عمدة ایران(آقانباتی، ۱۳۷۹) ٤۳

فهرست شکلها(ادامه)

عنوان
صفحه

شکل ۲۴: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در ایران ٤٤

شکل ۲۵: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم A..... ٤٤

شکل ۲۶: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم B1..... ٤٥

شکل ۲۷: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم B2..... ٤٦

شکل ۲۸: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم C..... ٤٦

شکل ۲۹: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم D..... ٤٧

شکل ۳۰: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم E..... ٤٧

شکل ۳۱: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم F ٤٨

شکل ۳۲: نمودار تعداد لغزشهای رخداده بر حسب عامل محرك اصلی در هر یک از پهنه بندی اقلیمی..... ٥٢

شکل ۳۳: اصول واحد بندی منظم. واحد مشخص شده دارای زمین شناسی C شیب]]] ، کاربری R و فاصله از گسل b می باشد ٥٧

شکل ۳۴: اصول واحد بندی دامنه ای. واحد مشخص شده دارای زمین شناسی C ، شیب]]] ، کاربری R و فاصله از گسل b می باشد..... ٥٨

شکل ۳۵: اصول واحد بندی ترکیبی. واحد مشخص شده دارای زمین شناسی C ، شیب]]] ، کاربری R و فاصله از گسل b می باشد..... ٥٨

شکل ۳۶: دیاگرام آزاد یک جسم بر روی سطح شیبدار با نیروهای وارد بر آن ٦١

شکل ۳۷: نمودار ستونی درصد فراوانی زمینلغزش در مقابل ردههای مختلف شیب(بر اساس بانک اطلاعات زمینلغزشهای کشور) ٦٢

شکل ۳۸: نمودار تجمعی درصد وقوع زمینلغزش در مقابل ردههای مختلف شیب(بر اساس بانک اطلاعات زمینلغزشهای کشور) ٦٣

شکل ۳۹: نمودار ستونی درصد فراوانی زمینلغزش در مقابل ردههای مختلف شیب(بر اساس ا بانک اطلاعات زمینلغزشهای ایران) ٦٤

شکل ۴۰: حداقل شدت مرکالی اصلاح شدهٔ زلزله ها ی مطالعه شده توسط کیفر(۴۰ زلزله از کل دنیا) که در اثر آنها زمین لغزش رخ داده است. ٧٢

شکل ۴۱: نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته (علیجانی؛۱۳۷۹) ٨٥

پیشگفتار

از آنجائی‌که هدف از تشکیل کار گروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین برنامه‌ریزی و انجام مطالعات لازم به منظور کنترل و کاهش خسارات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین می‌باشد پروژه‌ای با عنوان "مطالعات مورد نیاز زمین‌لغزش در کشور" در کارگروه انجام و گزارش آن در سال ۱۳۸۳ ارائه شده است. پروژه مذکوربه عنوان مبنای برنامه های کارگروه درارتباط با زمین لغزش قرار داده شده است که براساس نتایج آن یکی از مطالعات مورد نیاز و حائز اهمیت، تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ می باشد.

طی دهه اخیر سازمان‌های اجرایی و مراکز علمی مختلف اقدام به تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر متعددی در مقیاس‌های مذکور نموده اند. با توجه به اینکه نقشه های مذکور با روش ها و سلیقه های متفاوتی تهیه شده اند اغلب قابلیت مقایسه با یکدیگر را نداشته و نتایج یکسانی را ارائه نمی‌نمایند. برای امتناع از این مشکل لازم است نکات زیر در تهیه نقشه ها لحاظ گردد:

- روشهای نسبتا واحدی در تهیه آنها بکار رود

- بر اساس دستورالعمل واحدی علامت‌گذاری گردد

– در محدوده‌های جغرافیایی مختلف نقشه‌های همجوار با یکدیگرهمخوان وقابل تطابق باشند.

لذا کارگروه زلزله ولغزش لایه‌های زمین مصمم گردید تا پروژه‌ای دراین رابطه با مسئولیت اعضای زیر کمیته ژئوتکنیک ولغزش لایه‌های زمین و بهره‌مندی از تجربه و توان کارشناسان مجرب انجام دهد. طرح ((روش‌ها و معیارهای بهینه جهت تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش)) که گزارش بخش اول آن در پیش روی خواننده قرار دارد طرحی است که به منظور دستیابی به اهداف فوق تعریف و اجرا شده است. در این گزارش ضمن تشریح مبانی علمی، راهنماهای تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی درمقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ ارائه گردیده است. در انجام این بخش از طرح از تجربیات موجود در خارج و داخل کشور استفاده شده است.

نسخه اولیه این گزارش در اسفند ۱۳۸۴ جهت بررسی اساتید و صاحبنظران آماده و ارسال گردید. در همین ارتباط جلسه ای به منظور ارایه شفاهی و بحث و تبادل نظر پیرامون نتایج طرح، در خرداد ماه ۱۳۸۵ برگزار و نظرات قطعی نیز در تیر ماه ۱۳۸۵به مجریان تحویل گردید. گزارش حاضر که نسخه نهایی بخش اول از طرح می باشد با اعمال نظرات کارشناسی تهیه و ارائه گردیده است

در بخش دوم این طرح که "انجام مطالعه موردی" می‌باشد با استفاده از راهنماها ومعیارهای ارائه شده در این گزارش، به عنوان نمونه، نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش چند منطقه تهیه خواهد شد. چنانچه با توجه به نتایج حاصل ازتجربه عملی نیاز به اصلاح راهنما باشد ضمن بازبینی، اصلاحات لازم انجام و پس ازتکمیل راهنما این مجموعه ازطریق سازمان مدیریت وبرنامه ریزی کشور وکارگروه زلزله و لغزش لایه های زمین دراختیار سازمان های اجرایی و مراکز علمی تحقیقاتی قرار می‌گیرد.

۱- مقدمه

وقوع زمین‌لغزشهای متعدد و گسترش روزافزون آنها در بسیاری از نقاط کشور ایران در سالهای اخیر و ظهور اثرات مخرب آنها موجب گشته که نظر مسئولین و بویژه کارشناسان ذیربط به این بلای طبیعی بیش از پیش معطوف گردد؛ شکی نیست که خسارات و پیامدهای ناشی از این پدیده که بطور 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 دو دهه 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 پهنه بندی خطر زمین لغزش از زلزله منجیل(۱۳۶۹) که موجب ایجاد ۷۶ زمین لغزش مهم (حائری و ستاری، ۱۳۷۲) شد ، آغاز و در اواخر دهه هفتاد رو به فزونی نهاد. این مطالعات اغلب با استفاده از روشهای ابداع شده در سایر کشورها و بعضاً تدوین روشهای جدید انجام و نتایج آنها به صورت مقاله و گزارش در ژورنالها، مجموعه مقالات و انتشارات مراکز تحقیقاتی مختلف منتشر گردیده است. همزمان با اوج گیری مطالعات در ایران، به دلیل اعلام واپسین دهه قرن بیستم به عنوان دهه کاهش اثرات بلایای طبیعی، مطالعات وسیعی در زمینه پهنه بندی خطرات طبیعی از جمله زمین لغزش 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 پهنه بندی ها حاصل گردد. عدم همخوانی مرزهای نقشه های مجاوری که توسط گروه های مختلف پهنه بندی شده‌اند مشخص ترین معضلی بوده است که بعد از انتشار نتایج تحقیقات مذکور خودنمایی می نمود (مهدویفر و نیک اندیش، ۱۳۸۴).

بروز مشکلات فوق برخی از مسئولان و محققین را تدریجاً به این موضوع سوق داد که نسبت به انجام تحقیقاتی در زمینه تهیه راهنمای مطالعات پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران اقدام نمایند.

پروژه حاضر به منظور تهیه راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در دو مقیاس متوسط(۱:۵۰،۰۰۰) و منطقه‌ای (۱:۲۵۰،۰۰۰) تعریف شده است. برای نیل به اهداف فوق، انجام مراحل زیر در این پروژه ضروری بوده است:

۱. جمع آوری مهمترین مطالعات انجام شده در دنیا پیرامون پهنه بندی خطر زمین لغزش؛

۲. جمع آوری کلیه مطالعات انجام شده در ایران؛

۳. تحلیل مطالعات جمع آوری شده از نظر روشهای بکار برده شده، لایه های اطلاعاتی و ...؛

۴. تقسیم بندی ایران به چند منطقه مشخص از نظر اقلیمی و در صورت لزوم از نظر سایر پارامترهای موثر در زمین لغزش؛

۵. آنالیز حساسیت عوامل زمین لغزشها در هر یک از مناطق با توجه به فهرست زمین لغزشهای موجود کشور(عمدتاً براساس بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور موجود در وزارت جهاد کشاورزی)؛

۶. انتخاب پارامترها و استخراج رابطه بین آنها و زمین لغزشها برای هر منطقه و انتخاب یا ابداع روش پهنه بندی در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰؛

۷. انتخاب پارامترها و استخراج رابطه بین آنها و زمین لغزشها برای هر منطقه و انتخاب یا ابداع روش پهنه بندی در مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰؛

۸. تدوین راهنمای پهنه بندی در مقیاسهای فوق؛

۹. تشکیل جلسات کارشناسی و اخذ نظرات جهت اعمال در راهنمای تهیه شده؛

۱۰. نهایی نمودن راهنمای تهیه شده.

در این گزارش در ابتدا، تعاریف پهنه بندی و تقسیم بندی های مختلف روشهای پهنه بندی آمده است. در بخش سوم کلیه مطالعات جمع آوری شده اعم از داخلی و خارجی طبقه بندی و آنالیز گردیده اند. در بخش چهارم وضعیت پراکنش زمین لغزشها تشریح گردیده است. در بخش پنجم مبانی تقسیم ایران به زونهای مختلف جهت پهنه بندی آورده شده است؛ در بخش ششم وضعیت زمین شناسی کشور از نظر استعداد وقوع زمین لغزش مورد بررسی قرار گرفته ، و در بخش هفتم نیز عوامل مختلف زمین لغزش در ایران مورد تحلیل قرار گرفته است. در نهایت در بخش هشتم به مبانی علمی راهنمای تهیه شده پرداخته شده است.

راهنماهای تهیه نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش در دو مقیاس منطقه ای و متوسط در پیوستهای ۲ و ۳ این گزارش آودره شده‌اند. با تصویب راهنماهای مذکور از این پس کلیه مجریان پهنه بندی خطر زمین لغزش که کار تهیه نقشه پهنه بندی را زیر نظر کارگروه زلزله و لغزش لایه های زمین انجام می دهند ملزم خواهند بود مطالعات خود را بر طبق چارچوب تعریف شده در این راهنما انجام دهند. بدیهی است چنانچه به دلایل خاصی مجری بخواهد از روشها و یا وزن دهی‌هایی غیر از آنچه که در راهنما آورده شده استفاده نماید بایستی با ارائه دلایل کافی کارگروه را نسبت به این امر توجیه و مجوز تغییرات مذکور را کسب نماید.

۲- تعریف و طبقه بندی روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش

۲-۱- تعاریف

۲-۱-۱- زمین لغزش

شاید یکی از مبهم‌ترین واژه هایی که در مطالعات حرکات دامنه ای بکار می رود واژه زمین لغزش (Landslide) باشد. واژه زمین لغزش، بیشتر آندسته از حرکات توده ای را تداعی می نماید که جابجایی در آنها در طول سطحی مشخص و صاف رخ می دهد؛ در صورتی که این واژه بسیار وسیعتر از مفهوم فوق بکار می رود (Hansen, 1984). در رابطه با این واژه تاکنون تعاریف زیادی ارائه شده‌اندکه مهمترین آنها در زیر آمده‌اند:

شارپ(۱۹۳۸): زمین لغزش، لغزش یا ریزش قابل توجه توده ای نسبتاً خشک از خاک، سنگ یا مخلوطی از آن دو است.

کوتز(۱۹۷۷): زمین لغزش پدیده ای است که دارای خصوصیات زیر است:

۱. یکی از انواع حرکات توده ای است؛

۲. نیروی ثقل عامل اصلی حرکت محسوب می گردد؛

۳. حرکت نسبتاً سریع است (به همین دلیل از نظر وی خزشها نوعی زمین لغزش محسوب نمی-گردند)؛

۴. زمین لغزش شامل انواع لغزش، ریزش و جریان می باشد؛

۵. سطح یا محدوده حرکت شبیه یک گسل نیست؛

۶. حرکت به سمت پایین و بیرون از یک سطح آزاد رخ می دهد، لذا فرو نشست نوعی زمین لغزش محسوب نمی‌گردد؛

۷. مواد جابجا شده مرز مشخصی داشته و معمولاً بخش محدودی را از یک دامنه فرا می گیرند؛

۸. مواد جابجا شده ممکن است بخشهایی از کوهرفت و یا سنگ بستر را نیز در برگیرند؛

۹. پدیده های مرتبط با یخ زدگی زمین معمولاً جزو زمین لغزش محسوب نمی گردند.

شوستر(۱۹۷۸): گروهی از حرکات شیبی که گسیختگی در طول سطحی خاص یا مجموعه ای از سطوح رخ می دهد را زمین لغزش می‌نامد؛ در این تعریف حرکاتی مثل خزش که دارای سطح مشخص نیستند زمین لغزش محسوب نمی گردند؛

کروزیر(۱۹۸۶): حرکت خاک و سنگ تحت تاثیر نیروی جاذبه به سمت پایین، بدون دخالت آب روان به عنوان عامل جابجایی، را زمین لغزش می داند؛ این تعریف می تواند همراه با ابهاماتی باشد از جمله اینکه فرونشست را می توان جزو زمین لغزشها محسوب کرد و پدیده هایی مثل جریانهای گلی را از زمین لغزش جدا نمود؛

کرودن(۱۹۹۱): زمین‌لغزش را حرکت توده سنگ، واریزه و یا خاک به سمت پایین شیب تعریف می کند . ظاهراً در این طبقه بندی حرکاتی که عامل اصلی آنها آب است (مانند توده های سنگی که به همراه سیلابها از بالادست به سمت پایین می‌آیند) جزو زمین لغزش محسوب می گردند؛

برخی مانند وارنز(۱۹۷۸) یا هاتچینسون(۱۹۶۸) واژه های حرکت شیبی یا حرکت توده ای را بکار برده و طبقه بندیهای خود را برای پدیده هایی وسیعتر از موارد فوق ابداع کرده اند.

در این گزارش زمین لغزش تعریف شده توسط کوتز (۱۹۷۷) ملاک قرار داده شده است که میتوان آنرا بصورت زیر بازنویسی نمود : زمین‌لغزش به "حرکت نسبتا سریع مواد دامنه، اعم از خاك و سنگ اطلاق می‌گردد که تحت تأثیر مستقیم نیروی ثقل بطرف پایین صورت می‌گیرد". طبق این تعریف، خزش(به علت کند بودن حرکت آن)، فرونشست(به علت دامنه ای نبودن آن)، پدیده های مرتبط با یخ زدگی و توده های حرکت کرده توسط آب یا باد(به علت مستقیم نبودن تاثیر ثقل در حرکت آنها) زمین لغزش محسوب نمی-گردند. این تعریف انواع مختلف حرکات توده‌ای از قبیل ریزش، لغزش، جریانهای واریزه‌ای و گلی، واژگونی و غیره را شامل میگردد.

۲-۱-۲- خطر زمین لغزش

در سال ۱۹۸۴ توسط وارنز تعاریف زیر در مورد پهنه بندی خطر، خطر طبیعی، آسیب پذیری، ریسک ویژه، اجزاء در معرض خطر، ریسک کل و پهنه‌بندی خطر زمی

لغزش ارائه گردیده است:

پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (Landslide Hazard Zonation, LHZ) به عنوان تقسیم بندی زمین به چند منطقه و طبقه‌بندی این مناطق برحسب درجه خطر بالفعل یا بالقوه زمین لغزش و یا دیگر حرکات توده ای شیبها می باشد.

خطر طبیعی (H , Natural Hazard): احتمال (Probability)وقوع پدیده‌ای مخرب در محدوده زمانی و مکانی مشخص؛

آسیب پذیری (V,Vulnerability) : میزان خسارت وارده به یك جزء مشخص (مانند ساختمان) و یا مجموعه‌ای از اجزاء در معرض خطر (مانند یك شهر) است که از وقوع یك پدیده طبیعی با شدت مشخص ناشی میشود. این مقدار با عددی بین صفر (بدون خسارت) تا یك (تخریب کامل) بیان می‌گردد؛

ریسک ویژه(Rs ,Specific Risk): میزان تخریب مورد انتظار ناشی از یك پدیده طبیعی مشخص. این میزان میتواند حاصلضرب (H و V) باشد؛

عناصر در معرض خطر (E, Elements at Risk): تعداد افراد، تأسیسات و فعالیتهای اقتصادی ازجمله 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 درنتیجه یك پدیده طبیعی ایجاد می‌گردد. بنابراین ریسک کل(Rt)، حاصلضرب ریسک ویژه (Rs)درعناصر در معرض خطر (E) است؛

اسمیت در سال ۱۹۹۶ تعاریف زیر را ارائه داده است:

خطر (Hazard) تهدیدی بالقوه علیه مردم و آرامش و رفاه انسانها است؛ ریسک(Risk) احتمال بوقوع پیوستن یك نوع خطر مشخص است و بلا یا فاجعه(Disaster) پدیده ای است که در اثر آن عده کثیری ازمردم کشته یا مجروح شده و به طریقی به آنها خسارت وارد میشود. بعبارت دیگر یك فاجعه به فعلیت رسیدن خطر است.

SAOAS (۱۹۹۱) تعاریف زیر را در مورد پهنه بندی خطر زمین لغزش ارائه می دهد:

خطر زمین لغزش (که توسط استعداد بیان می شود) : احتمال (likelihood) رخداد یک زمین لغزش با قدرت تخریب در یک منطقه خاص است؛

آسیب پذیری: میزان جمعیت، اموال، فعالیتهای اقتصادی، شامل سرویسهای عمومی وغیره که در معرض ریسک ناشی از وقوع نوع خاصی از زمین لغزش هستند؛

ریسک: درجه مورد انتظار تخریب ناشی از وقوع یک زمین لغزش خاص؛

انیشتن(۱۹۸۸) تعاریف زیر را برای برخی از موارد فوق در نظر گرفته است:

پدیده خطرناک(Danger): به یک پدیده طبیعی موجود مثل ریزش سنگی یا خزش شیب اطلاق می شود. این واژه در برگیرنده هیچگونه پیش بینی نیست.

خطر (Hazard): احتمال (Probability) اینکه نوعی ویژه از پدیده خطرناک (Danger) در بازه زمانی معین رخ دهد؛

ریسک: خطر ممکن است نتایج کاملا متفاوتی را بر اساس کاربری زمین در محدوده تحت تاثیر در بر داشته باشد. بنابراین، ریسک حاصل ضرب خطر و بدترین حالت خسارات می باشد. خسارات ممکن است شامل خسارات جانی، مالی و یا دیگر تاثیرات محیطی باشد.

کروزیر و گلِد (۲۰۰۴) با ذکر مطالعات الکساندر(۲۰۰۲) ، خطر (Hazard) را با دو مفهوم کاملاً متفاوت به کار می‌برند: ۱- فرآیندی فیزیکی یا فعالیتی که دارای استعداد تخریب است(این تعریف معادل تعریف Danger توسط انیشتن، ۱۹۹۸، است)؛ ۲- شرایط یا حالت تهدید که بوسیله احتمال وقوع بیان میشود. ریسک نیز با دو مولفه شناخته می شود: احتمال (Likelihood) رخداد یک پدیده و نتایج آن در اثر وقوع(شکل ۱).

با توجه به تعاریف فوق چنانچه خطر با تعاریف وارنز(۱۹۸۴) یا انیشتن (۱۹۸۸) ملاک قرار داده شود، بایستی دو مولفه در آن مد نظر قرار گیرد:

۱. احتمال وقوع که معمولا به صورت وقوع رویداد در دوره بازگشت معین بیان می گردد؛

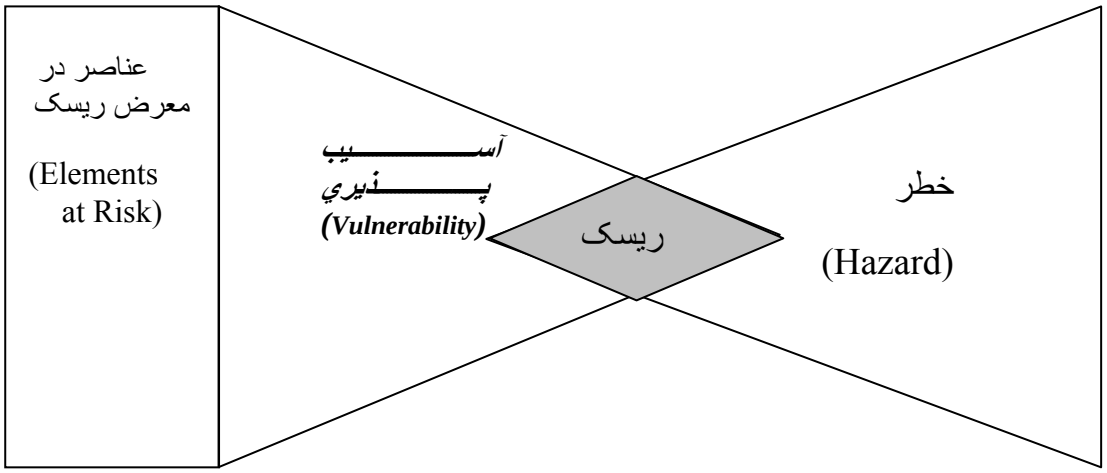
۲. مخرب بودن پدیده ؛ به عبارتی دیگر اماکنی که وقوع زمین لغزش در آنها هیچ خسارتی را برای انسان و مایملک او در بر ندارد بدون توجه به احتمال رویداد، کم خطر در نظر گرفته می شوند.

برب، ۱۹۸۴، عقیده دارد که تعیین محدوده های خطر زمین لغزش احتیاج به شناسایی مناطقی دارد که می توانند در اثر زمین لغزشهای مخرب تحت تاثیر قرار گیرند؛ این خطر می تواند بوسیله ارزیابی احتمال وقوع زمین لغزش در بازه زمانی معین بیان گردد؛ اما به طور کلی تعیین یک پنجره زمانی برای وقوع زمین لغزش حتی در ایده التری شرایط مشکل است. در نتیجه خطر زمین لغزش اغلب منعکس کننده استعداد وقوع زمین لغزش است. ایده ای مشابه نیز توسط ون وستن(۱۹۹۳) ارائه شده است. به عقیده وی نیز اکثر قریب به اتفاق نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش به علت اینکه عامل زمان در آنها در نظر گرفته نمی شود تعریف وارنز(۱۹۸۴) را در بر نگرفته و به نوعی نقشه استعداد زمین لغزش محسوب می گردند.

با توجه به این تعریف و آنچه که تاکنون از معنی خطر زمین لغزش در تحقیقات انجام شده در دنیا مد نظر قرار گرفته، منظور از خطر زمین لغزش در بسیاری از موارد، در اصل استعداد وقوع زمین لغزش بوده است. در این پروژه نیز همین تعبیر از خطر زمین لغزش مد نظر است. به عبارتی دیگر نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش در این مطالعه بیانگر احتمال وقوع زمین لغزشی مخرب در یک محدوده زمانی خاص نیست، بلکه این نقشه، استعداد(یا آمادگی) شیب به وقوع زمین لغزش را بیان می نماید(چه به منطقه با ارزشی مشرف باشد و چه نباشد). با این تعریف هیچ ایده ای از بازه زمانی وقوع(یا دوره بازگشت) ارائه نمی‌گردد.

البته تعریف فوق بدان مفهوم نیست که تمامی تحقیقات انجام شده در دنیا صرفا در راستای تهیه نقشه استعداد زمین لغزش و نه خطر زمین لغزش بوده اند. برخی از محققین مخصوصاً در سالهای اخیر (مانند جیبسون و دیگران، ۱۹۹۸ و گوگسگلو و دیگران، ۲۰۰۵) سعی کرده اند با ایجاد ارتباط وقوع زمین لغزش با دوره بازگشت عوامل محرک (زلزله و بارندگی) و یا احتمال وجود عوامل بدون در نظر گرفتن زمان

آنها، ایده ای از احتمال خطر زمین لغزش ارائه دهند ولی تا تعیین خطر واقعی زمین لغزش هنوز هم راهی طولانی باقی است.



شکل ۱: ارتباط مفهومی بین خطر، عناصر در معرض ریسک، آسیب پذیری و ریسک (Alexander, 2002)

۲-۱-۳- پهنه بندی

در این گزارش واژه پهنه بندی (Zonation) به مفهوم تقسیم بندی سطح زمین به بخشهای مختلف و رده بندی این بخشها بر اساس درجه خطر(استعداد) زمین لغزش بکار می رود. این تعریف تقریبا مطابق تعریف ارائه شده توسط وارنز، ۱۹۸۴ میباشد.

۲-۲- طبقه بندی روشهای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش

طی سه‌دهه اخیر، تحقیقات متعددی در مورد پهنه بندی خطر زمین لغزش انجام شده است. در این تحقیقات، بیشتر، جنبه‌های زمین شناسی مهندسی مطرح بوده و گاهاً از مدلهای ریاضی نیز برای بررسی ناپایداری شیبها استفاده شده و ضریب اطمینان در تحلیل وضعیت پایداری شیبهای طبیعی مد نظر قرار گرفته است.

با توجه به تعدد روشهای پهنه بندی روشهایی نیز جهت طبقه بندی آنها تدوین گردیده است که از آنجمله می توان به طبقه‌بندی انجام شده توسط گی(۱۹۹۲) و ون وستن (۱۹۹۳) اشاره نمود.

۲-۲-۱- روش طبقه بندی گی(۱۹۹۲)

گی(۱۹۹۲) روشهای پهنه‌بندی را بر اساس نوع واحدبندی منطقه، روش ارزیابی پایداری شیبها و روش وزن‌دهی به عوامل، به ترتیب زیر طبقه‌بندی نموده است:

واحد بندی

تقسیم بندی منطقه به واحدهای کوچکتر ممکن است به یکی از سه روش زیر انجام گیرد:

الف) منطقه توسط شبکه منظم حاصل از تقاطع دو سری خطوط عمود بر هم به واحد های مربعی با ابعاد مشخص تقسیم می‌گردد؛ گاهی نیز اینکار با استفاده از سه سری خط که با یکدیگر زاویه ۶۰ درجه می سازند انجام شده و شش ضلعی‌های منظم تولید می شود. این واحد ها را واحد های شبکه ای (Grid Units) می نامند؛

ب) دومین راه برای تعیین واحدهای منطقه استفاده از تعیین نوع دامنه ها(Hill Units) و دیگر عناصر شکل زمین (Land Form) است. در این واحدها کلیه عوامل موثر در لغزش همچون پوشش گیاهی، جهت ناپیوستگیهای سنگها و درجه شیبها پیاده می گردند؛ واحدهای مذکور را به طور کلی واحدهای دامنه ای (Slope Units) می نامند؛

ج) روش سوم، به نقشه در آوردن عوامل موثر در لغزش به طور جداگانه و تعیین واحدهای هر یک از آنها و سپس روی هم قرار دادن آنهاست. واحدهای حاصل از انطباق، واحدهای نقشه پهنه بندی محسوب می گردند. واحدهای حاصل از این روش در این مطالعه واحدهای ترکیبی نامیده شده اند(گی، ۱۹۹۲ این واحدها را واحدهای طبیعی، Natural Units، نامیده است، که با توجه به عدم رسا بودن کلمه مذکور در این مطالعه به واحدهای ترکیبی تغییر یافته است). با وجود اینکه در این روش واحدهای مجاور با درجه خطر مشابه در هم ادغام می گردند، در نهایت تعداد زیادی واحدهای کوچک ایجاد می شود.

ارزیابی پایداری شیبها

ارزیابی پایداری شیبها می تواند توسط یکی از چهار روش زیر انجام گیرد:

الف) به نقشه در آوردن لغزشهای موجود: در این روش با توجه به محدوده لغزشهای موجود، پایداری دامنه ها تخمین زده شده و احتمال ایجاد زمین لغزش در محدوده و یا نزدیکی زمین لغزشهای قبلی، بالا در نظر گرفته می شود؛

ب) آنالیز شکل زمین: طی این روش مواد دامنه و تاثیر فرآیندها در سطح زمین تفسیر شده و منطقه به بخشهایی با درجات خطر متفاوت و انواع مختلف خطر تقسیم می گردد؛

ج) 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 می شوند که در نهایت منجر به تهیه نقشه خطر می گردد. به هریک از موارد موجود در نقشه‌های عامل،بر اساس نقش آنها در ایجاد زمین لغزش وزن داده می شود؛ سپس مجموع وزنهای موجود درهر واحد محاسبه و حاصل آن برای تخمین میزان خطر بکار برده می شود. در جاییکه واحد بندی منطقه بر اساس ایجاد شبکه‌های منظم یا دامنه‌ای است روی هم قرار دادن نقشه‌ها ممکن است به صورت فرضی و نه به طریق عملی انجام گیرد.

د) آنالیز مهندسی: در آنالیز دامنه، خواص فیزیکی شیب اندازه گیری شده و مقادیر بدست آمده در مدلهای رفتار شیب مورد استفاده قرار می گیرند. این روش معمولا در تحقیقات محلی برای ساختمان سازی و دیگر کارهای خاکی و بعضاً ارزیابی شیبها در یک محدوده وسیع بکار می رود.

روش وزن دهی به عوامل

روش روی هم قرار دادن، نیاز به وزن دهی به عوامل دارد. سه راه برای اینکار موجود است:

۱) وزن دهی کور(Blind Weighting) : در این روش اهمیت نسبی هر یک از عوامل بر اساس تجربه و قضاوت کارشناس انجام می گیرد. این روش ممکن است غیر استدلالی و تنها بر اساس تجربه بدست آمده در سایر مناطق باشد. برای پهنه‌بندی مناطقی که تراکم زمین لغزشها در آنها بسیار کم یا فاقد زمین لغزش هستند، از این روش می توان استفاده کرد؛

۲) وزن دهی بینا(Slighted Weighting) : این وزن دهی با استفاده از زمین لغزشهای موجود انجام می شود. به زیر رده‌های با تراکم کمتر زمین لغزش، امتیاز کمتر و به زیر رده‌های با تراکم بیشتر زمین لغزش امتیاز بیشتر تعلق می گیرد. به همین صورت به نقشه هایی که باعث جدایش بهتری بین مناطق دارای زمین لغزش و فاقد زمین لغزش شده اند، وزن بیشتری داده می‌شود؛

۳) وزن دهی بعد از رویداد: این وزن دهی هنگامی انجام می گیرد که کلیه زمین لغزشها شناسایی و به نقشه در آمده باشند. آنگاه بعد از یک رویداد محرک مانند زلزله یا بارندگی شدید، زمین لغزشهای جدید را

شناسایی و از آنها برای وزن دهی به عوامل استفاده می‌نمایند. این روش می تواند از هر روش دیگری بهتر باشد.

طبقه بندی

مطابق مطالب ذکر شده، کلیه روشهای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را می توان در ۱۸ گروه طبقه بندی نمود. عدد ۱۸ حاصل ضرب شش روش ارزیابی پایداری(روی هم قرار دادن عامل ها بر اساس انواع روشهای وزن دهی، شامل سه روش است) در سه نوع شبکه بندی است.

۲-۲-۲- روش طبقه بندی ون وستن (۱۹۹۳)

ون وستن (۱۹۹۳) کلیه روشهای پهنه بندی را بر اساس نوع تجزیه و تحلیل در پنج گروه مختلف طبقه بندی نموده است (جدول ۱):

۱)تجزیه و تحلیل پراکندگی زمین لغزشها[1]

در این روش، نقشه پراکنش زمین لغزش بر اساس تفسیر عکسهای هوایی بزرگ مقیاس و بازدید صحرایی تهیه و کامل میگردد. در این نقشه نقاط و محدوده مکانی توده‌های لغزشی (بسته به مقیاس کار) یه‌صورت نقطه ویا محدوده ارائه میگردد(Wieczorek 1984).

نقشه‌های پراکنش‌غالبا اساس بیشر روشهای پهنه بندی خطرزمین لغزش را تشکیل می‌دهند. از این نقشه‌ها میتوان بعنوان نقشه مقدماتی خطر نیز استفاده کرد زیرا مناطقی را که در آنها انواع خاصی از حرکتهای توده ای اتفاق افتاده، نمایش می‌دهند. باید در نظر داشت که اطلاعات ارائه شده در مورد زمین لغزشهایی که از طریق تفسیر عکس هوایی شناسایی شده اند تنها در محدوده زمانی برداشت عکسهای هوایی و کار صحرایی معتبر است. نقشه‌های فوق الذکر هیچگونه اطلاعاتی درباره تغییر وضعیت زمین لغزشها در طول زمان ارائه نمی نمایند. از طرف دیگر ممکنست تعدادی از زمین لغزشهای خیلی قدیمی در روی عکسهای هوایی غیر قابل تشخیص باشند. بنابراین برای رفع این‌مشکل، نقشه‌های پراکنش زمین لغزشها براساس بررسی و تفسیر عکسهای هوایی برداشت شده در زمانهای مختلف تهیه می‌گردند .(Canutti et al. 1979,1985,1986)

جدول ۱: روشهای مختلف پهنه بندی خطر زمین لغزش بر اساس نوع تجزیه و تحلیل(Van Westen,1993)

ردیف	نوع روش تحلیل	ویژگیهای عمده
۱	تجزیه و تحلیل پراکندگی لغزشها (Distribution Analysis)	ثبت مستقیم عناصر زمین لغزشها. اطلاعات ثبت شده منحصر به محل زمین لغزشهایست که در گذشته اتفاق افتاده اند.
۲	تجزیه و تحلیل کیفی (Qualitative Analysis)	روشهای مستقیم و شبه مستقیمی که در آن نقشه ژئومورفولوژی تبدیل به نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش شده و یا چند نقشه با قضاوت کارشناسی با یکدیگر تلفیق می شوند

[1] Distribution Analysis

۳	تجزیه و تحلیل آماری (Statistical Analysis)	روشهای غیر مستقیمی هستند که با استفاده از تحلیل آماری تعدادی نقشه، خطر زمین لغزش پیش بینی می شود.
۴	تجزیه و تحلیل تعیینی (Deterministic Analysis)	روشهای غیر مستقیمی هستند که در آن نقشه های پارامتری جهت محاسبه ناپایداری با یکدیگر تلفیق می شوند.
۵	تجزیه و تحلیل فراوانی زمین لغزشها (Landslide Frequency Analysis)	روشهای غیر مستقیمی هستند که در آنها با استفاده از زلزله و/یا داده های بارندگی یا مدلهای هیدرولوژیکی همبستگی بین زمین لغزشهائی که در زمانهای مشخص بوقوع پیوسته اند ایجاد و دامنه تغییرات شدت و تکرار آنها پیش بینی میگردد.

جدول ۲: خلاصه ای از روشهای مهم در به نقشه درآوردن ناپایداری شیروانیها (Safavi, 1997, Luzi, 1995)

اساس روش	نوع روش	تقسیمات روش	چگونگي انجام	واضع روش
تجزیه و تحلیل ژئومرفولوژیکی	ثبت مستقیم	نقشه های پراکنش	جمع آوری اطلاعات درباره زمین لغزشها (تفسیر عکسهای هوایی، کار صحرایی)	---------
		منحنی میزان پراکنش	محاسبه فراوانی و نمایش آن بصورت منحنی	Wright (1974)
		نقشه های ژئومرفولوژیکی	تهیه و ارائه اطلاعات در مورد انواع حرکت و فاکتورهای دست اندرکار	Carrara & Merenda (1974); Brundson et al., (1975); Malgot & Mehr (1979); Kienholz (1993)
		مناطق همگن	تقسیم منطقه به مناطق همگن و مشخص نمودن میزان خطر برای هر یک از آنها	Van Westen (1993)
	ثبت غیر مستقیم	تجزیه تحلیل کیفی	تحلیل کیفی خطر از طریق روی هم اندازی نقشه پراکنش و نقشه های پارامتر	Brabb et al., (1972); Brabb (1987); Bosi

				(1984)
		تهیه جدول آماری بهمراه نقشه		Carrara et al., (1977); Lessing (1983); Corominas et al., (1992)
		آماری دو متغیره		Yin & Yan (1978); Bonham Carter et al., (1990); van Westen (1993); Chung & Fabbi (1993)
		آماری چند متغیره		Carrara et al., (1978, 1990, 1991, 1992)
تجزیه و تحلیل مهندسی	تحلیل تعیینی	تحلیل تعیینی در حالتهای فعال، نیمه فعال و تثبیت شده	ترکیب اطلاعات ژئوتکنیکی و هندسی جهت تجزیه و تحلیل پارامترهای پایداری (ضریب اطمینان، حداقل شتاب بحرانی، جابجایی در زمان زلزله)	Bishop (1956); Petterson (1956); Sarma (1979); Newmark (1965)

انواع نقشه هایی که در این ارتباط می توان تهیه نمود عبارتند از:

- نقشه‌های توزیع زمین لغزشها بر اساس فراوانی آنها: رایت و همکاران(۱۹۷۴) با استفاده از دوایر هم تعداد، روشی جهت محاسبه فراوانی زمین لغزشها ارائه نمودند؛

- نمایش مقادیر فراوانی زمین لغزشها بصورت منحنی میزان: نقاط هم ارز از نظر تعداد زمین لغزش به یکدیگر وصل شده و تبدیل به منحنی میزانهای هم‌ارز میشوند. اگر چه این روش ارتباط بین حرکات توده‌ای و عوامل موثر را برقرار نمی‌سازد اما می‌تواند بصورت کمی فراوانی زمین لغزشها را در منطقه ارائه نماید.

- نقشه فعالیت زمین لغزشها: در این نقشه ها، مقدار وچگونگی فعالیت زمین لغزشها در گروههای مختلف نمایش داده میشود.

۲)تجزیه و تحلیل کیفی زمین‌لغزشها[۲]

در روشهای مبتنی بر ژئومرفولوژی، به نقشه درآوردن زمین لغزش و خصوصیات ژئومرفولوژیکی آن مهمترین شاخصه تشخیص و شناسایی خطر زمین لغزش است. اساس این تفکر توسط کین هولز(۱۹۷۷) بنا شده و در آن یک نقشه خطر با به نقشه درآوردن شاهدان خاموش[۳](Stumme Zeugen) تهیه میگردد. در این روش میزان خطر برای هر قسمت عارضه برآورد میگردد. از آنجاییکه روش بکارگرفته شده برای هر منطقه متفاوت است لذا اساس این روش را نمیتوان بصورت فرمول ارائه نمود. همچنین بدلیل اینکه تجزیه و تحلیل خطر در ذهن ژئومرفولوژیست صورت میپذیرد در نتیجه روشهای ژئومرفولوژیکی، ذهنی تلقی میگردند. بکارگیری دو اصطلاح ذهنی (Subjective) و غیر ذهنی (Objective) برای نشان دادن این

[2] Qualitative Analysis

[3] Silent witnesses

واقعیت است که مراحل مختلف تعیین خطر توسط یک فرد تا چه حد برای دیگران قابل تشخیص و شناسایی بوده و آیا آنها نیز میتوانند نقشه تهیه شده را مجددا تولید نمایند و تا چه میزانی تولید اینگونه نقشه ها بر قضاوت شخصی افراد تکیه دارد. نقشه هایی که با روش ذهنی و توسط یک ژئومرفولوژیست با تجربه تولید شوند بیشتر قابل اعتماد هستند. در مقابل نقشه هایی که با روش غیرذهنی تهیه میشوند در صورت ساده نگری بیش از حد شرایط طبیعی، اساسا نمیتوانند قابل اعتماد باشند. نمونه هایی از نقشه های خطر ژئومرفولوژیکی توسط کاررا و مرندا(۱۹۷۴)، برونسدن و دیگران(۱۹۷۵)، ماگت و ماهر(۱۹۷۹)، کین هولز(۱۹۸۴،۱۹۸۰،۱۹۷۸،۱۹۷۷)،کین هولز و دیگران(۱۹۸۳و۱۹۸۸)،گروندر(۱۹۸۰)، ایویس و مسرلی(۱۹۸۱)، روپکه و دیگران(۱۹۸۸،۱۹۸۷)، پروت(۱۹۸۸)، هرملین(۱۹۹۲،۱۹۹۰)، هرن(۱۹۹۲) و سیجمونس برگن(۱۹۹۲) تهیه شده اند. جهت حل مشکل "قوانین مخفی"[4] در روش ژئومرفولوژیکی، انواع دیگری از روشها بر اساس ترکیب نقشه های کیفی ابداع شده اند. استیونسن[5] (۱۹۷۷) یک روش تجربی وزن دهی را برای یک منطقه در تاسمانی ابداع نمود. وی بر اساس تجربه‌ای که در مورد عوامل محرک ناپایداری بدست آورده بود، وزن های متفاوتی را برای کلاسهای مختلف تعدادی از نقشه های عامل در نظر گرفت. این روش امروزه در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزشهای بسیاری مورد استفاده قرار می گیرد. اشکال این روش در این است که یافتن وزن مناسب برای کلاسهای متفاوت معمولا بدلیل کمبود اطلاعات صحرایی ممکن نیست؛ در نتیجه نقشه تهیه شده در بعضی کلاسها بصورت اغراق آمیزی غیر واقعی است.

۳) روش تحلیل آماری خطر

روشهای آماری با هدف غیر ذهنی نمودن روشهای پهنه بندی و ایجاد امکان تهیه مجدد نقشه‌ها ابداع شده اند. در این روشها استفاده از کامپیوتر کار را تسهیل مینماید. دو نوع روش آماری در این ارتباط بکار گرفته می شود:

۱- روش آماری دو متغیره: در این روش هر نقشه فاکتور (برای مثال شیب، زمین شناسی و یا کاربری اراضی) به صورت جداگانه با نقشه پراکنش زمین لغزشها ترکیب شده و زیر گروههای مربوطه بر اساس تراکم زمین لغزشها امتیازدهی می گردند. برب و همکاران(۱۹۷۲)، با استفاده از این روش و در نظر گرفتن دو عامل نوع مصالح درگیر و زاویه شیب، منطقه مورد مطالعه خود را پهنه بندی نمودند. در این مطالعه واحدهای زمین شناسی براساس چگالی زمین لغزشها دسته بندی شده و وزن مناسب بر اساس استعدادنسبی به آنها داده شده است. با ادغام این مقادیر با نقشه شیب, کلاسهای نهایی ناپایداری تولید گردیده اند. با وجود اینکه معمولا تنها استفاده از دو لایه شیب و جنس سنگ کافی نیست معهذا این آسانترین روش تولید نقشه های پهنه بندی میباشد.

۲- روش آماری چند متغیره: این روش در ابتدا در ایتالیا توسط کررا و همکاران(۱۹۷۸ و ۱۹۷۷)، ابداع گردید. در این روش رخداد و یا عدم رخداد زمین لغزش با توجه به مجموعه عوامل موجود(و نه به صورت جداگانه) در هر واحد ارزیابی می‌گردد. اهداف عمده این روش عبارتند از:

۱- تجزیه و تحلیل اطلاعات نقطه ای فاکتورهای محرک برای هر یک از زمین لغزشها؛

۲- تجزیه و تحلیل آماری عوارض کل منطقه: برای هر نقطه ، اطلاعات مربوط به لایه های زمین شناسی، ژئومرفولوژی، هیدرولوژی و خصوصیات فیزیکی جمع آوری و با استفاده از همبستگی چندتایی وتحلیل مبین[6] مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در این روشها مراحل جمع آوری و تجزیه و تحلیل اطلاعات طولانی و زمانبر میباشند.

---

[4] Hidden Rules

[5] Stevenson

[6] Discriminant analysis

علاوه بر دو روش فوق، از دیگر روشهای آماری که در تجزیه و تحلیل خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گرفته اند میتوان به روش ارزش اطلاعاتی[7] (Yin and Yan, 1988; Kobashi and Suzuki, 1988)، مدل ریاضی[8] (Runqiu and Yuanguo, 1992) و مدل نمودن احتمالات[9] (Gonzalez, 1992 و Sabto, 1991) اشاره نمود.

۴) تحلیل خطر تعینی

مدلهای تعینی به مدلهایی اطلاق می گردد که با استفاده از پارامترهای ژئوتکنیکی مانند C و Φ و تحلیلهای مربوطه نسبت به محاسبه میزان پایداری شیبها، اقدام میگردد. این مدلها علیرغم وجود مشکلات در رابطه با جمع آوری اطلاعات قابل اعتماد و کافی، بطور روز افزونی در تحلیلهای مربوط به خطر زمین لغزش بکار گرفته می‌شوند؛ در شرایطی که خصوصیات ژئومورفولوژیکی و زمین شناسی در کل محدوده مطالعاتی تقریبا همگن باشند و لغزشها نیز از انواع ساده باشد این مدلها بیشتر کاربرد دارند. امتیاز مدلهای تعینی که به مدلهای جعبه سفید[10] مشهور هستند، نسبت به مدلهای دیگر، در اینست که بر اساس خصوصیات فیزیکی موجود طراحی میگردند. اشکال مهم این مدلها نیز ساده سازی بیش از حد[11] است. این روش در کنار مدل شیبهای بینهایت[12]، بطور معمول در پیش بینی زمین لغزش های انتقالی مورد استفاده قرار میگیرد.(Ward et al., 1982, Brass et al., 1989; Murphy and Vita-Finzi, 1991). در بکارگیری این روشها بطور معمول استفاده از مدلهای شبیه سازی وضعیت آبهای زیرزمینی نیز الزامی است(Okimura and Kawatani, 1986).

۵) تحلیل فراوانی زمانی زمین‌لغزشها

در مورد زمین لغزشهایی که مخصوصا به دلیل بارندگی و زلزله واقع میشوند، روشهای متفاوتی ابداع شده که میزان بارندگی و بزرگی زلزله محرک زمین لغزش را مشخص مینمایند. از جمله این مطالعات می توان به مطالعات کروزیر(۱۹۸۶)، کیفر و دیگران (۱۹۸۷)، و گپچی و فوکارتی(۱۹۸۸) اشاره نمود.

۲-۳- معرفی برخی روشهای قالبی مرسوم در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

محققین مختلف جهت پهنه بندی خطر زمین لغزشها در مناطق گوناگون بسته به اهمیت و تاثیر پارامترهای مختلف روشهائی را ارائه نموده اند که غالباً در مقیاسهای محلی توانسته اند نقشه هائی با دقت و صحت مناسب تولید نمایند. توجه به این نکته ضروری است که استفاده از این روشها و تعمیم آنها برای دیگر مناطق، مستلزم تشابه نسبی بین دو منطقه از نظر شرایط اقلیمی، زمین شناسی و ... برای انتخاب پارامترها و یکسان بودن میزان نقش و اهمیت پارامترهای بکار گرفته شده جهت استفاده از وزنهای پیشنهادی است. لذا در مواردی که برای استفاده از روشهای مذکور باید اولاً در هر دو منطقه عوامل تقریباً مشابهی در ایجاد ناپایداریها موثر باشند و ثانیاً امتیازهای نسبت داده شده به گروههای پارامتری و کلاسهای آنها با شرایط منطقه هماهنگ گردد. در زیر به شرح مختصر برخی از این روشها اشاره می گردد.

---

[7] Information Value

[8] Logical Message Model

[9] Probabilistic Model

[10] White Box Models

[11] Oversimplification

[12] Infinite Slope Model

۲-۳-۱- روش مورا- وارسون(۱۹۹٤)

مورا و وارسون(۱۹۹۴) با بررسی گسیختگی‌های بوقوع پیوسته در اثر زمین لرزه‌های تاریخی و بارندگی‌های سنگین در کاستاریکا، پارامترهای مؤثر در این گسیختگی‌ها را بصورت دو گروه پارامترهای محرك(Triggering factor) و مستعد کننده(Susceptibile factor) دسته بندی نمودند. در این روش سه عامل اختلاف ارتفاع نسبی(Sr)(در۶ کلاس و با حداکثر امتیاز ۵) ، شرائط لیتولوژیکی (Sl) (در۵ کلاس و با حداکثر امتیاز ۵) و رطوبت خاك (Sh) (در۵ کلاس و با حداکثر امتیاز ۵) بعنوان پارامترهای مستعد کننده و دو عامل شدت بارندگی Tp(در۵ کلاس و با حداکثر امتیاز ۵) وشدت زمین لرزه در مقیاس مرکالی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله Te(در۱۰ کلاس و با حداکثر امتیاز ۱۰) بعنوان عوامل محرك در نظر گرفته شده اند. واحدبندی منطقه در این روش بصورت شبکه منظم مربع شکل به مساحت یك کیلومتر مربع انتخاب شده است. مقدار خطر با استفاده از رابطه زیر محاسبه و نقشه خطر نهائی به ۶ گروه خطر تقسیم شده است.

$$H_L = (Sr . Sl . Sh) . (Ts + T p) \qquad (۱)$$

که در آن H_L اندکس خطر زمین لغزش، S_r مقدار اندکس اختلاف ارتفاع نسبی، S_l مقدار اندکس حساسیت جنس سنگها، S_h مقدار اندکس تاثیر رطوبت طبیعی خاک، T_s مقدار تاثیر شدت زلزله، و T_P مقدار تاثیر شدت بارندگی است. با مرور این رابطه، به نظر می رسد رابطه طوری طراحی شده است که مجموع عوامل تحریک کننده(زلزله و بارندگی) همانند یکی از عوامل مستعد کننده در میزان عدد خطر تاثیر گذار باشد. اما با مراجعه به جداول امتیاز دهی به زیر گروهها مشخص می گرددکه حداکثر وزن تمام زیر گروهها بجز زلزله که ۱۰ است، ۵ می باشد. این بدان مفهوم است که مجموع عوامل زلزله و بارندگی می توانند عدد خطر را ۱۵ برابر نمایند در حالی که هر یک از عوامل مستعد کننده تنها قادر به افزایش ۵ برابری عدد خطر می گردند.

بدیهی است که تاثیر مجموع عوامل مستعد کننده در عدد خطر، نسبت به مجموع عوامل محرک، همچنان بالا باقی می ماند زیرا مجموع عوامل مستعد کننده می توانند عدد خطر را تا ۱۲۵ برابر (۵×۵×۵) افزایش دهند در صورتی که توانایی افزایش عدد خطر توسط عوامل محرک ۱۵(۱۰+۵) خواهد بود.

استفاده از عملگر ضرب به جای عملگر جمع در رابطه مورا و وارسون می تواند به افزایش دامنه عدد نهایی خطر (H_t) و درنتیجه مقایسه بهتر این اعداد بینجامد. همچنین با توجه به اینکه امتیاز داده شده برای مناطق با اختلاف ارتفاع نسبی بسیار پایین(۰-۷۵ متر در کیلومتر مربع) صفر می باشد حاصل ضرب آن در بقیه وزنهای داده شده صفر خواهد شد(هر چند که از نظر عوامل دیگر منطقه دارای استعداد فوق العاده ای برای ایجاد لغزش باشد) این عمل با توجه به ضعیف بودن امکان ایجاد زمین لغزش در مناطق کم شیب منطقی به نظر می رسد.

با توجه به وزن دهی به لایه های مربوطه، عدد خطر در روش مورا و وارسون می تواند از صفر تا ۱۸۷۵ متغیر باشد. برای تبدیل اعداد به واژه های توصیفی، مورا و وارسون توصیفات معادل موجود درجدول ۳ را برای بیان خطر زمین لغزش انتخاب کرده اند.

جدول ۳ : گروههای پتانسیل خطر زمین لغزش (مورا و وارسون، ۱۹۹۴)

مقدار عدد خطر(H_t)	گروه	پتانسیل خطر
۶-۰	I	خیلی کم
۳۲-۷	II	کم
۱۶۲-۳۳	III	نسبتا متوسط
۵۱۲-۱۶۳	IV	متوسط
۱۲۵۰-۵۱۳	V	بالا
بیش از ۱۲۵۰	VI	خیلی بالا

با توجه به جدول ۳ مشخص می گردد که گرچه بازه کلی اعداد نسبت به سایر روشها خیلی زیاد شده است(۰ تا ۱۸۷۵)؛ ولی انتخاب بازه برای هر رده خطر نسبت به رده قبلی به صورت تصاعدی زیاد شده است. این کار که کاری غیر قابل اجتناب است، تا حد زیادی از مزایای بازه زیاد اعداد که با هدف جدایش بهتر مرزهای خطر انجام گرفته، می کاهد.

۲-۳-۲- روش حائری ـ سمیعی

حائری و سمیعی (۱۹۹۴) با انجام اصلاحاتی، روش مورا -وارسون را برای پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش ناحیه تحت تاثیر زلزله منجیل مورد ارزیابی قرارا داده و آنرا برای برای ناحیه مذکور و مطابق با شرایط اقلیمی ایران اصلاح نمودند. محققین فوق همچنین با ایده گرفتن از روش مورا وارسون نسبت به پهنه بندی خطر زمین لغزش استان مازندران در مقیاس ۲۵۰۰۰۰ : ۱ اقدام نمودند(حائری و سمیعی، ۱۳۷۶). واحدبندی بکارگرفته شده در این مطالعه شبکه منظم(تقریبا مربعی) به ضلع تقریبی ۲/۵ کیلومتر بوده است. همچنین این الگو در مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ در منطقه جنوب خلخال نیز بکار گرفته شده است(طباطبائی ۱۳۷۷). در این روش به جای فاکتور ارتفاع نسبی(Sr)، مقدارشیب(P_I)(در ۶ کلاس) جایگزین شده است. دو عامل طول راه – رودخانه P_R(در ۵ کلاس) و طول گسلP_F(در ۵ کلاس)، بعنوان پارامتر نشانگر خردشدگی در هر واحد از شبکه بعنوان دو عامل مستعدکننده دیگر در نظر گرفته شده‌اند. عامل لیتولوژی (در ۱۰ کلاس) و پارامتر زمین لرزه (در ۶ کلاس خطر) دسته بندی شده اند و در نهایت مقدار خطر H_I در ۷ کلاس با استفاده از رابطه زیر محاسبه شده است(حائری-سمیعی ۱۳۷۶).

$$H_I= (C_L P_L)(C_I P_I)(C_F P_F)(C_R P_R)(C_H P_H)(C_P T_P + C_E T_E) \qquad (۲)$$

با استفاده از فرمول فوق و جداول مربوطه مشخص می گردد که تفاوت اساسی روش تحلیل حائری و سمیعی با مورا وارسون در جدا کردن وزن هر عامل (به عنوان مثال C_R) از امتیاز زیر گروههای مربوطه(به عنوان مثال P_R) است.در روش مورا وارسون کل وزن با یک عدد (Sr) بیان شده است.

با وجود مزایای روش مورد بحث یک اشکال اساسی بر این روش وارد است و آن اینکه ضرایب اهمیت لایه ها اغلب زیر یک در نظر گرفته شده اند. این عمل موجب می گردد در مواردی که وزن زیر گروه یک است کل تاثیر عامل به صورت معکوس در عدد خطر تاثیر گذاشته و آنرا به شدت کاهش می دهد که این مورد منطقی به نظر نمی رسد.

لازم به ذکر است که در روش حائری- سمیعی الگوی مناسبی برای کمی نمودن جنس مصالح با توجه به سازندها و لیتولوژیهای ایران ارائه شده که جهت بکارگیری در ایران مناسب است هرچند که در مواردی بعلت ویژگیهای محلی ممکن است رده بندی لیتویوژیکی تاحدی تغییر نماید لیکن استفاده از این الگو خصوصاً در پهنه بندیهای کوچك مقیاس بسیار مناسب میباشد. در پهنه بندیهای متوسط مقیاس یا بزرگتر با توجه به نقشه پراکندگی زمین لغزشها لازم است در مواردی تغییراتی در این الگو صورت پذیرد.

۲-۳-۳-روش آنبالاگان

آنبالاگان و همکاران(Anbalagan,1992) در منطقه ای در هیمالایا روشی کمی را برای محاسبه خطر زمین‌لغزش معروف به روش LHEF(Landslide Hazard Evaluation Factor) ارائه نمودند در این روش در ابتدا در محدوده‌های همگن از نظر شیب و جهت شیب (واحدهای دامنه ای) ، پارامترهای لیتولوژی، عوارض ساختاری، ریخت‌شناسی شیب، ارتفاع نسبی، کاربری، پوشش گیاهی و هیدرولوژی برداشت می‌شوند. ملاك امتیازدهی در این روش بگونه‌ای است که حداکثر امتیاز برای کلاسهای لیتولوژی ۲، ویژگیهای ساختاری ۲، ریخت‌شناسی و شیب ۲، ارتفاع نسبی ۱، کاربری و پوشش گیاهی ۲ و شرائط آب‌زیرزمینی ۱ است، لذا حداکثر مقدار خطر بدست آمده که با جمع جبری مقادیر هر یك از گروههای مذکور محاسبه می‌شود ۱۰ و حداقل آن صفر خواهد بود. روش آنبالاگان توسط دیگر محققین نظیر تورینی و همکاران(۱۹۹۴) در ایتالیا و ابوالمسعود و استوجلکو (۱۹۹۴) در یوگسلاوی با انجام تصحیحات محلی بکارگرفته شده است . این روش در ایران نیز توسط مهدویفر و منتظرالقائم (۱۳۸۲) در البرز مرکزی در مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰ و ارومیه‌ای و امینی (۱۳۷۷) در حوزه آبخیز هلیل‌رود در مقیاس ۲۵۰۰۰۰: ۱ مورد استفاده قرار گرفته است.

۲-۳-٤- روش پاچوری ـ پنت

پاچوری و پنت (Pachauri & Pant,1992) در مسیر رودخانه آگلار(Aglar) هند با شبکه‌بندی نامنظم دامنه (نقشه واحدهای اراضی، Terrain mapping unit) پارامترهای جهت شیب، لایه بندی، فاصله از گسلهای فعال، شیب دامنه، ارتفاع نسبی، زمین شناسی، پوشش گیاهی، فاصله از خط الراس و چگالی راه را

بصورت کمی در واحدهای فیزیوگرافیك محاسبه کرده و با جمع جبری مقادیر مربوط به پارامترها با یکدیگر مقدار شاخص خطر زمین لغزش را در هریك از واحدها محاسبه نموده‌اند. پاچوری و پنت و آنبالاگان دو فاکتور ارتفاع نسبی و مقدار شیب دامنه را در روشهای خود برای پهنه‌بندی بصورت مجزا وارد نموده‌اند . ضمن اینکه در روش پهنه‌بندی پاچوری - پنت عامل جهت شیب لایه‌ها بصورت موافق و مخالف شیب دامنه، ارائه شده است، حال آنکه در روش آنبالاگان ویژگیهای ساختاری شیب لایه‌ها و دامنه به تفضیل بیشتری ارائه شده است.

۲-۳-۵- روش کاناگاوا

این روش در ژاپن در حوزه کاناگاوا (Kanagawa) بر اساس اطلاعات سه دوره زمین لرزه ارائه شده است(TC4,1993). دراین روش با جمع جبری مقادیر وزنی پارامترهای مختلف ماکزیمم شتاب زلزله1W(۴ کلاس)، طول خطوط میزان2W(۴ کلاس)،حداکثر اختلاف ارتفاع نسبی3W(۵ کلاس)، سختی سنگ4W(۳ کلاس)، طول گسلش5W(۳ کلاس)، طول شیبهای مصنوعی6W(۳ کلاس) و شکل عرضی شیب7W(۴ کلاس) ، استعداد گسیختگی دامنه (W) برای هر واحد که بصورت مربعات با اضلاع ۵۰۰متر می‌باشند، محاسبه می‌شود.

این روش نیز توسط حائری و سمیعی (۱۹۹۴) در منطقه رودبار- منجیل مورد استفاده قرار گرفته و برای شرایط ایران در آن اصلاحاتی صورت گرفته است.

۲-۳-٦- روش استیونسن

استیونسن(Stevensen,1978)، با وزن‌دهی به پارامترهای عامل رس(پلاستیسیته P)، عامل آب (W)،عامل زاویه شیب(S) ، عامل پیچیدگی شیب(Slope Complexity, C) و عامل کاربری زمین (U)(همگی با تقسیم به سه زیر کلاس)، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را در تاسمانیای شمالی ارائه نموده است . مقدار خطر نهائی R ، بر مبنای رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = (P + 2W) (S + 2C) (U) \qquad (۳)$$

چنانچه میزان R در حدود ۶۰ یا بیشتر باشد گسیختگی روی خواهد داد و مقادیر در حدود ۵۰ بعنوان اخطار در امکان بروز ناپایداری در نظر گرفته می‌شود.

۲-۳-۷- روش گوپتا

گوپتا و همکاران (Gupta, 1993) در دره سوتلج(Sutlej)هند، نقشه پهنه‌بندی را در مقیاس ۵۰۰۰۰ : ۱ بر مبنای شبکه‌بندی نامنظم ارائه نمودند. مقادیر خطر زمین لغزش (LHZ) با ضرب مقادیر وزن پارامترهای زمین شناسی (در ۵ کلاس با حداکثر وزن ۵)، هوازدگی (در ۴ کلاس با حداکثر وزن ۴)، پارامتر ناپیوستگی ساختاری (در ۴ کلاس با حداکثر وزن ۵ و حداقل۲)، و شرائط هیدرولوژیکی(در ۵ کلاس با حداکثر وزن ۵) محاسبه می گردد. مقادیر خطر بر مبنای خطوط تراز ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۴۰۰ به پنج رده تقسیم‌بندی میگردند.

۳- طبقه بندی و آنالیز مطالعات انجام شده

۳-۱ طبقه بندی مطالعات انجام شده

در این طرح جهت آگاهی از مطالعات و تحقیقات انجام شده در رابطه با پهنه بندی درایران و سایر کشورها اقدام به جمع آوری منابع مختلف گردیده است. منابع مورد نظر عبارتند از:

- کتابهای مربوط به زمین شناسی مهندسی و زمین لغزش
- کلیه ژورنالهای مربوطه که مهمترین آنها عباتند از:

Engineeing Geology

Bulletin of Engineering Geology and the Environment(Bull. Int. Assoc. Eng. Geol)

Quart. J. Engineering Geology

International Geomorphology

Geological Society of America Bulletin

Earth Sciences

- مجموعه مقالات: که مهمترین آنها عباتند از:
  - مجموعه مقالات دوره های مختلف گردهمایی های داخلی و بین المللی زمین لغزش؛
  - مجموعه مقالات دوره های مختلف گردهمایی های داخلی و کنفرانسهای بین المللی زمین شناسی مهندسی.
- منابع اینترنتی: که بوسیله جستجو در سایتهای مختلف استخراج شده اند.

از منابع فوق الذکر مجموعاً ۱۰۸مقاله و ۴۳ پایان نامه و گزارش استخراج گردیده است. با توجه به اهداف طرح، جهت مطالعه مقالات جمع آوری شده، سعی شده است اطلاعات آنها به شکل سیستماتیک استخراج گردند. بدین منظور جدول ۴ طراحی و پارامترهای لازم در آن آورده شده است. همانگونه که مشاهده می شود در طراحی جدول سعی گردیده است با حداقل فضای ممکن بیشترین اطلاعات لازم آورده شود. جدول مربوطه به همراه توضیحات کامل در پیوست شماره ۴ آمده است.

جدول ۴: نمونه جدول طراحی شده جهت استخراج اطلاعات موجود درمقالات

ردیف	عنوان	محقق	مقیاس	سال انتشار	منبع	کشور	شکل زمین	بارندگی	زلزله خیزی	واحد بندی	اندازه واحد(m2)	روش آنالیز	تعداد لایه ها	کد لایه ها	ترکیب لایه ها	روشهای کمی	توضیحات

۳-۲- آنالیز اطلاعات جمع آوری شده

همانطور که قبلا ذکر شد در این تحقیق تعداد ۱۵۱ متن کتابی، مقاله، و پایان نامه در ارتباط با پهنه بندی جمع آوری شده است. اطلاعات این متون با توجه به تجزیه های علمی صورت گرفته قابل طبقه بندی هستند.

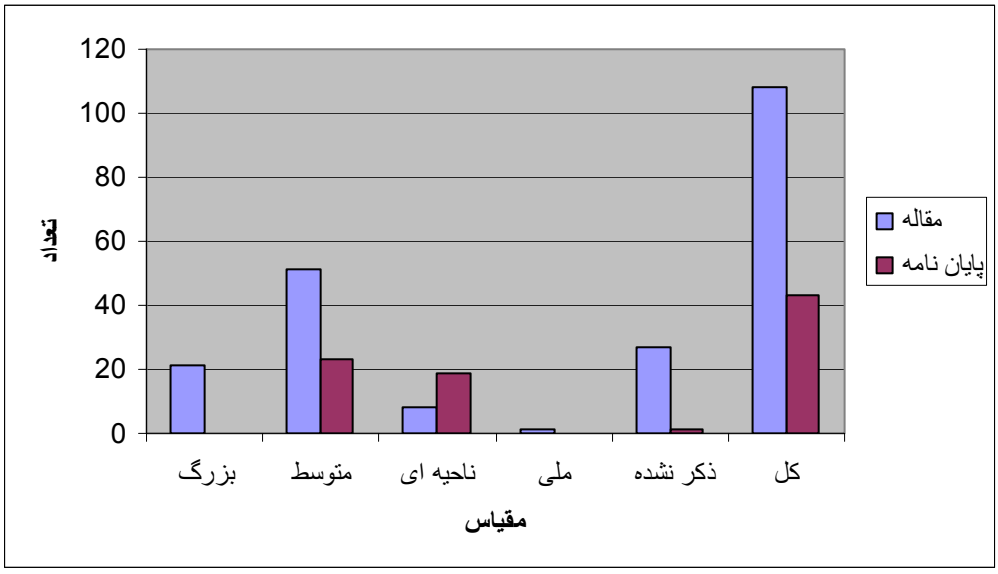
بدیهی است در اکثر مقالات، اطلاعات مورد نیاز در جدول ۳ به طور مستقیم ذکر نشده اند. در این موارد چنانچه اطلاعات لازم قابل استنتاج از سایر اطلاعات موجود بوده اند، موارد همراه با علامت سوال در جدول قید شده است. در مواردی نیز که اطلاعات خواسته شده در مورد مقاله صدق نکرده یا مشخص نبوده است به جای اطلاعات، علامت سوال گذاشته شده است(مانند اندازه واحد در زمانی که واحدها دامنه ای هستند). در زیر طبقه بندی متون طبق موارد مذکور در جدول ۱ آورده می شود:

مقیاس

منابع جمع آوری شده را می توان بر اساس مقیاس در گروههای زیر قرار داد(طبقه بندی بر اساس IAEG, 1976):

- پهنه بندی خطر در مقیاس ملی (کوچکتر از ۱:۱۰۰۰،۰۰۰) ۱ مورد؛
- پهنه بندی خطر در مقیاس منطقه ای (بین ۱:۵۰۰،۰۰۰ و ۱:۱۰۰،۰۰۰) ۲۷ مورد؛
- پهنه بندی خطر در مقیاس متوسط (بین ۱:۵۰،۰۰۰و ۱:۲۵،۰۰۰) ۷۴ مورد؛
- پهنه بندی خطر در مقیاس بزرگ (بین ۱:۱۵،۰۰۰و ۱:۵،۰۰۰) ۲۱ مورد؛
- مواردی که در رابطه با موضوعات کلی پهنه بندی و ریسک بحث کرده اند: ۲۸ مورد

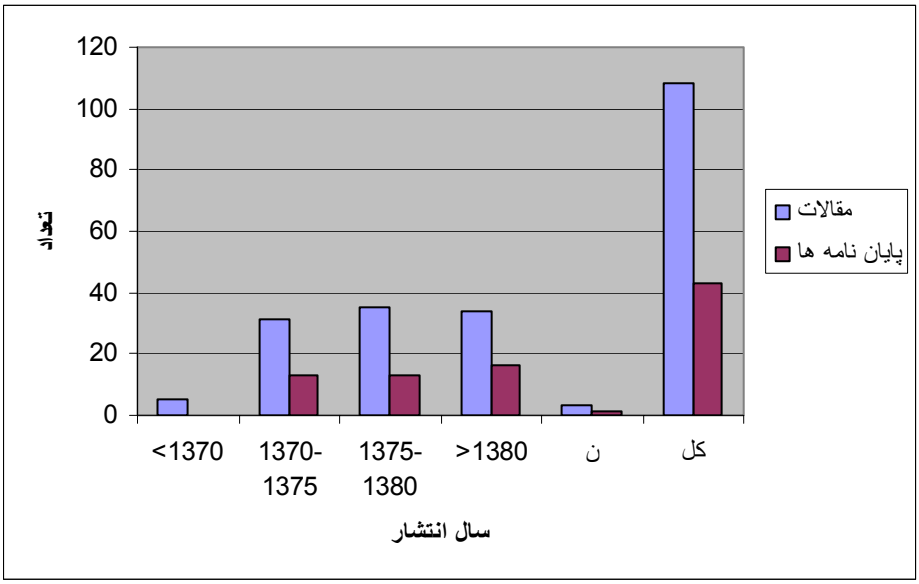
لازم به ذکر است از موارد فوق ۵ تحقیق مربوط به پهنه بندی خطر در طول شریانهای حیاتی بوده است. شکل ۲ تعداد منابع را به تفکیک مقیاس آنها نمایش میدهد.



شکل ۲: تعداد منابع به تفکیک مقیاس

سال انتشار

پراکنش سال انتشار مقالات در شکل ۳ نمایش داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد از تحقیقات جمع آوری شده ۵ مورد مربوط به قبل از سال ۱۳۷۰، ۴۴ مورد مربوط به سالهای ۱۳۷۰ تا ۱۳۷۵، ۴۸ مورد مربوط به سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ و ۵۰ مورد مربوط به سالهای بعد از ۱۳۸۰ می باشد. همچنین تاریخ ۴ مورد از موارد مشخص نمی باشد. با توجه به آمار مذکور مشخص می گردد که اکثر قریب به اتفاق مقالات و گزارشات جمع آوری شده مربوط به ۱۴ سال اخیر می باشند که حاکی از جدید بودن تحقیقات پایه این مطالعه می باشد.



شکل ۳: تعداد مقالات جمع آوری شده به تفکیک سال انتشار

نوع منبع

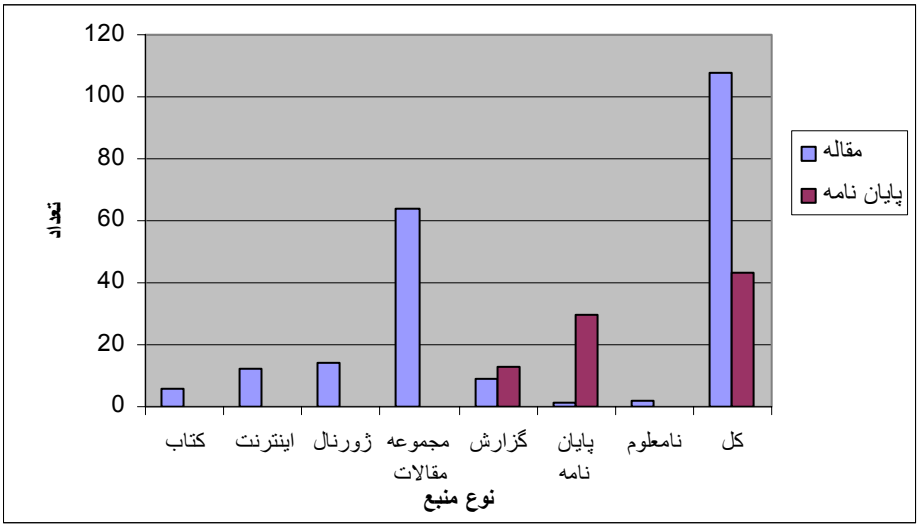
نوع منبع مقالات جمع آوری شده به تفکیک در شکل ۴ نمایش داده شده است. اکثر متون جمع آوری شده مربوط به مجموعه مقالات کنفرانسها است(۴۲ درصد). مقالات مربوط به پایان نامه و گزارش به ترتیب با ۲۱ و ۱۵ درصد، رتبه های بعد منابع اطلاعاتی را تشکیل می دهند.

شکل زمین

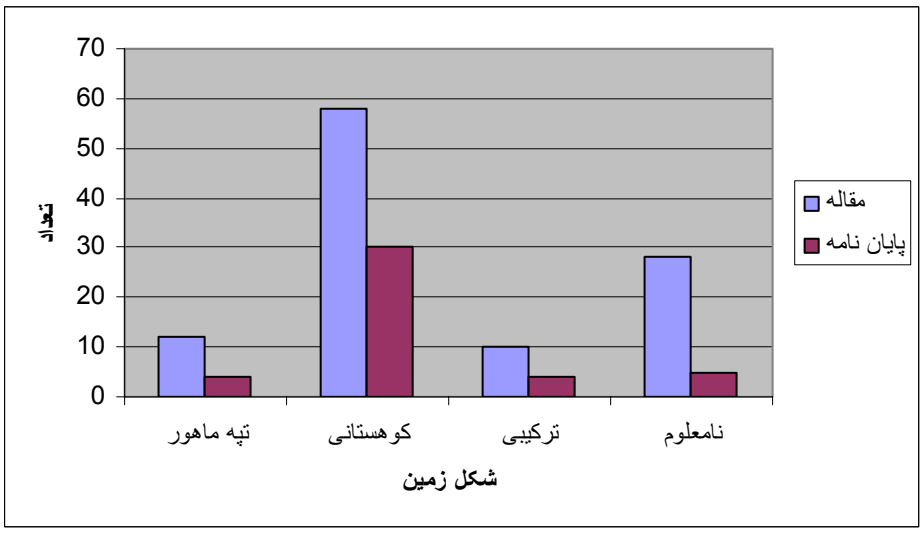
از مقالات جمع آوری شده حدود ۵۸ درصد مربوط به مناطق کوهستانی، ۱۱ در صد مربوط به مناطق تپه ماهوری و ۹ درصد مربوط به مناطق ترکیبی بوده است؛ ژئومورفولوژی ۲۲ در صد از مناطق مشخص نبوده است(شکل۵).

بارندگی

تفکیک مناطق مورد مطالعه از نظر میزان بارندگی سالیانه در شکل ۶ نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل دیده میشود بسیاری از پهنه بندی ها (۳۲ درصد) در مناطق مرطوب با بارندگی بیش از ۷۰۰ میلی متر، انجام شده است. مناطق نیمه مرطوب، نیمه خشک و خشک به ترتیب ۱۳ و ۱۱ و ۱ درصد از مناطق مورد مطالعه را در منابع جمع آوری شده تشکیل می دهند. در ۴۲ درصد از موارد میزان بارندگی ذکر نشده و یا مورد نداشته است.



شکل ۴: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک نوع منبع



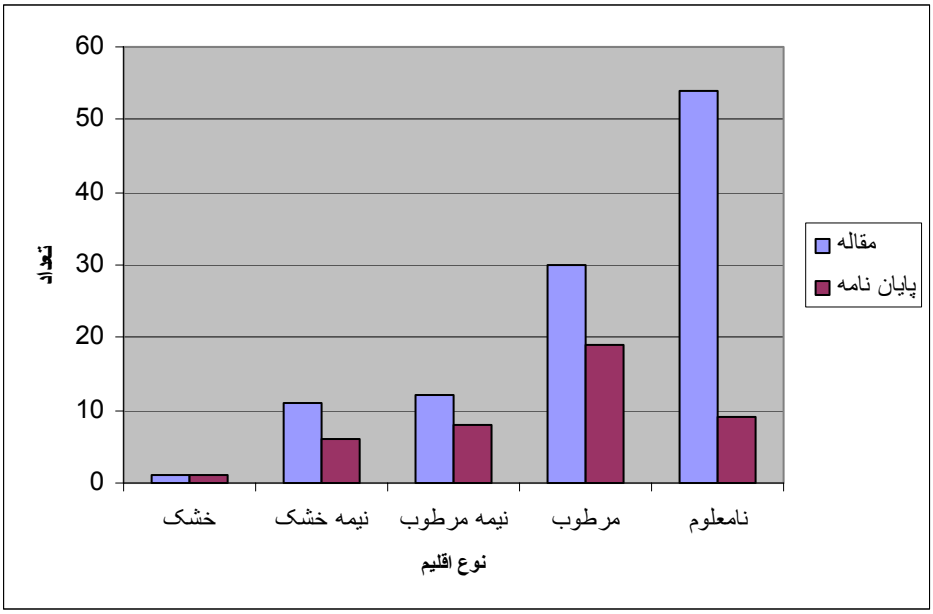
شکل ۵: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک شکل زمین

زلزله خیزی

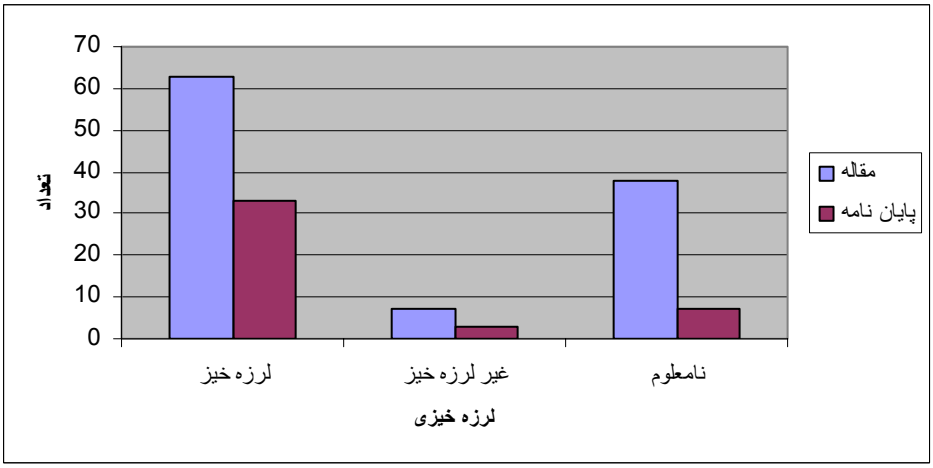
حدود ۶۳ درصد از مطالعات جمع آوری شده در این پروژه در مناطق زلزله خیز و حدود ۷ در صد در سایر مناطق انجام شده است. در ۳۰ درصد از موارد زلزله خیزی ذکر نشده و یا مورد نداشته است(شکل ۷). درصد های مذکور نمایشگر تمرکز بیشتر مطالعات بر روی مناطق زلزله خیز و تا حدودی درصد بیشتر زمین لغزشها در این مناطق نسبت به سایر مناطق می باشد.

علل

محققین در هر یک از روشها بر اساس شرایط منطقه ، مقیاس و هدف اصلی از مطالعات موارد خاصی را به عنوان علل زمین‌لغزش در نظر گرفته و نقشه های مربوطه را به عنوان لایه های مورد نیاز جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش بکار گرفته اند.



شکل ۶: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک نوع اقلیم

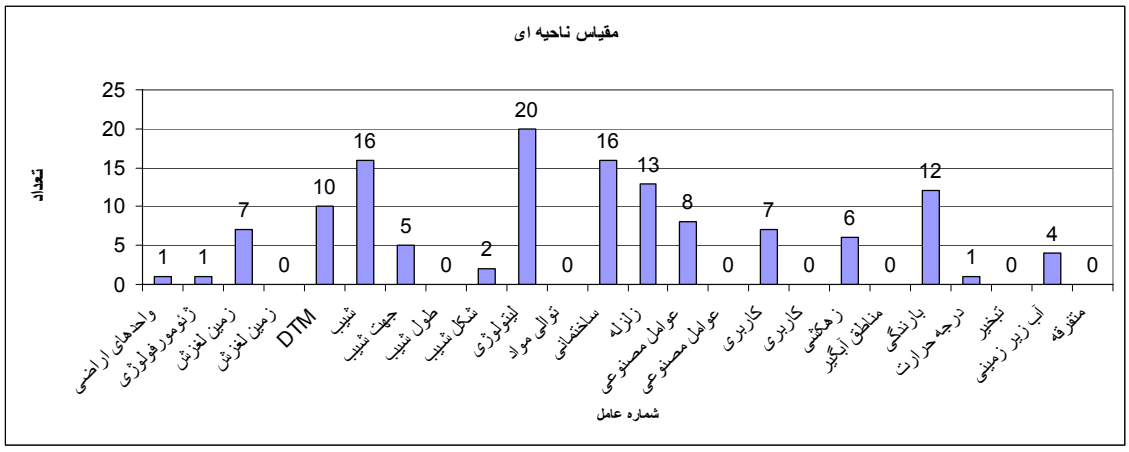


شکل ۷: تعداد مطالعات جمع آوری شده به تفکیک زلزله خیزی

در این مطالعه علل بکار رفته در تمامی مقالات بررسی و بر اساس جدول ۶ گروه بندی گردیده اند سپس به تفکیک مقیاس در شکلهای ۸ الی ۱۰ آورده شده اند.

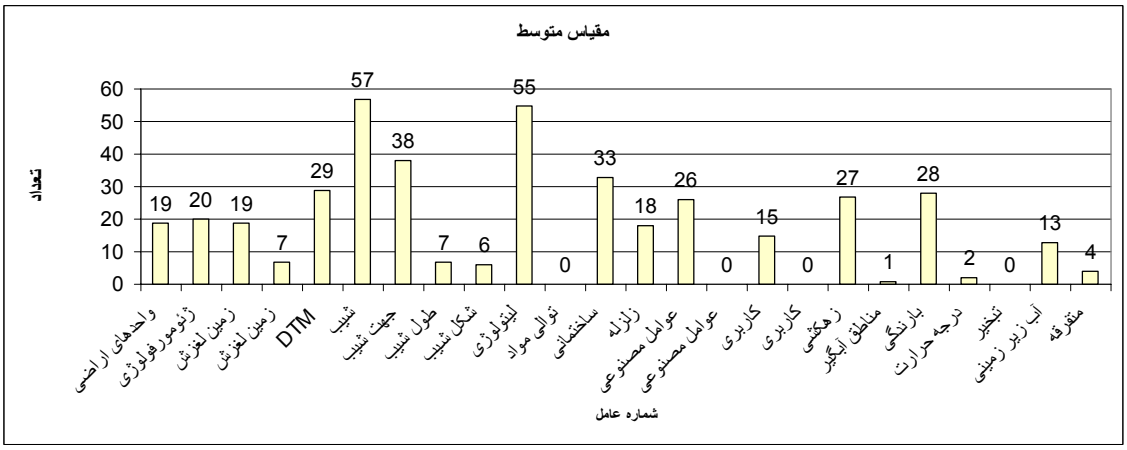
روش آنالیز

طبق طبقه بندی گی(۱۹۹۲) و سسوترز و ون وستن (۱۹۹۳) روشهای آنالیز در پهنه بندی خطر زمین لغزش را می توان در ٤ گروه اصلی زمین لغزشهای موجود، ژئومورفولوژیکی(تحلیل کیفی زمین لغزشها)، روشهای آماری(که خود بر اساس روش وزن دهی به سه روش وزن دهی کور، بینا و بعد از رویدادطبقه بندی می گردند) و تحلیل پایداری (تعیینی) تقسیم بندی نمود.

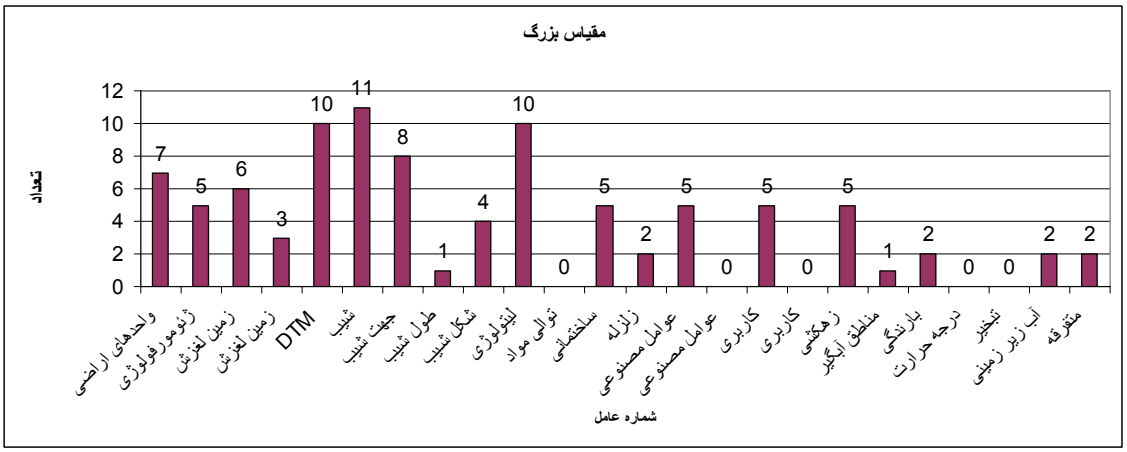


شکل ۸: مقایسه عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(مقیاس منطقه ای)

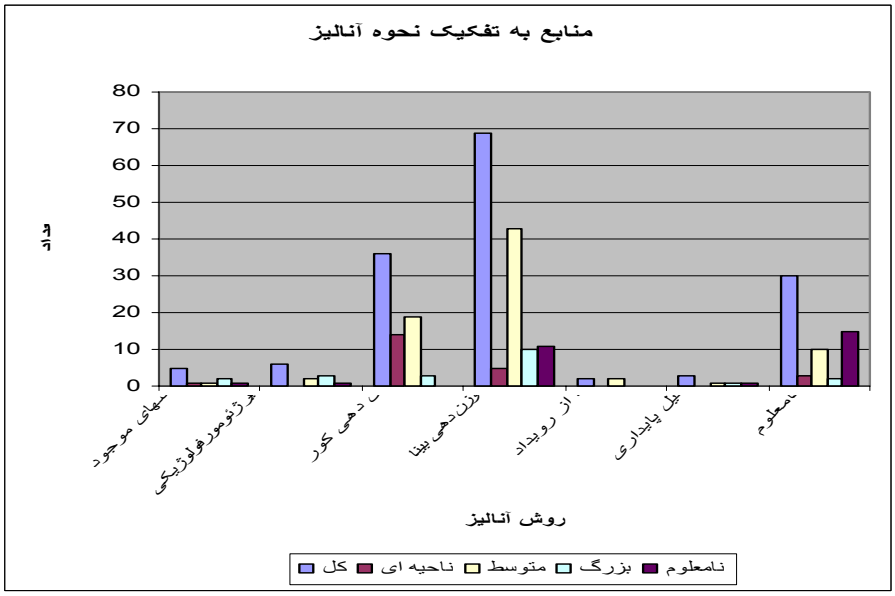
در این طرح روشهای اتخاذ شده در مقالات و گزارشهای جمع آوری شده تعیین و در گروههای مذکور طبقه بندی گردیدند. شکل ۱۱ تعداد منابع را بر اساس روشهای تحلیل به تفکیک مقیاس نمایش می دهد. بر اساس این شکل بیشتر مطالعات در مقیاس منطقه ای به روش آماری با وزن دهی کور انجام پذیرفته اند در حالی که بیشتر مطالعات در مقیاس متوسط به روش آماری با وزن دهی بینا انجام گرفته اند.



شکل ۹: عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(مقیاس متوسط)



شکل ۱۰: عوامل زمین لغزش بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(مقیاس بزرگ)



شکل ۱۱: مقایسه روشهای آنالیز مختلف بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(کل منابع)

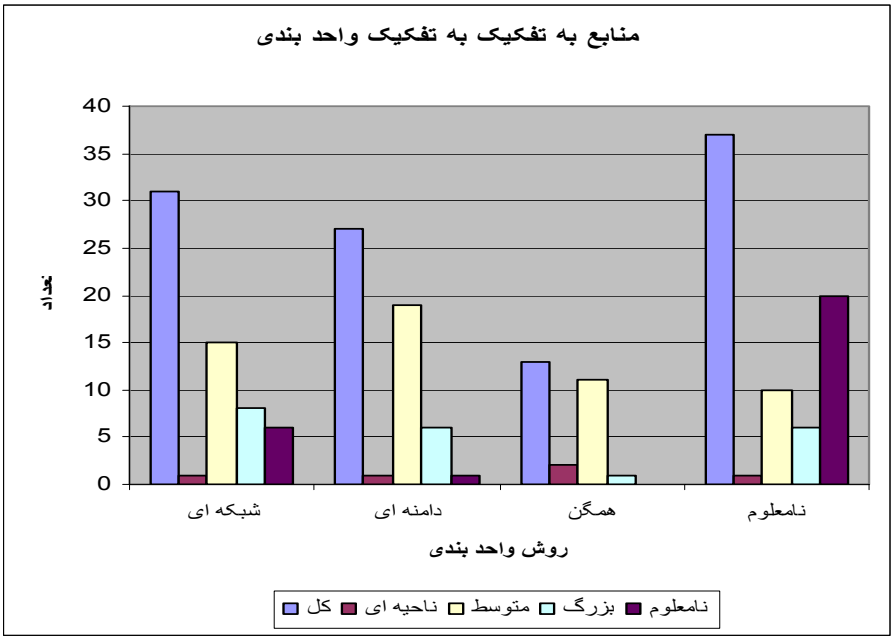
روش واحد بندی

بر اساس طبقه بندی انجام شده توسط گی(۱۹۹۲) کلیه روشهای پهنه بندی بر اساس نوع واحد بندی به سه گروه شبکه ای، دامنه ای و ترکیبی تقسیم بندی میگردند. بر این اساس، مطالعات جمع آوری شده به سه گروه مذکور تقسیم و نتیجه در شکل ۱۲ نمایش داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد واحد بندی نوع شبکه ای و ترکیبی متداولترین روشهای مورد استفاده بوده است.

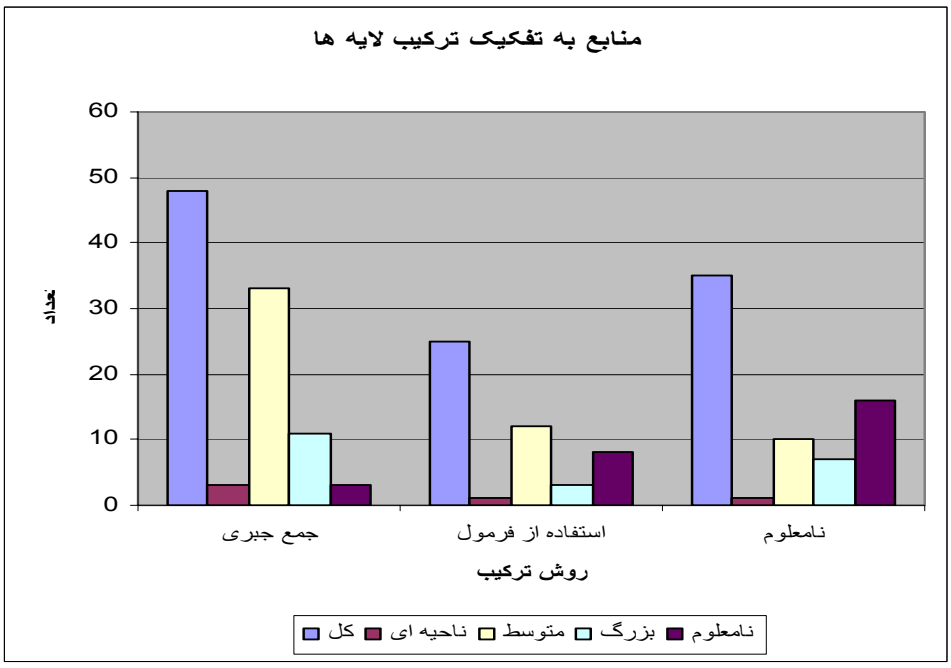
نحوه ترکیب لایه ها

از میان دو روش جمع جبری و استفاده از فرمول خاص، روش جمع جبری در مطالعات جمع آوری شده بیشتر بکار گرفته شده است. این مقایسه در شکل ۱۳ نمایش داده شده است.

مقالات جمع آوری شده که اکثراً نتیجه تحقیقات جدید بر روی پهنه بندی خطر زمین لغزش هستند(شکل ۲) بیشتر در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب(شکل ۶) و با لرزه خیزی بالا (شکل ۷) انجام پذیرفته‌اند؛ این امر به دلیل پراکنش بیشتر زمین لغزشها در این مناطق می باشد. نتایج این تحقیقات در کشور ما که دارای لرزه خیزی بالا است قابل کاربرد است ولی استفاده از روشها برای مناطق خشک و نیمه خشک بایستی با احتیاط انجام یابد. در زیر جمع بندی اطلاعات جمع آوری شده برای دو مقیاس منطقه ای و متوسط به تفکیک آورده شده است.



شکل ۱۲: مقایسه روشهای واحد بندی مختلف بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(کل منابع)



شد

کل

۱۳: مقایسه نحوه ترکیب لایه ها بر اساس تعداد مطالعاتی که از هر یک از آنها جهت پهنه بندی استفاده نموده اند(کل منابع)

الف: مقیاس ناحیه ای

واحد بندی اکثر مطالعات در این مقیاس از نوع همگن بوده است (شکل ۱۲)؛

لایه های اطلاعاتی بکار رفته در مقیاس منطقه ای بیشتر شامل لیتولوژی، شیب، زمین شناسی ساختمانی، خطر زلزله، بارندگی و مدل ارتفاعی رقومی (DTM) بوده است(شکل ۸)؛

روش آنالیز لایه ها بیشتر مطالعات به روش آماری با وزن دهی کور بوده است(شکل ۱۱)؛ از آنجاییکه امکان پیاده کردن لغزشها به دلیل کوچک شدن زیاد لغزش ها و همچنین وسیع بودن محدوده بسیار مشکل است. لذا محققین در این مقیاس ترجیح می دهند از روش وزن دهی کور (که برای انجام آن نیازی به تهیه نقشه پراکنش زمین لغزشها نیست) استفاده نمایند.

برای ترکیب لایه ها در این مقیاس بیشتر از جمع جبری وزنهای لایه ها استفاده گردیده است(شکل ۱۳). استفاده از فرمولهای خاص درصد کمتری را در این ارتباط به خود تخصیص داده است.

ب: مقیاس متوسط

واحد بندی شبکه ای و ترکیبی متداولترین واحد بندی در مقیاس متوسط بوده‌اند(شکل ۱۲)؛.

لایه های اطلاعاتی بکار رفته در مقیاس متوسط بیشتر شامل لیتولوژی، شیب، جهت شیب، زمین شناسی ساختمانی، مدل ارتفاعی رقومی (DTM) ، بارندگی، زهکشی، عوامل مصنوعی، و ژئومورفولوژی بوده است(شکل ۹)؛

روش آنالیز بیشتر روش آماری با وزن دهی بینا می باشد(شکل ۱۱)؛. در این مقیاس امکان تشخیص، پیاده کردن و نمایش زمین لغزشها وجود داشته و لایه فهرست زمین لغزشها می تواند کلید مهمی در تعیین میزان اهمیت عوامل مختلف به حساب آید.

ترکیب لایه ها در مقیاس متوسط نیز همچون مقیاس منطقه ای به روش جمع جبری انجام پذیرفته و از ابداع فرمولهای ویژه کمتر بهره برده شده است(شکل ۱۳).

٤- وضعیت پراکنش زمین لغزشها در کشور

برای بررسی وضعیت پراکنش زمین لغزشها در کشور می توان از منابع زیر کمک گرفت:

۱) بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور: خوشبختانه در سال ۱۳۷۳ طرح تشکیل بانك اطلاعاتی از زمین لغزش‌های کشور به عنوان یکی از اصولی‌ترین و مهمترین امور لازم جهت مطالعات زمین لغزشها در کمیته فرعی – تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین مطرح و تصویب گردید. پیرو آن اجرای طرح از طرف زیر کمیته به وزارت جهاد سازندگی واگذار گردید. مرحله اول طرح مذکور تحت عنوان ایجاد سیستم بانك اطلاعاتی از سال ۱۳۷۴ آغاز و در اواخر سال ۱۳۷۵ توسط گروه بررسی زمین لغزشها وزارت جهاد سازندگی پایان یافت؛ این مرحله شامل تهیه فرم اطلاعاتی (پرسشنامه)، سیستم کامپیوتری و راهنماهای مربوطه می‌گردید. در همان زمان (۱۳۷۵) مرحلهٔ دوم این طرح که در واقع ثبت زمین لغزشهای موجود کشور می باشد با اعتبار وزارت جهاد سازندگی توسط گروه مذکور و با همکاری مدیریتهای آبخیزداری تمامی سازمانهای جهاد سازندگی استانهای کشور آغاز و هم اکنون نیز ادامه دارد. طی این مرحله تاکنون مشخصات بیش از ۴۰۰۰ زمین لغزش در کشور ثبت و وارد بانک گردیده است (مهدویفر و نیک اندیش، ۱۳۸۴).

۲) پروژه های تحقیقاتی و اجرایی انجام شده در نقاط مختلف کشور: در نواحی مختلف کشور بر حسب نیاز، پروژه های تحقیقاتی و یا اجرایی تعریف و نقشه هایی از زمین لغزشهای موجود در محدوده های مورد

مطالعه ارائه شده است؛ از جمله این مطالعات می توان به پهنه بندی خطر زمین لغزش در استان مازندران(حائری،۱۳۷۵)، استان گیلان(نوگل سادات،۱۳۷۵) و استان لرستان(مهدویفر و جعفری، ۱۳۷۹) اشاره نمود که در دو مورد اول نقشه فهرست بخشی از استان و در مورد آخر نقشه کامل فهرست استان ارائه شده است.

۳) پایان نامه ها: بسیاری از تحقیقات انجام شده در کشور در ارتباط با زمین لغزش در قالب پایان نامه های دانشجویی در مقاطع مختلف انجام پذیرفته است. این تحقیقات نیز اغلب همراه با تهیه نقشه فهرست زمین لغزشها در محدوده مورد مطالعه بوده‌اند.

از آنجاییکه در این طرح هدف از بررسی پراکنش زمین لغزشها بدست آوردن دیدی کلی از استعداد مناطق مختلف از نظر وقوع زمین لغزش است تنها منبع اول در این زمینه قابل کاربرد است زیرا منابع ۲و ۳ محلی بوده و نمی توانند مراجع مناسبی جهت قضاوت محسوب گردند.

بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور علیرغم نقاط ضعف و ایراداتی که بر آن وارد است (مهدویفر و نیک اندیش، ۱۳۸۴)، دارای خصوصیاتی است که آن را برای استفاده در این پروژه مناسب ساخته است:

- فرمهای اطلاعاتی مورد استفاده در این بانک توسط کارشناسانی تکمیل شده است که تقریبا دارای سطح معلومات یکسان بوده و دوره های مشابهی را برای این کار طی نموده اند؛

- از آنجاییکه هدف در تکمیل این بانک، ورود اطلاعات کلیه زمین لغزشهای کشور بوده است در انتخاب مناطق مختلف اولویت خاصی مد نظر قرار نگرفته است؛ لذا نقشه پراکنش مربوطه الگویی مناسب از تراکم واقعی زمین لغزشها در کشور را ارائه نموده است.

با توجه به موارد فوق در این پروژه تنها از بانک اطلاعاتی مذکور جهت بررسی پراکنش زمین لغزشها و آنالیز حساسیت بهره برده شده است. شکل ۱۴ نمایش دهنده فرم تهیه شده در این بانک (در ۴ صفحه) به همراه اطلاعات مربوطه می باشد.

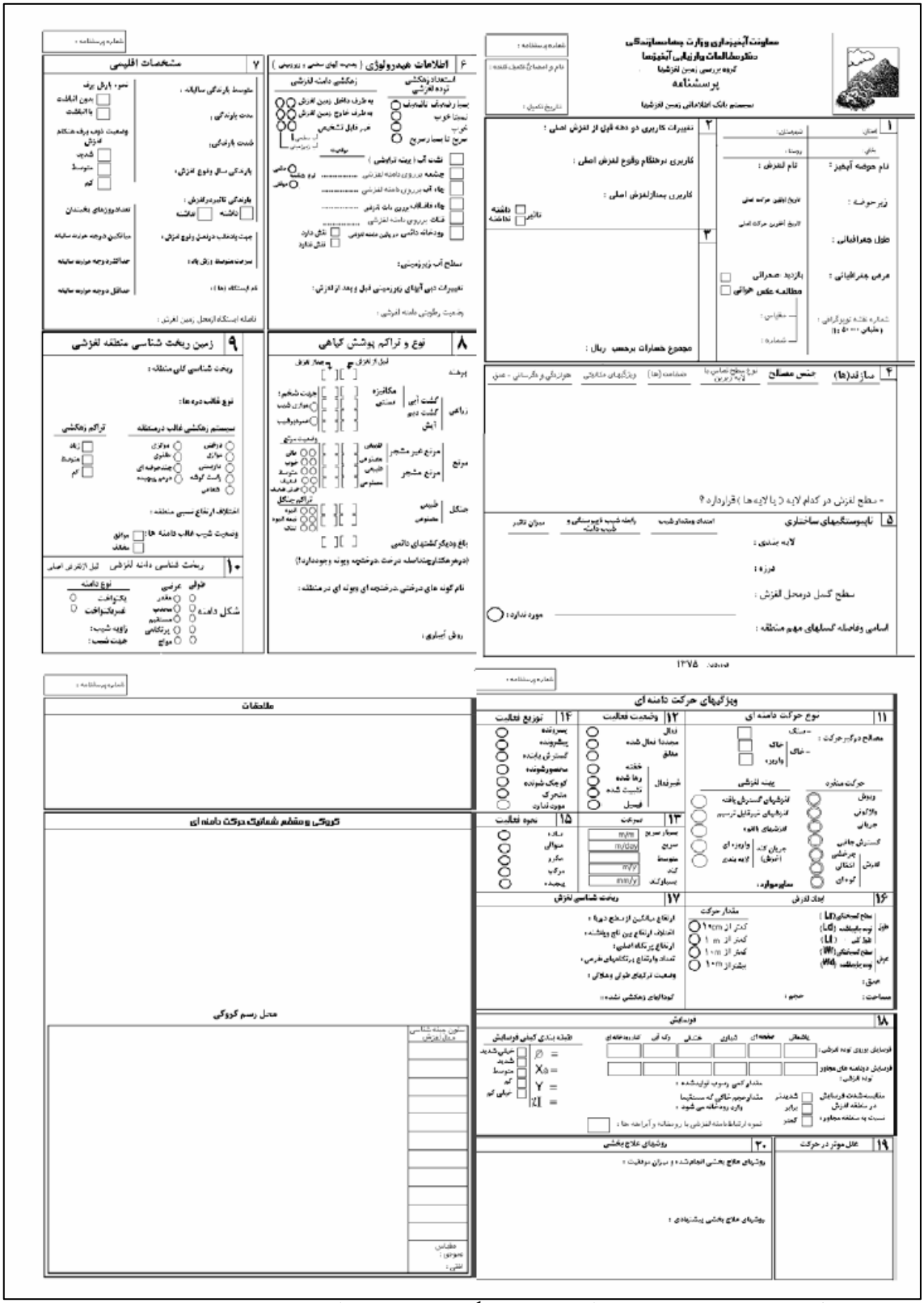
براساس اطلاعات حاصل از ۴۱۴۶ زمین لغزشی که اطلاعات آنها در بانک موجود است، زمین لغزشهای مذکور ۱۸۵ کشته وبالغ بر۱۸۹۳میلیارد ریال خسارت به بار آورده اند. از جمله خسارت‌های مربوطه می توان به تخریب ۲۱۳۷ باب منزل مسکونی،تلف شدن ۱۹۹۱ راس احشام ،از بین رفتن ۶۰۰۶ هکتار اراضی زراعی، ۶۹۴۱ هکتار جنگل، ۱۸۸۸۶ هکتار مرتع، ۷۲۰ هکتار باغ و۲۵۴ کیلومتر راه ارتباطی اشاره نمود(کاردان و همکاران، ۱۳۸۳).

همانطوریکه در شکل ۱۵ و نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها (شکل۱۶)مشاهده می‌شود به ترتیب استان‌های مازندران، گلستان، کردستان با ۴۹۹، ۳۱۸و ۲۹۲ بیشترین و استان‌های سیستان و بلوچستان و بوشهر با ۲ و ۳۴ پرسشنامه کمترین اطلاعات را دارا می‌باشند. لازم بذکر است که عوامل مختلف از قبیل شرائط خاص منطقه‌ای، میزان تلاش کارشناسان رابط، اعتبارتخصیص یافته برای هراستان و امکانات قابل دسترسی کارشناسان مربوطه اثر زیادی در میزان آمار ارائه شده داشته است؛ تکمیل پرسشنامه برای زمین‌لغزش‌ها همچنان ادامه دارد.

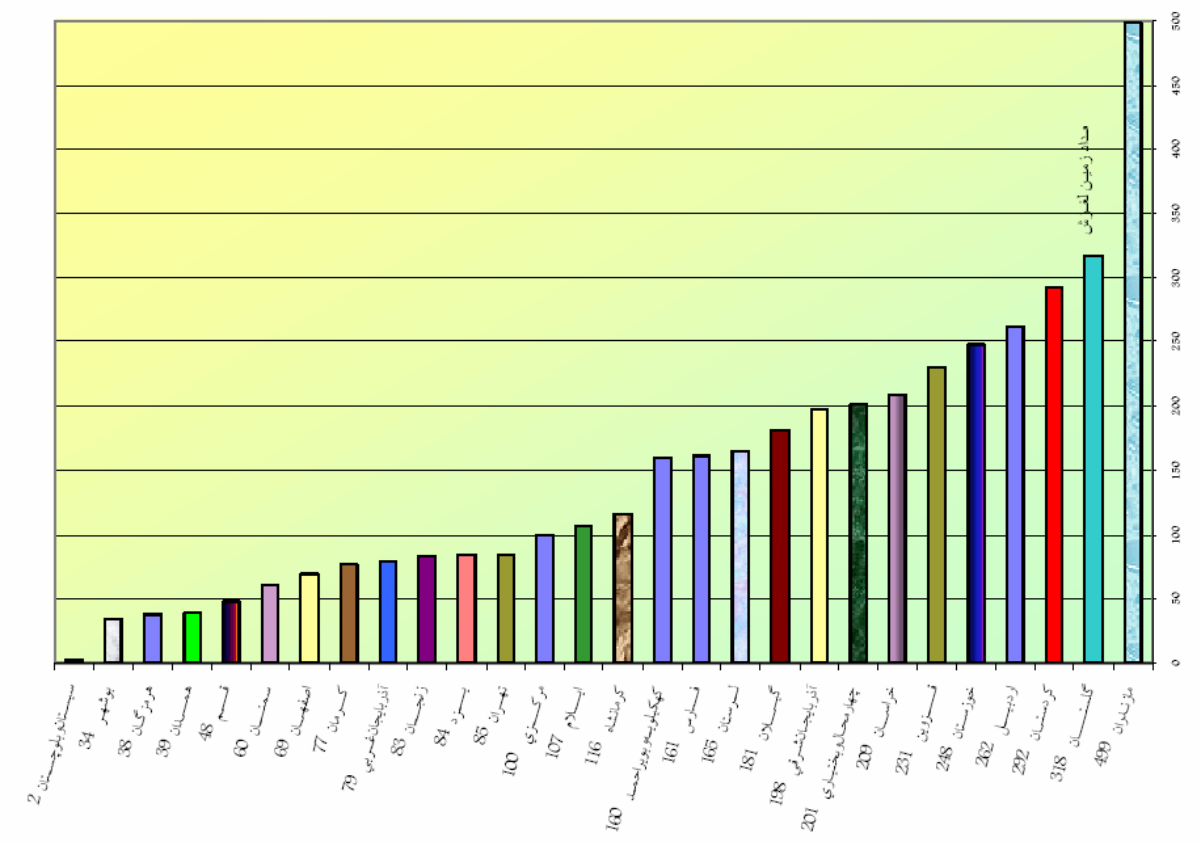
یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار بانك اطلاعاتی زمین‌لغزش‌ها، امکان انجام تحلیل‌های مختلف بر اساس داده‌های موجود در آن می‌باشد. ره‌آورد این تحلیل‌ها ابزار مناسبی برای اعمال اقدامات لازم جهت مدیریت خطر زمین‌لغزش‌های کشور است که از آن جمله وزن‌دهی در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس‌های منطقه‌ای و محلی، برنامه‌ریزی جهت کنترل، تثبیت و رفتارسنجی زمین‌لغزش‌ها و مناطق لغزشی می‌باشد. با استفاده از این بانک، دسته‌بندی اطلاعات براساس نوع حرکت دامنه‌ای، وضعیت فعالیت زمین‌لغزش‌ها(شکل ۱۷)، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، سازند و مصالح زمین‌شناسی و علل وقوع زمین‌لغزش‌ها و دیگر مشخصه‌های پرسشنامه اطلاعاتی قابل انجام است.

دسته‌بندی نوع حرکت دامنه‌ای در ۴۱۱۷ زمین‌لغزش (که این پارامتر در آنها گزارش شده است)، در شکل۱۸ آورده شده است. در این دسته‌بندی حرکت نوع "چرخشی" با۱۵۳۱ مورد (۳۷%) و حرکت

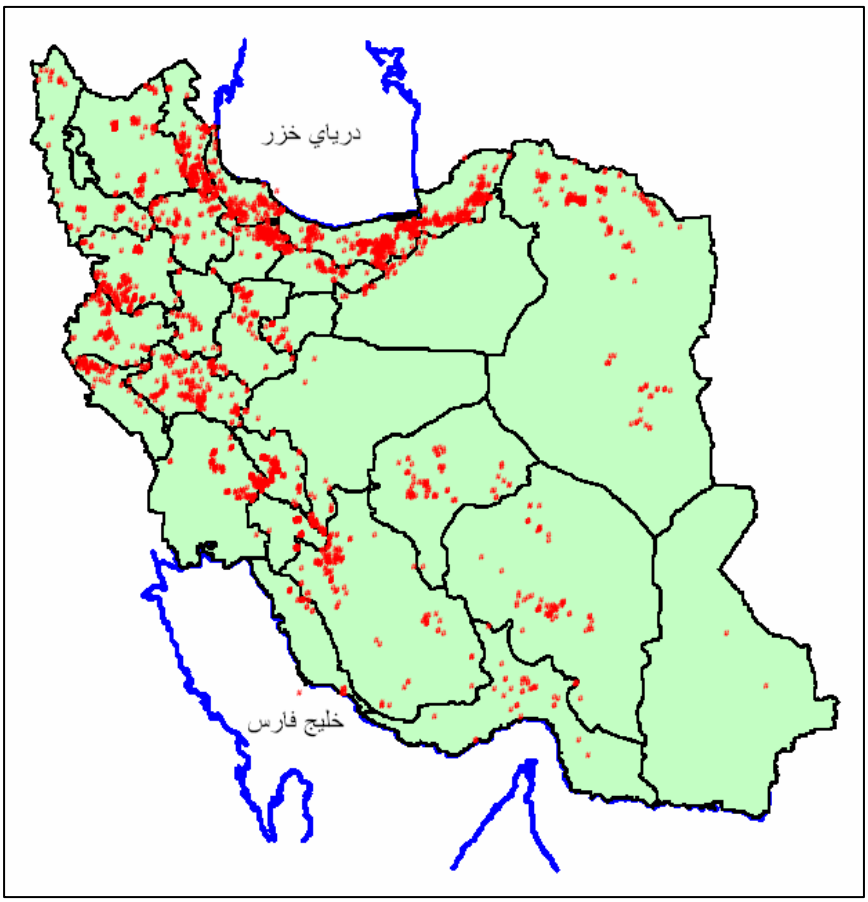
دامنـــه‌ای از نـوع "انتقـالی " بـا ۱۰۲۷ مـورد (۲۵%) بـه عنـوان اولـین و دومـین نـوع حرکـت دامنـه‌ای زمین‌لغزش‌ها در سطح کشورگزارش شده‌اند.



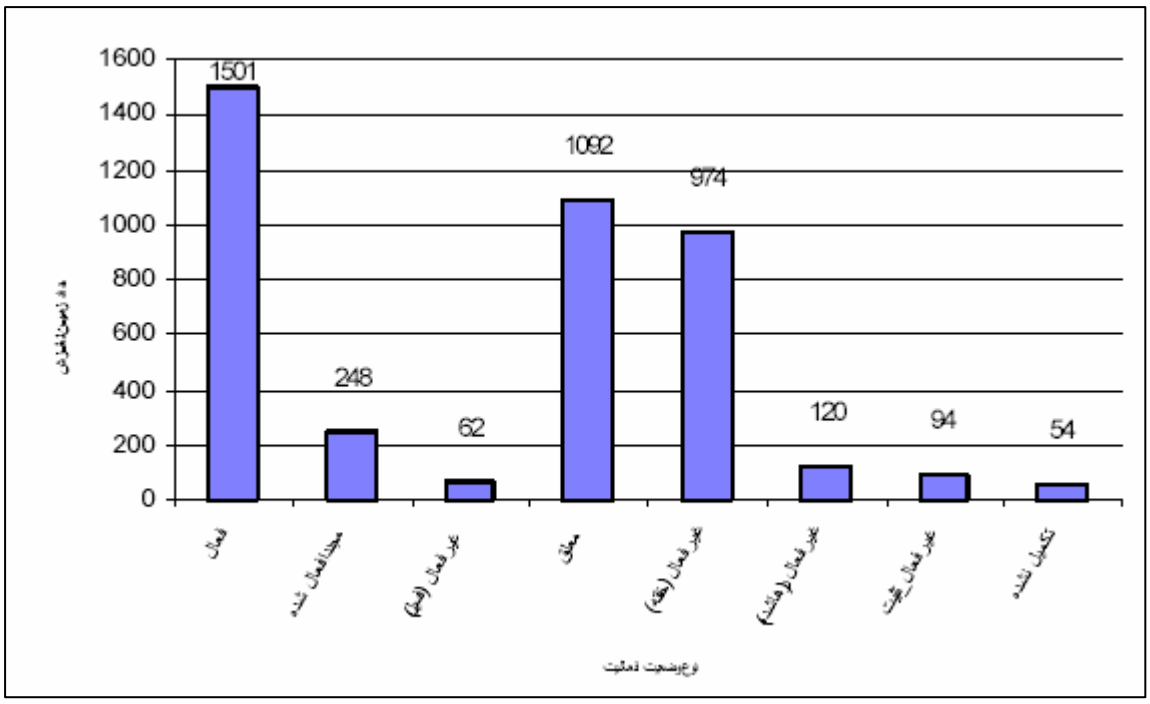
شکل ۱۴ فرم بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور(گروه بررسی زمین لغزشهای وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵)



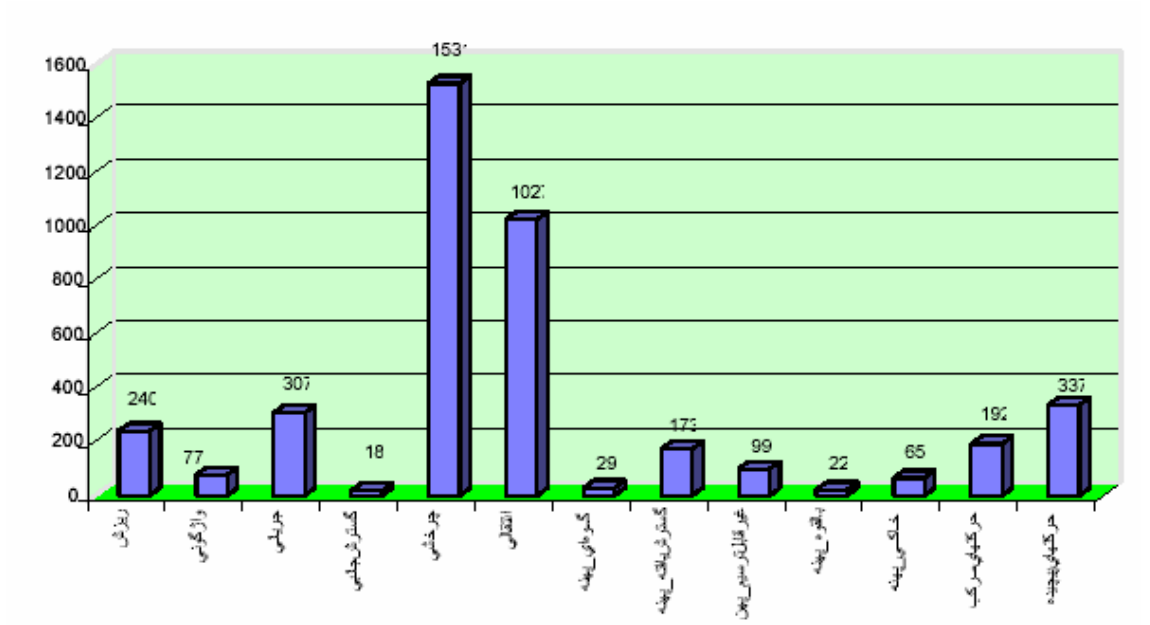
شکل ۱۵: نمودار توزیع استانی زمین لغزش‌های موجود در بانك اطلاعاتی براساس ۴۱۴۶ زمین‌لغزش ثبت شده (تا اردیبهشت ماه ۱۳۸۴)



شکل ۱۶: نقشه پراکنش زمین لغزش‌های موجود در بانك اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور براساس ۴۱۴۶ فرم تکمیل شده تا اردیبهشت ۱۳۸۴



شکل۱۷: نمودار وضعیت فعالیت زمین‌لغزش‌های ثبت شده



شکل۱۸ نمودار انواع حرکت‌های دامنه‌ای

۵- پهنه بندی کشور از نظراقلیمی

از آنجاییکه ایران از نظر شرایط حاکم بر وقوع زمین لغزش دارای تنوع زیادی است نحوه رخداد زمین لغزش در مناطق مختلف آن را نمی توان یکسان در نظر گرفت. به عنوان مثال وقوع زمین لغزش در استانهای شمالی کشور که از نظر آب و هوایی مناطقی مرطوب محسوب می گردند تابع شرایطی کاملا متفاوت با استانهای جنوبی که از نظر آب و هوایی مناطقی خشک محسوب می شوند، می باشند. این تفاوت

موجب می گردد که در هنگام تعیین روش پهنه بندی برای مناطق مختلف روشهایی سازگار با شرایط طبیعی منطقه ارائه گردد.

برای تعیین روشهای پهنه بندی سازگار با شرایط طبیعی، بایستی در ابتدا پارامترهایی را تعریف نمود که تطابق بیشتري با ساز و کار زمین لغزش داشته باشند ؛

پارامتری که بر اساس آن کشور به مناطق مختلف تقسیم می گردد طبیعتاً بایستی دارای شرایط زیر باشد:

۱. خود یکی از عوامل زمین لغزش باشد؛

۲. تغییر آن در مقیاس ملی (مقیاس خیلی کوچک) قابلیت تبدیل به نقشه را دارا باشد ؛

۳. تا حد امکان از دیگر پارامترهای زمین لغزش مستقل باشد؛ این شرط به این دلیل گذاشته شده است که اگر پارامتر مورد نظر وابسته به سایر پارامترها باشد نمی توان محدوده خاصی برای انواع آن (به عنوان مبنا جهت انتخاب روش پهنه بندی) در نظر گرفت؛

۴. تغییر عمده آن موجب تغییر میزان تاثیر سایر پارامترها در ایجاد زمین لغزش شود؛ از آنجاییکه هدف از پهنه بندي سطح کشور به مناطق مختلف انتخاب روشهای گوناگون برای پهنه بندی لغزش در هر يك از مناطق است این مورد می تواند مهمترین شرط محسوب گردد.

از میان عوامل زمین لغزش، عواملی مانند شرایط ساختاری، کاربری ، زهکشی، فعالیتهای مصنوعی، و شرایط آب زیر زمینی، دارایی شرط دوم نیستند. به عبارتی دیگر تغییر آنها در مقیاسهای خیلی کوچک قابل به نقشه در آوردن نیست. عوامل ژئومورفولوژی و زلزله نیز به ترتیب به علت وابستگی به شرایط اقلیمی و زمین شناسی دارای شرط سوم نیست. در نتیجه از عوامل مهم زمین لغزش دو عامل زمین شناسی و اقلیم پارامترهایی هستند که اولا میزان تغییرات آنها در مقیاس کشوری قابل به نقشه در آوردن است (ایالات زمین شناسی و اقلیمی)و ثانیا تغییر آنها موجب تغییر میزان تاثیر سایر پارامترها می گردد.

از دو عامل اقلیم و زمین شناسی نیز عامل اقلیم پارامتر مناسبتری است زیرا میزان تاثیر جنس لایه ها در ایجاد زمین لغزش در بسیاری مناطق خود تابع اقلیم است . به عنوان مثال تاثیر آهک در ایجاد زمین لغزش در آب و هوای مرطوب به علت هوازدگی با تاثیر آهک در مناطق خشک متفاوت است. در عوض اقلیم تقریبا پارامتری مستقل از سایر پارامترهای لغزش بوده، و خود در میزان تاثیر لغزشها سهیم است. همچنین این پارامتر در مقیاسهای کوچک قابل به نقشه در آوردن است.

با توجه به دلایل فوق، در این تحقیق طبقه بندی اقلیمی جهت تقسیم بندی ایران به پهنه های مجزا و انتخاب روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در نظر گرفته شده است.

در این بخش سعی گردیده است با استفاده از مطالعات انجام شده در رابطه با پهنه بندی اقلیمی، سطح کشور از این نظر به بخشهای مختلف تقسیم و پراکنش زمین لغزشها در هر یک از آنها بررسی گردد. با توجه به وضعیت اقلیمی ایران، دو روش طبقه‌بندی اقلیمی انتخاب و توضیح داده شده است. در نهایت با استفاده از بررسی پراکنش زمین لغزشها روش بهینه جهت پهنه‌بندی معرفی گردیده است.

۵-۱- ارتباط پارامترهای اقلیمی با زمین لغزش

پارامترهای اقلیمی از قبیل بارش‌های جوی، جزو علل محرك اصلی در ایجاد زمین‌لغزش و ناپایداری شیب‌ها محسوب می‌گردند. آب ناشی از باران با نفوذ در دامنه‌ها باعث افزایش فشار آب منفذی، بالا آمدن سطح آب زیرزمینی و به تبع آن اشباع مواد دامنه، ، کاهش مقاومت برشی توده‌های خاکی و سنگی، افزایش وزن دامنه، نوسان سطح آب رودخانه و زیرشویی کناره‌های دامنه می‌گردد. این شرایط موجب لغزندگی مصالح دامنه درسطوح غیر قابل نفوذ گردیده و استعداد رخداد زمین‌لغزش را افزایش میدهد. اما همواره نقش آب در پایداری دامنه منفی نیست. افزایش میزان آب دامنه گاهاً باعث تقویت پوشش‌گیاهی و به تبع آن تثبیت خاك و کاهش احتمال وقوع زمین‌لغزش خواهد شد.

تداوم بارش، تناسب بارش تجمعی تا روز حادثه، بارش متوسط سالانه، بارش تجمعی ۲ تا چند روزه قبل از فعال شدن زمین‌لغزش‌ها، شدت بارش ۲۴ و یا ۴۸ ساعته، شاخص بارش پیشین و اوج بارش ساعتی از معیارهای مهم جهت ارزیابی این پارامتر غیرثابت سیستم اتمسفری جو محسوب میگردند. لازم بذکر است که زمین‌لغزش بطور کامل به محدوده میانگین بارش و یا دمائی منطقه بستگی نداشته و اکثر مواقع از شرایط غیرمعمول اقلیمی بویژه درآستانه هاي حداکثر پارامتر بارش پیروی می‌کند. تاثیر پارامترهای اقلیمی دیگر نیز همچون اختلاف دمائی ، تعداد روزهای یخبندان، وزن برف و ذوب برف در وقوع این پدیده قابل توجه است و باید نقش آنها را نیز در نظر گرفت.

ایران‌زمین بطور غالب دارای اقلیم خشك و نیمه خشك بوده و بارش‌های جوی آن کم است؛ یکی از خصوصیات مناطق خشك و نیمه‌خشك وقوع درصد زیادی از بارش یك ساله در یك یا دو نوبت چندروزه است و شاید بعد از یك بارش، منطقه مذکور چندین سال از بارش بی‌بهره باقی بماند. با ناپایداری شرایط اقلیمی همانند بی‌نظمی در بارش و اختلاف دمای شب و روز، این مناطق نمی توانند دارای پوشش گیاهی مناسبی باشند، لذا بافت خاك فرسایش یافته وشکننده و تخریب شده باقی می ماند. به تبع این پدیده، بارش‌های جوی موجب جاری شدن سیل، زیرشویی دامنه‌ها و رخداد زمین‌لغزش خواهند شد. همچنین گاهاً آب حاصل از این بارشها در لایه‌های سطحی خاك نفوذ کرده و به دلیل نبود پوشش گیاهی و استحکام بافت خاك، عدم تعادل و ناپایداری شیب‌ها را موجب می گردد.

۵-۲- تحقیقات انجام یافته در زمینه ارتباط عوامل اقلیمی با زمین لغزش

بررسی نقش پارامترهای اقلیمی در ایجاد زمین‌لغزش‌ها اغلب با توجه خاص به بارش صورت گرفته است. لامپ(۱۹۷۵) اوج بارش ساعتی، میزان بارش تجمعی دوروزه و بارش پیشین قبل از لغزش را در هنك‌گنگ مورد تحقیق قرار داده است. کمپل(۱۹۷۵) در مطالعه جریان‌های واریزه‌ای کالیفرنیای جنوبی، بارش بیش از ۲۵۴ میلیمتر و شدت بارندگی ۶,۳۵ میلیمتر در ساعت را بعنوان حداقل میزان بارش خارج از توان زهکشی خاك 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(نیك‌اندیش،۱۳۷۸).

بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده در مورد لغزشهای حوزه کارون میانی مشخص گردیده است که ۹۰ درصد زمین‌لغزش‌های این حوضه بدنبال باران‌های اواخر زمستان و اوایل بهار به وقوع می‌پیوندند و نزدیك به ۶۰ درصد زمین‌لغزش‌ها در کنار جریان‌های آبی رخ داده‌اند(نیك‌اندیش، ۱۳۷۸).

۵-۳- وضعیت ایران از نظر اقلیمی

از دیدگاه اقلیم‌شناسی، کشور ایران در تابستان زیر سلطه کمربند پرفشار جنب حاره‌ای کره زمین قرار گرفته و بطور کلی دارای اقلیم خشك و نیمه خشك است.با این وجود ایران، با دریافت توده‌های مختلف هوا از مناطق همسایه و وجود دو رشته کوه البرز و زاگرس، تنوع اقلیمی چهار فصلی را تجربه می‌کند. ناهمواری‌ها به دو طریق در اقلیم اثر می‌گذارند: ۱- به دلیل مرتفع بودن نسبت به زمین‌های اطراف، سبب تغییر بعضی از ویژگی‌های هوا می‌گردند، ۲- به صورت سدی در مقابل حرکت توده‌های هوا قرار می‌گیرند و سبب ناهمگنی پراکندگی مکانی عناصر آب و هوایی مانند بارش می‌شوند(علیجانی،۱۳۷۹) .

سلسله کوه‌های مرزی و نواحی پست مرکزی سبب واگرایی سیستمهای جوی وارد شده به ایران می‌گردند، که در نتیجه در طول فصول سرد در مناطق مجاور که گاهاً بیش از چندین ده کیلومتر با هم فاصله ندارند، بارش به شکل متفاوتی مانند برف و تگرگ ملاحظه گردد؛ از دیگر تاثیرات ارتفاعات و کوه‌ها در اقلیم می توان به تقویت یا تضعیف سیستم‌های جوی اشاره نمود. به عنوان مثال می توان به تاثیر ارتفاعات البرز در شمال دریای خزر و ایجاد باران‌های کوهستانی در بندرانزلی که یکی از پرباران‌ترین مناطق ایران می‌باشد، اشاره نمود.

تغییر مسیر حرکت سیستم‌های جوی در مواجهه با ارتفاعات از دیگر مسائل مرتبط با اقلیم و ارتفاع می‌باشد که باعث گردیده است تفاوت اقلیمی متنوعی در سطح کشور بوجود آید؛ بطوریکه این پارامتر، ایران

را از مناطق مشابه هم عرض جغرافیائی خود بر روی کره زمین متمایز ساخته و آن را به کشوری چهارفصل تبدیل نموده است. این پهنه وسیع با بیش از پانزده درجه عرض جغرافیائی، دارای تنوع گوناگون اقلیمی می‌باشد. عرض جغرافیائی در رابطه با زاویه تابش ایجاد تفاوت‌های دمائی می‌نماید بطوریکه مناطق جنوبی کشور دارای آب و هوای نواحی گرمسیری[۱۳] و مناطق شمالی کشور دارای شرایط آب و هوای نیمه‌گرمسیر[۱۴] است.

اقلیم یك منطقه حاصل اندرکنش بین دو دسته عناصر[۱۵] و عوامل[۱۶] اقلیمی است. دو پارامتر اقلیمی دما و بارش در کلیه مناطق آب و هوایی جهان و ازجمله ایران حائز اهمیت خاص هستند و می‌توانند شاهدی بر دیگر پارامترهای اقلیمی باشند؛ لذا در اکثر طبقه‌بندی‌های اقلیمی بیشتر از این دو پارامتر استفاده کرده‌اند. معمولاً اختلاف حداکثر و حداقل دمای روزانه کشور، حدود ۴۰ درجه است. مثلا اگر در اردبیل پائین‌ترین دمای شب ۲۰°C- درجه باشد، در میناب بالاترین دمای روز ۲۰°C+ گزارش می‌شود(علیجانی،۱۳۷۴). پراکنش دما از شمال به جنوب و از غرب به شرق در کشور ایران روند افزایشی داردکه یکی از دلایل آن ناهمواری‌ها است. میزان نوسان سالانه دما در جنوب نسبت به قسمت‌های شمالی کشور کمتر است و گرمترین دوره‌های گرم سال در قسمت‌های جنوبی و سردترین دوره‌های سال در ارتفاعات شمال کشور بوجود می آید.

بارش به میزان رطوبت نسبی هوا و بخار آب بستگی دارد. در ایران رطوبت نسبی مناسبی برای بارش وجود ندارد و بر اثر جریان‌های توده‌های خارج از ایران که از مناطقی همچون دریای مدیترانه، خلیج بنگال، دریای خزر و ... سرچشمه می‌گیرند، رطوبت و بخار آب در ایران فراهم می‌گردد، که در تمام مناطق نیز این میزان یکسان نیست. پراکنش بارش دارای الگوهای توزیع متنوعی در کشور می‌باشد. بیشترین بارش در شمال ایران و پراکنده در تمام ماه‌های سال است در صورتی که در جنوب شرقی ایران برطبق آمارهای موجود حدود شش الی ۹ ماه بارندگی وجود ندارد. متوسط بارندگی سالانه کشور در حدود ۲۶۰ تا ۳۳۰ میلیمتر می باشد که نشاندهنده حاکم بودن اقلیم نیمه خشك براکثر مناطق ایران است. از مهمترین منابع رطوبتی بارش در ایران می‌توان از دریای مدیترانه نام برد که بارش مناسبی را بخصوص در دوره سرد سال مهیا می‌سازد.

۵-٤- پهنه‌بندی اقلیمی ایران

طبقه‌بندی‌های مختلف اقلیمی با روش‌های تجربی و ژنتیکی قابل انجام است. در این تحقیق با بررسی‌های انجام شده دو روش تجربی کوپن و روش ژنتیکی تحلیل عاملی مد نظر قرار گرفته است.

۵-٤-۱- روش کوپن

در این روش مناطق مختلف اقلیمی با استفاده از حروف A،B،C،D و E به پنج گروه تقسیم می‌گردند. هر گروه اقلیمی با سه حرف نمایش داده می شود ، که حرف اول براساس تجمعات پوشش گیاهی، حرف دوم بیانگر رژیم بارش منطقه و حرف سوم نشاندهنده دما می‌باشد. بطور مثال Bsh نماینده اقلیم نیمه خشك

---

[۱۳] Tropical

[۱۴] Subtropical

[۱۵] عناصراقلیمی عناصری هستند که بایکدیگر شرایط جوی را بوجود می‌آورند. همانند دمای ماهانه و سالانه، روزهای آفتابی و ابری، میزان بارش باران یا برف.

[۱۶] عوامل اقلیمی بر روی عناصر اقلیمی تاثیر می‌گذارند. "عوامل آب و هوایی ایران به دو دسته محلی و بیرونی تقسیم می‌شوند(علیجانی،۱۳۷۴). عواملی محلی همانند طول و عرض جغرافیائی، زاویه و مدت تابش خورشید، ارتفاع و... و عوامل بیرونی همانند توده‌های هوائی مناطق سیبری، بیابان‌های گرم جنب حاره‌ای، سیکلون‌های مدیترانه‌ای و ... که از مرزهای مختلف وارد ایران شده و بر روی اقلیم این سرزمین تاثیر می‌گذارند.

با دمای سالانه بیش از ۱۸ درجه سانتیگراد است. با وجود آنکه در طبقه‌بندی اقلیمی با این روش، تفکیك مناطق بیابانی و نیمه بیابانی به شکل مناسبی در ایران انجام نمی‌شود و همچنین مناطق سرد و مرطوب با مناطق مرطوب و بحری دارای تفکیك مناسبی نیست ، هنوز در اکثر کتاب‌های جغرافیایی از روش کوپن استفاده شده و تقریبا تنها روشی است که در سیستم های آموزشی بر آن تاکید می‌شود(علیجانی و کاویانی،۱۳۸۰).

در این مطالعه نقشه پهنه بندی اقلیمی با استفاده از روش کوپن تهیه گردیده است. با توجه به شرایط اقلیمی ایران، سه گروه کلی B، C و D از نواحی اقلیمی کوپن در ایران قابل شناسایی هستند(شکل ۱۷). برای بررسی استعداد هر پهنه اقلیمی از نظر به وقوع زمین لغزش، از روش ارزش اطلاعاتی استفاده شده است (Yin & Yan,1984). بدین منظور مراحل زیر انجام گرفته است:

۱. تراکم متوسط زمین لغزشهای ثبت شده در کشور (D_t)با تقسیم تعداد زمین لغزشهای موجود در بانک(N_t) بر سطح ایران (S_t) محاسبه گردیده است؛

۲. تعداد زمین لغزشهای ثبت شده در هر پهنه با استفاده از بانک اطلاعاتی زمین لغزشها (N_l) استخراج شده است؛

۳. تراکم زمین لغزشها در واحد سطح هر پهنه (D_i)با تقسیم تعداد زمین لغزشها (N_l)بر مساحت پهنه مربوطه(S_z) محاسبه گردیده است؛

۴. مقدار ارزش اطلاعاتی(I) هر پهنه با استفاده از رابطه زیر:

$$I_i=\ln(D_i/ D_t) \qquad (۵)$$

محاسبه گردیده است. در این رابطه I_i اندکس تراکم زمین لغزش برای هر پهنه ، D_i تراکم زمین لغزشها در هر پهنه و D_t تراکم متوسط زمین لغزشهای ثبت شده در کل کشور می باشد. بدین ترتیب I_i اندکسی است که تراکم زمین لغزشها را در هر پهنه نسبت به تراکم متوسط زمین لغزشها در کل کشور ارزیابی می کند. چنانچه تراکم زمین لغزشها در یک پهنه بیش از ۲,۷۱(e) برابر تراکم متوسط زمین لغزشها در کل کشور باشد I_i بیش از یک و در صورتی که این نسبت بین ۱ تا ۲,۷۱ باشد، I_i بین صفر و یک و در صورتی که کمتر از یک باشد(تراکم کمتر از تراکم متوسط منطقه باشد) I_i منفی خواهد بود .

جدول ۵: اسامی و علائم انواع آب و هواهای کشور ایران در طبقه‌بندی اقلیمی کوپن

ناحیه	علامت	شرح	محدوده کمّی دما
بیابانی	Bwk , Bwh	بارش سالانه برای رشد درخت و علف کافی نیست و خشکی در فصل گرم بسیار است.	بارش کمتر از نیاز گیاهان درختی است.
نیمه بیابانی	Bsk , Bsh	بارش سالانه برای رشد درخت کافی نیست، ولی برای رشد علف کافی است.	
مرطوب جنب حارّه‌ای	Cfa	بارش در تمام سال پراکنده است و تابستان‌های گرم و زمستان‌های ملایم دارد.	سردترین ماه سال بین ۳°c- و ۱۸°c+ قرار دارد
مدیترانه‌ای	Csa	تابستان‌های گرم و خشك و زمستان‌های سرد و مرطوب دارد	
قاره‌ای مرطوب	Dfa	تابستان‌های گرم و زمستان‌های بسیار سرد دارد و بارش به طور یکنواخت در طول سال پراکنده است.	سردترین ماه سال پائین تر از ۳°c- است.
	Dsa	بارش به علت سردی هوا کم است و زمستان‌ها بسیار سرد است.	

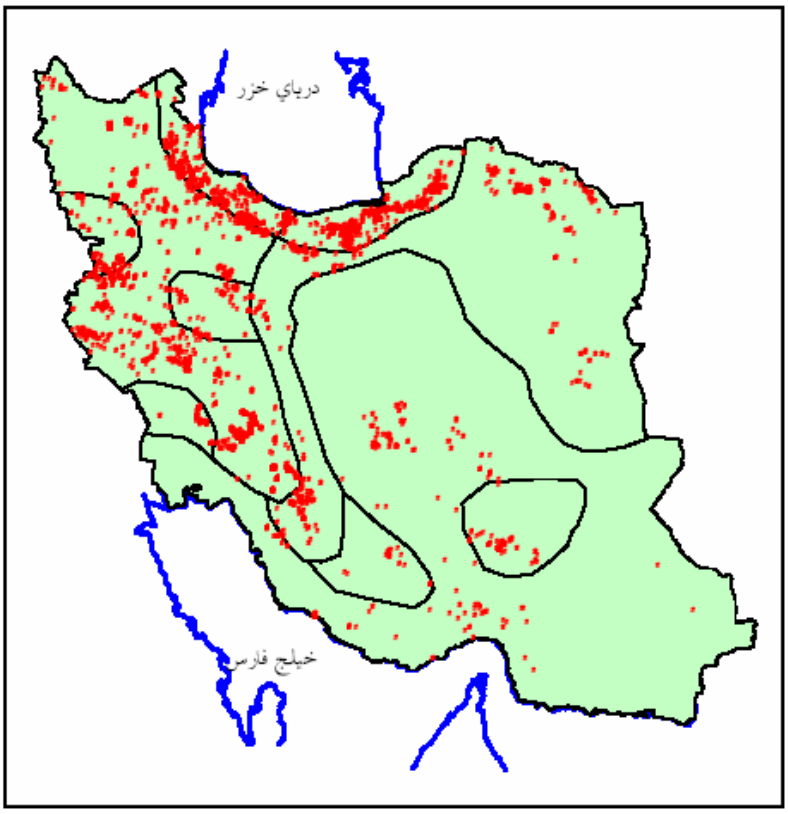
با دخالت دادن مساحت هر پهنه اقلیمی با تعداد زمین‌لغزش و محاسبه پارامتر ارزش اطلاعاتی هر ناحیه، می‌توان مستعدترین ناحیه اقلیمی به زمین‌لغزش را Cfa با ۲ درصد مساحت ایران و رخداد ۶۸۵

زمین‌لغزش و I_i ۱,۹۸ در نظر گرفت. توزیع پراکنش زمین‌لغزش به مساحت هر یك از ناحیه‌های اقلیمی Cfa، Dfa و Csa به ترتیب با ارزش اطلاعاتی ۱,۹۸، ۱,۱۱ و ۱,۰۴ مشخص می‌گردد. خصوصیات این نواحی و تراکم زمین لغزشها به روش ارزش اطلاعاتی به ترتیب در جداول۵و ۶ و نقشه پهنه‌های اقلیمی به روش کوپن و رویهم انداخته شدهٔ آن با نقشه پراکنش زمین‌لغزشها در اشکال۱۹ و ۲۰ آورده شده است.

جدول ۶: تراکم زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته در نواحی اقلیمی کوپن

نواحی اقلیمی کوپن	مساحت تقریبی ناحیه کیلومتر مربع	نسبت مساحت به مساحت کل کشور	تعداد زمین‌لغزش	تراکم زمین لغزشها به روش ارزش اطلاعاتی
Bsh	64548.0	4.0	103	-0.47
Bsk	367525.8	22.6	442	-0.75
Bwh	714489.4	44.0	184	-2.29
Bwk	56974.8	3.5	59	-0.90
Cfa	37249.3	2.3	685	1.98
Csa	328743.7	20.2	2378	1.04
Dfa	25558.3	1.6	197	1.11
Dsa	29453.0	1.8	87	0.15

شکل ۱۹: نقشه پهنه‌های اقلیمی ایران به روش کوپن



شکل ۲۰: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌های اقلیمی روش کوپن

۵-٤-۲- روش ژنتیکی تحلیل عاملی

روش ژنتیکی تحلیل عاملی مبتنی بر مدل‌های ریاضی است که در آن با انتخاب عناصراقلیمی و اجرای الگوهای آماری، عامل‌های تاثیرگذار در اقلیم مشخص و طبقه‌بندی می‌گردند. این روش آماری جهت انجام «پهنه‌بندی» منطقه ای با چندین ایستگاه و در یك زمان خاص کاربردی است ولی برای تعیین «طبقه» یك منطقه محدود با یك ایستگاه، دقت لازم را ندارد زیرا اطلاعاتی جهت تعیین ضریب همبستگی داده‌ها وجود ندارد. از طریق روش تحلیل عاملی نقشه پهنه‌های اقلیمی ایران به شش ناحیه و ۱۲ زیرناحیه تقسیم شده است(حیدری، ۱۳۷۸):

۱. مرطوب و معتدل – خزری(A1: خیلی مرطوب و معتدل، A2: مرطوب و معتدل)

۲. نیمه خشك (B1: زیرناحیه نیمه خشك سرد، B2: زیرناحیه نیمه خشك گرم)

۳. زاگرس(C1:نیمه مرطوب معتدل، C2:کوهستانی سرد، C3، نیمه کوهستانی سرد)

۴. بیابانی خیلی گرم – ساحلی(D)

۵. بیابان معتدل تا شدید خیلی گرم – داخلی (E1:بیابانی معتدل، E2:بیابانی شدید و خیلی گرم)

۶. بیابانی نیمه گرم تا گرم(F1:بیابانی نیمه گرم داخلی، F2:بیابان گرم: ساحلی)

جدول ۷ مشخصات پهنه های فوق و جدول ۸ تراکم زمین لغزشها در آنها را نشان می دهند. در روش تحلیل عاملی ناحیه اقلیم C ، A و B1 دارای بیشترین زمین‌لغزش بوده و با عنایت به شرایط طبیعی زمین و ناهمواری‌های ایران تطابق بیشتری را نشان می‌دهد. در صورت لحاظ کردن مساحت هر پهنه، و با در نظر گرفتن ارزش اطلاعاتی آنها نواحی A1 ، A2 و C2 ، با I_i معادل ۱,۹۱، ۱,۸۳ و ۱,۱۹ مستعدترین ناحیه‌های اقلیمی در ایران از نظر وقوع زمین‌لغزش محسوب می‌گردند. لازم بذکر است که در روش تحلیل

عامل پنج ناحیه کلی بهمراه دو زیرناحیه B1 و B2 در تحلیل‌ها استفاده شده است. در این روش نظر کارشناسی در انتخاب عناصراقلیمی و نحوه جمع بستن برخی عناصر اقلیمی با یکدیگر و ایجاد عنصر اقلیمی تاثیرگذار در عامل‌های حاصله بسیار مهم است(کاردان،۱۳۸۲) و می‌توان با دید کارشناسی عناصری از پارامترهای اقلیمی انتخاب شوند که در پدیده زمین‌لغزش، نقش موثرتری ایفاء می‌کنند. در این صورت نقشه پهنه‌بندی اقلیمی حاصله با تغییرات اندك، جوابگوئی مناسب‌تری را خواهد داشت. نقشه پهنه بندی اقلیمی به روش تحلیل عامل و قطع آن با نقشه پراکنش زمین‌لغزش به ترتیب در اشکال ۲۱ و ۲۲ ارائه شده‌اند.

۵-٤-۳- انتخاب روش بهینه پهنه بندی اقلیمی

جهت بررسی پهنه‌بندی اقلیمی متناسب با ناپایداری‌های شیبی در ایران، می توان از پارامتری تحت عنوان QS که توسط GEE(1992) برای ارزیابی نقشه های پهنه بندی خطر زمین لغزش ابداع گردید استفاده نمود. در این پارامتر که اصول آن بر محاسبه میزان پراکنش داده ها حول میانگین است نقشه ای انتخاب می شود که QS پراکنش زیادتر و یا به عبارتی قدرت تفکیک آن بیشتر باشد.

در این روش ادر ابتدا پارامتری به نام نسبت تراکم(DR) [۱۷]برای هر پهنه محاسبه می شود:

$$DR = \frac{\%L}{\%A} \qquad (۶)$$

که در آن DR نسبت تراکم، L% درصدی از سطح کل زمین لغزشهای موجود در منطقه است که در پهنه مورد نظر واقع شده است و A% درصدی از سطح منطقه است که توسط پهنه اشغال شده است. بدین ترتیب DR برابر یک بدین مفهوم است که تراکم زمین لغزشها در پهنه مورد نظر برابر تراکم زمین لغزش متوسط منطقه است. به همین صورت DR بزرگتر یا کوچکتر از یک بیانگر تراکمهای بیشتر یا کمتر زمین لغزشها در پهنه نسبت به متوسط تراکم لغزشها می باشد.

بعد از محاسبه مقدار DR برای کلیه زیر گروهها مقدار QS از رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$QS = \sum_{i=1}^{n} (DR_i - 1)^2 \times \%A_i \qquad (۷)$$

که در آن DR_i و A_i به ترتیب نسبت تراکم و درصد سطح هر پهنه و n تعداد پهنه ها د رنقشه مورد نظر می باشد. بدین ترتیب پارامتر QS مجموع مجذور اختلافات نسبت تراکم هر پهنه را نسبت به متوسط آنها(تراکم متوسط منطقه) محاسبه می‌کند. این پارامتر شبیه پارامتر واریانس داده ها در آمار است که به صورت زیر بیان می شود:

$$VAR = \frac{\sum (x - \bar{x})^2}{(n-1)} \qquad (۸)$$

که در آن VAR واریانس، x داده و مقدار متوسط آن و n تعداد داده ها می باشد. VAR بر اساس اصول حداقل مربعات، مقدار پراکنش داده ها را حول میانگین محاسبه می نماید.

QS دو تفاوت با VAR دارد: اولاً مقدار آن بر (n-1) تقسیم نشده است و در ثانی پارامتر دیگری به نام در صد سطح (A%) به آن اضافه شده است. این پارامتر به این دلیل به فرمول اضافه شده است تا به نوعی

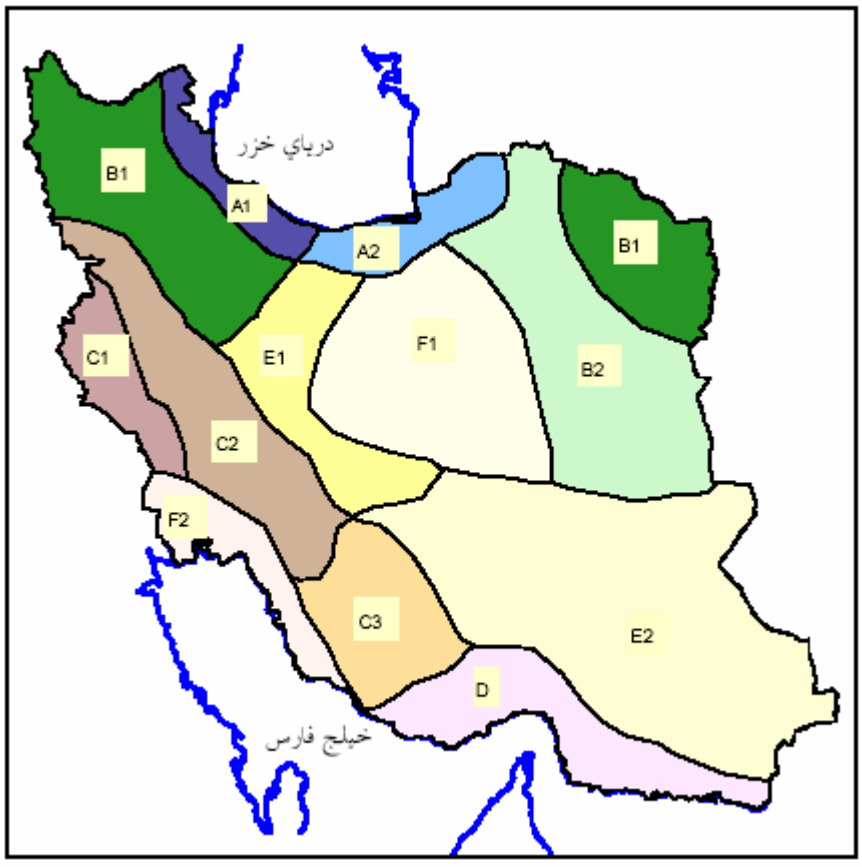
[17] Density Ratio

پهنه ها(داده ها) را بر اساس میزان ارزش آنها (درصد سطحی که از منطقه فرا گرفته اند) وزن دهی کنند. مسلماً پهنه ای که ۵۰ درصد منطقه را اشغال کرده است با پهنه ای که یک درصد منطقه را اشغال کرده است نبایستی در میزان QS تاثیر مشابهی بگذارند. به همین دلیل عدد نهایی نیز نبایستی بر تعداد پهنه ها تقسیم گردد زیرا ممکن است به عنوان مثال در یک نقشه که ۵ پهنه دارد یکی از پهنه ها بخش بسیار کوچکی را اشغال کرده باشد. در این حالت عدد کل بر ۴ (n-1) تقسیم می گردد. حال اگر فرض شود در نقشه ای تقریباً مشابه پهنه کوچک وجود نداشته باشد عدد کل بر ۳ (n-1) تقسیم میگردد که در نتیجه مقدار QS در حالت اول بصورت کاذب و فاحش از مقدار QS در حالت دوم کوچکتر خواهد شد.

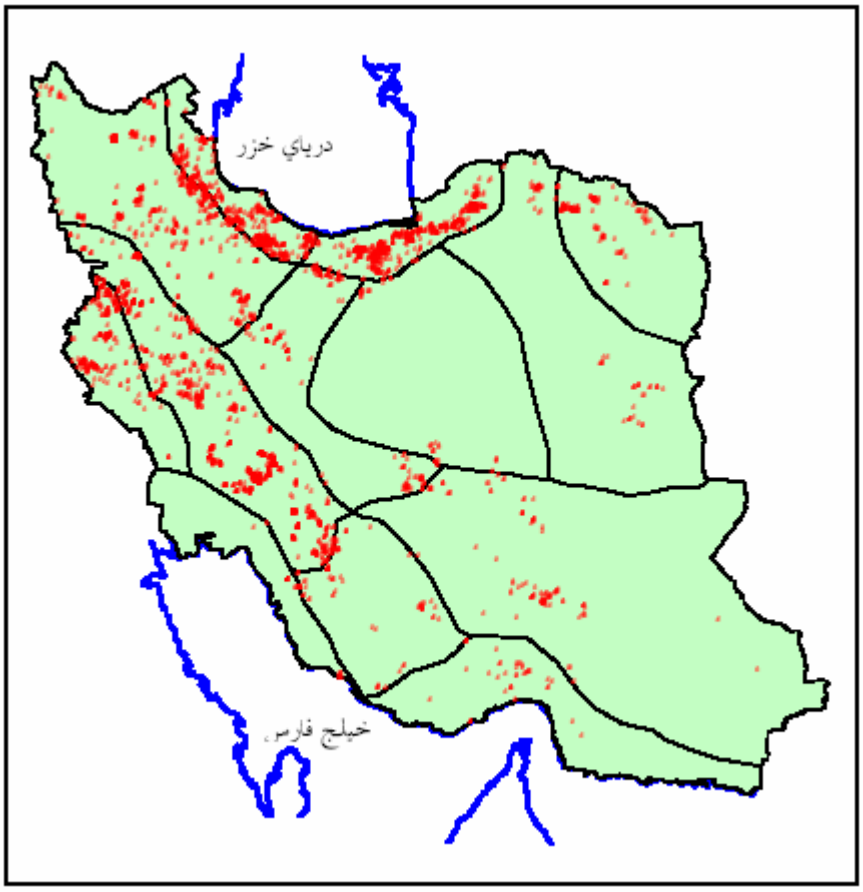
جدول ۷: برخی پارامترهای آب و هوایی در نواحی اقلیمی با روش تحلیل عاملی

جدول ۸: مشخصات مساحت پهنه‌های اقلیمی تحلیل عاملی و تعداد زمین‌لغزش‌ها

زیرناحیه	مساحت تقریبی Km^2 زیرناحیه	نسبت مساحت به کل کشور	تعداد زمین لغزش	ارزش اطلاعاتی
A1	38123.5	2.3	653	1.91
A2	49345.8	3.0	782	1.83
B1	239679.3	14.8	714	0.16
B2	202643.4	12.5	64	-2.09
C1	49908.2	3.1	300	0.86
C2	138494.9	8.5	1162	1.19
C3	89782.3	5.5	104	-0.79
D	105057.0	6.5	38	-1.95
E1	94308.7	5.8	160	-0.41
E2	374765.4	23.1	102	-2.24
F1	186712.0	11.5	35	-2.61
F2	55721.6	3.4	21	-1.91



شکل ۲۱: نقشه پهنه‌های اقلیمی ایران به روش تحلیل عاملی



شکل ۲۲: نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها و نقشه اقلیمی تحلیل عاملی

با وجود اختلافات فوق رابطه بیان شده توسط GEE بیان کننده پراکنش مقادیر DR حول متوسط آنها می باشد. در نتیجه هر قدر مقدار QS بالاتر باشد پراکنش DR حول مقدار متوسط(یک) بیشتر بوده و نقشه بهتر توانسته است در زیر گروههای خود تراکمهای مختلف زمین لغزش را از یکدیگر جدا سازد. برعکس، نزدیکی تمامی مقادیر DR به یک موجب کاهش QS و بیانگر عدم جدایش مقادیر مختلف زمین لغزش در پهنه های متفاوت است.

در این مطالعه میزان QS در پهنه های مربوط به هر دو روش محاسبه گردیده است(جدول۹). با توجه به ارقام جدول ۹ که QS در روش تحلیل عاملی را بیشتر از روش کوپن نشان می دهد می توان نتیجه گرفت :روش تحلیل عاملی دارای حساسیت بیشتری نسبت به نقشه پراکنش زمین‌لغزش بوده و برای اهداف این پروژه مناسبتر می باشد.

جدول ۹: QS زمین‌لغزش‌ها در دو روش پهنه‌بندی اقلیمی

روش پهنه‌بندی اقلیمی	کوپن	تحلیل عاملی
QS	۱/۳۶۷	۱/۶۶۶

با توجه به مطالب فوق پهنه بندی اقلیمی به روش تحلیل عاملی(شکل ۲۱) مبنای تقسیم مناطق مختلف ایران جهت انتخاب روش پهنه بندی در مراحل بعدی این تحقیق قرار گرفته است.

٦- بررسی وضعیت زمین شناسی کشور از نظر استعداد زمین لغزش

عامل زمین‌شناسی همواره به عنوان یک عامل ذاتی در ایجاد زمین‌لغزش‌ها مطرح می‌باشد. کشور ایران به لحاظ موقعیت خاص جغرافیایی، دارای پهنه‌های مختلف زمین‌شناسی و در نتیجه تنوع زیادی از سازندهای زمین‌شناسی(از پرکامبرین تا عهد حاضر) می‌باشد. این مصالح به دلیل قرارگیری در کمربند فعال آلپ هیمالیا همواره تحت تنش و تغییر شکل بوده و انواع ساختارهای تکتونیکی مانند چین‌ها، گسل‌ها و درزه‌ها و شکستگی‌ها در آنها گسترش یافته است. چنین تغییر شکل‌هایی باعث کاهش مقاومت توده سنگ و به تبع آن افزایش حرکات توده‌ای می‌شود. از طرفی قرارگرفتن این مصالح در آب و هوای بسیار متنوع ایران باعث تاثیر انواع هوازدگی‌ها بر روی مصالح زمین‌شناسی شده و در چنین شرایطی در اقلیم‌ها و پهنه‌های رسوبی و ساختاری مختلف زمین‌شناسی، تراکم و نوع زمین‌لغزش‌ها متفاوت خواهد بود.

در این فصل از تحقیق به بررسی سازندهای زمین‌شناسی در محیط‌های همگن اقلیم پرداخته شده است تا رفتار سنگ‌های مختلف در هر یک از اقلیم‌ها و یا رفتار سنگ‌های مشابه در اقلیم‌های مختلف در برابر ناپایداری‌های شیب مورد بررسی قرار گیرد.

٦-١- پهنه‌های رسوبی و ساختاری ایران

نخستین بار اشتوکلین با توجه به پیچیدگی‌های ساختاری و شرایط متفاوت رسوبی، ایران را به چند حوضهٔ رسوبی – ساختاری جداگانه تقسیم نمود. بعدها، حقایق بیشتری از ویژگیهای رسوبی – زمین‌ساختی ایران به دست آمد و تقسیمات جامع‌تر و کامل‌تری از جانب سایر محققین ارائه گردید که از آن جمله می‌توان به کار نبوی(١٣٥٥)، افتخارنژاد(١٣٥٩)، اشتامفلی(١٩٧٨)، بربریان و دیگران(١٩٨١)، نوگل سادات(منتشر نشده)، علوی(١٩٩١) و آقانباتی(١٣٧٩) اشاره کرد.

در این نوشتار از تقسیمات انجام شده توسط آقانباتی، به دلیل جامعیت و جدیدتر بودن اطلاعات آن، استفاده گردیده است. در این تقسیم‌بندی عوامل زیر در نظر گرفته شده است:

- نوع پوسته(قاره‌ای – اقیانوسی)؛
- شرایط حاکم بر حوضه‌های رسوبی گذشته؛
- تفاوت رخساره‌های سنگی – زیستی ترادف‌های «همزمان» در نواحی گوناگون؛
- تحولات زمین‌ساختی و پیامدهای آنها، مانند شدت و سازوکار چین‌خوردگیها، فعالیت‌های ماگمایی(درونی – بیرونی)، فرایندهای دگرگونی و . . .

با توجه به عوامل یاد شده و همچنین تلفیق و جمع‌بندی دیدگاههای گوناگون و به ویژه شواهد دو زمین‌درز عمده تتیس کهن و تتیس جوان، ایران را می‌توان به ١٨ پهنه اصلی رسوبی – ساختاری تقسیم کرد(شکل ٢٣). به بخشهای مذکور باید دو پهنه زابل و مکران را افزود که زابل بخشی از واحد زمین‌ساختی داری‌رود افغانستان و مکران یك منشور برافزایشی است که بر فرادیواره یك زون فرو رانش کم شیب قرار دارد.

٦-٢- استعداد سازندهای زمین‌شناسی به وقوع لغزش در ایران

جهت تعیین رده استعداد سازندها به حرکات توده‌ای لازم است که تراکم لغزش‌های موجود در سازندهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. برای اینکار در ابتدا ، بر مبنای تقسیمات آقانباتی تمام سازندها و واحدهای زمین‌شناسی موجود در یك جدول که شامل نام سازند یا واحد، سازند معادل، سنگ‌شناسی، خصوصیات سنگ‌شناسی، ضخامت، سن و در نهایت رده استعداد سازند به لغزش می‌باشد گردآوری گردید(جدول ١٠ و پیوست ٥).

جدول ۱۰: نمونه جدول جهت گزارش اطلاعات سازندها

ردیف	سازند	معادل	سنگ شناسی	خصوصیات سنگ‌شناسی	ضخامت	سن	استعداد به لغزش
۱							

در مرحله بعد برای بررسی تعداد زمین‌لغزش‌های روی داده در هر واحد یا سازند زمین‌شناسی، از بانک اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشوراستفاده گردیده است. در پنجرة ۴ پرسشنامه‌های چهارصفحه‌ای این بانک(شکل ۱۴)، اطلاعات سازندهای درگیر لغزش به همراه جنس سنگ‌شناسی آنها به تفضیل گزارش شده است.

در هر پرسشنامه حداقل نام یك و حداکثر نام دو سازند گزارش شده است. در این پرسشنامه ها، بر اساس گسترش و نحوه توزیع سطح لغزش در مصالح زیرسطحی، سازند و یا واحد زمین شناسی حساس مشخص می‌گردد. به این ترتیب که اگر سطح لغزش در مصالح سازند ۱ گسترش پیدا کرده باشد، این سازند به عنوان سازند حساس به لغزش در نظر گرفته شده و در غیر این صورت سازند ۲ گزارش می‌گردد؛ در مواردی که سطح لغزش از دو سازند عبور کرده باشد، نام هر دو سازند آورده می شود.

بر اساس همین ایده، در این مطالعه سعی گردیده است در هر پهنه اقلیمی(به روش تحلیل عاملی)، زمین‌لغزش‌های اتفاق افتاده در سازندهای مختلف شمارش گردد(اشکال ۲۴ تا ۳۱). با توجه به دسته‌بندی انجام گرفته از طریق بانك اطلاعات زمین‌لغزش، سازندهای با استعدادبالا به لغزش (با حداقل ۱۰ مورد زمین‌لغزش ثبت شده) در ۳۵ دسته قرار گرفته‌اند(شکل ۲۴). در بعضی موارد به علت تنوع زیاد سازندهای زمین‌شناسی، تعدادی از آنها در یکدیگر ادغام شده و تحت عنوان یك گروه سنگ‌شناسی گزارش شده‌اند. لازم به ذکر است این ادغام بر اساس رفتار مشابه سازندها و واحدهای زمین‌شناسی از نظر استعدادبه لغزش(مانند پابده و گورپی) و یا در مواردی به علت اینکه چند واحد سنگی تشکیل یک گروه را می‌دهند(مانند سروک و ایلام که جزء گروه بنگستان می‌باشند) انجام شده است.

بر اساس شکل ۲۴، حساس‌ترین سازندها به لغزش(با بیش از ۱۰۰ مورد زمین‌لغزش گزارش شده) به شرح زیر می‌باشند: ۱- نهشته های نئوژن، ۲- نهشته های کواترنر، ۳- سازند پابده-گورپی، ۴- سازند کرج، ۵- گروه فارس، ۶- واحدهای کرتاسه و ۷- سازند شمشك.

٦-۲-۱- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی A

در این پهنه ۲۲ گروه سنگ‌شناسی از سازندهای مختلف زمین‌شناسی قرار گرفته‌اند(شکل ۲۵) که مهمترین آنها به ترتیب اهمیت عبارتند از:

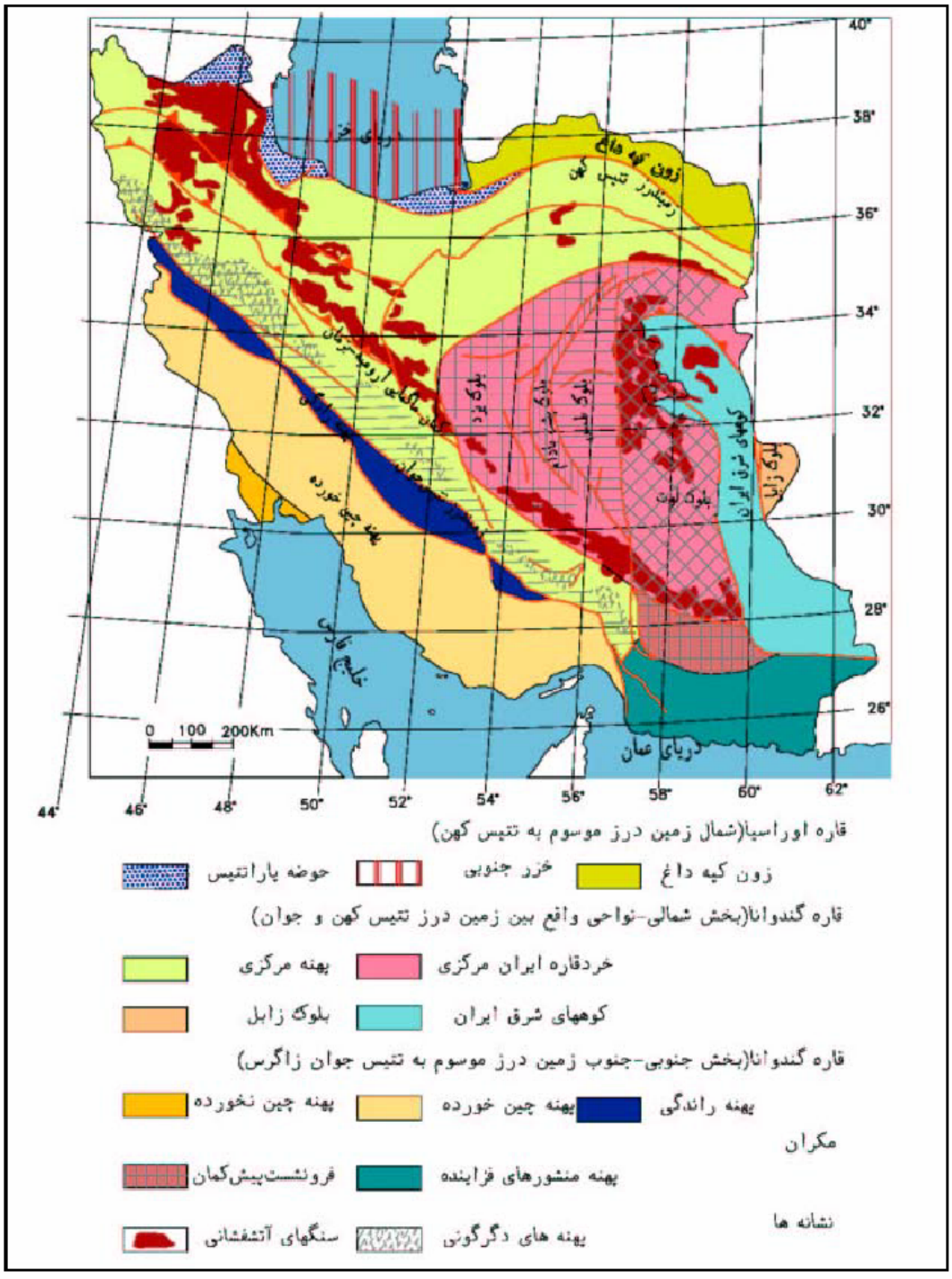
۱- نئوژن، ۲- کرج، ۳- کواترنر، ۴- شمشك، و ۵- کرتاسه

به علت قرارگیری این پهنه اقلیمی در پهنه زمین‌شناسی البرز، واحدهای زمین‌شناسی مهم پابده-گورپی و گروه فارس دیده نمی‌شود.

٦-۲-۲- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی B1

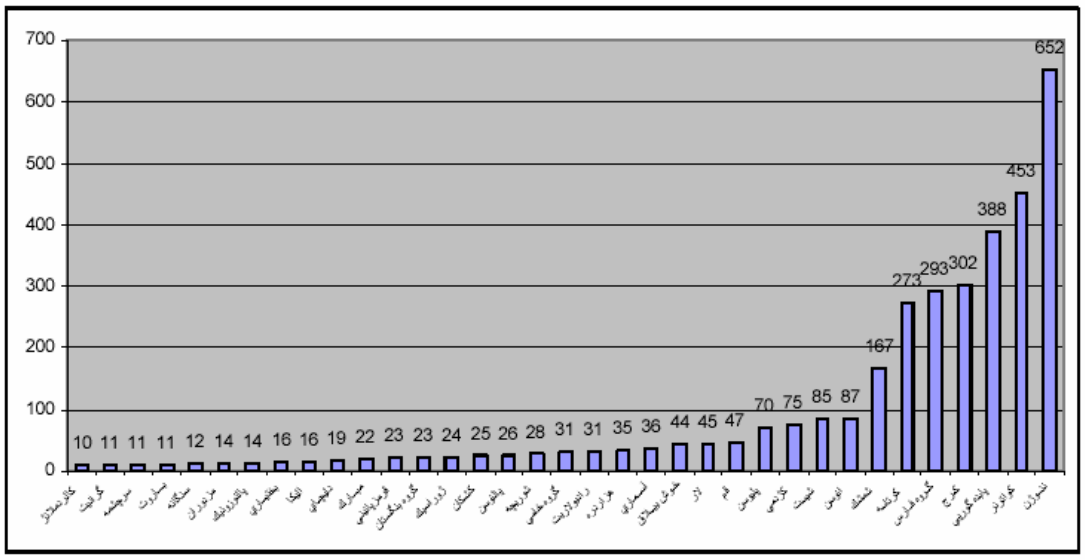
در این پهنه اقلیمی سازندهای زمین‌شناسی در ۲۴ دسته مهم قرار گرفته‌اند(شکل ۲۴) که حساسترین سازندهای منطقه نسبت به لغزش عبارتند از: ۱- نئوژن، ۲- کرج، ۳- کواترنر، ۴- لار، ۵- شوریجه و ۶- شمشك.

در بعضی از گروهها تعداد زمین‌لغزش‌های گزارش شده کم می‌باشد ولی نام آنها به علت اهمیت زیادشان در ایجاد زمین لغزش (در مناطق دیگر ایران) آورده شده است. همچنین بعضی از سازندهای حساس به لغزش مانند شمشك به این علت در رده ششم قرار گرفته‌اند که دارای گسترش سطحی کم در ناحیه

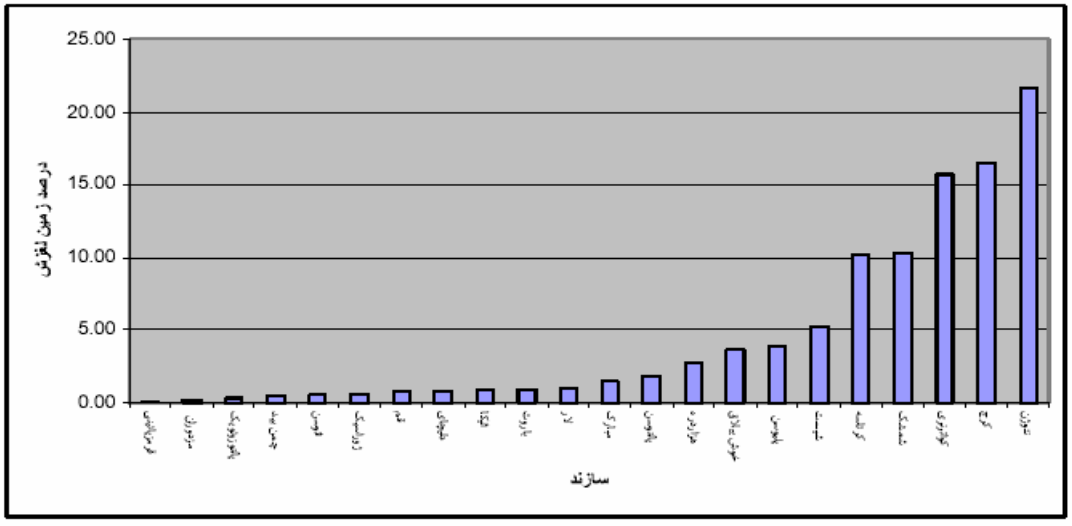


مورد نظر بوده اند.

شکل ۲۳: پهنه‌های رسوبی ساختاری عمدة ایران(آقانباتی، ۱۳۷۹)



شکل ۲۴: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در ایران



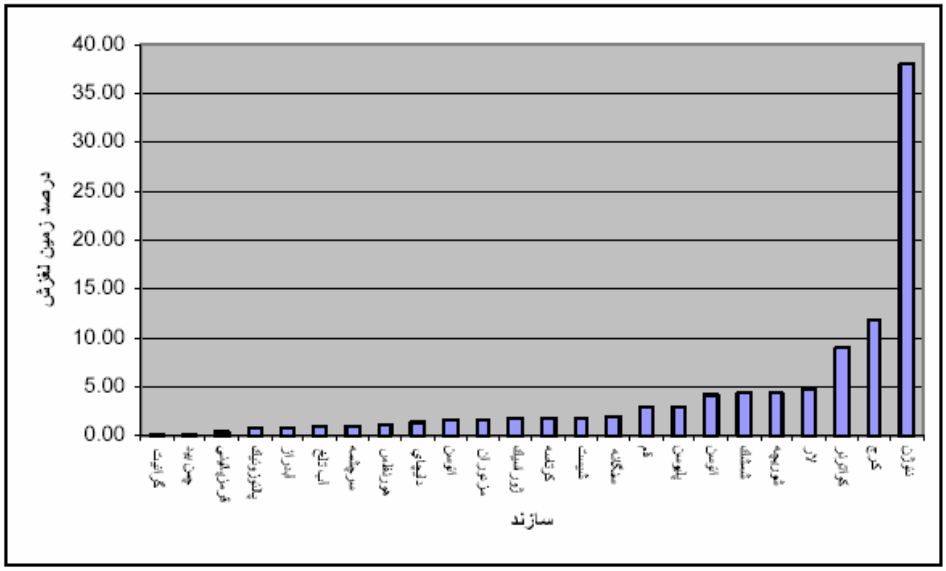
شکل ۲۵: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم A

٦-۲-۳- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی B2

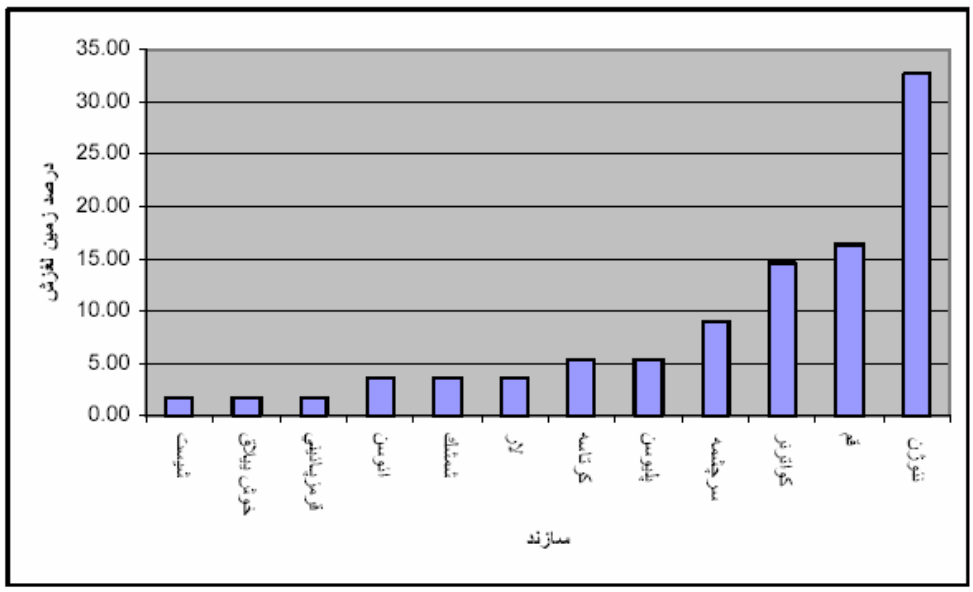
واحدهای زمین‌شناسی مهم و حساس این پهنه اقلیمی در ۱۲ دسته قرار گرفته‌اند(شکل ۲۷). این واحدها به ترتیب اهمیت شامل: ۱- نئوژن، ۲- قم، ۳- کواترنر و ۴- سرچشمه می‌باشد. در این پهنه نیز بعضی سازندهای حساس به زمین‌لغزش، مانند شمشك، احتمالاً به دلیل گسترش سطحی کم دارای تعداد زمین‌لغزش کمتری می‌باشند.

٦-٢-٤- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی C

واحدهای زمین‌شناسی مهم و حساس این پهنه اقلیمی در ۲۷ دسته قرار گرفته‌اند(شکل ۲۸). مهمترین واحدهای زمین‌شناسی به ترتیب اهمیت عبارتند از: ۱- پابده-گورپی، ۲- گچساران، ۳- کواترنر، ۴- کرتاسه، ۵- آغاجاری و ۶- کژدمی. در این پهنه نیز بعضی سازندهای حساس به زمین‌لغزش، مانند نئوژن، احتمالاً به دلیل گستر ش سطحی کم، دارای تعداد زمین‌ل غزش کمتری می‌با شند.



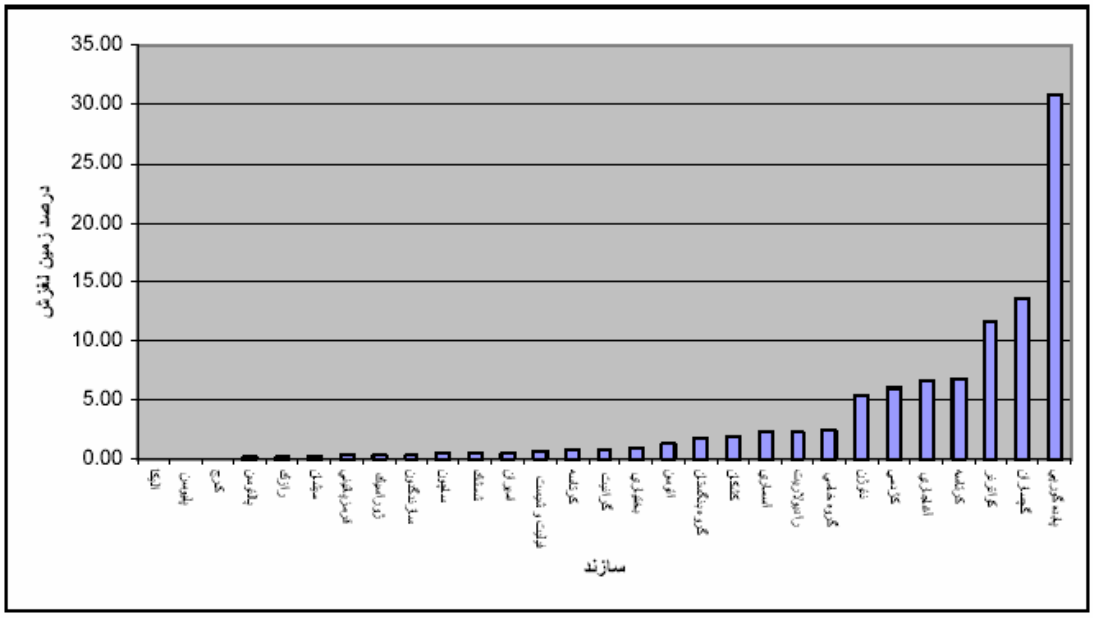
شکل ۲۶: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم B1



شکل ۲۷: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم B2

٦-۲-۵- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی D

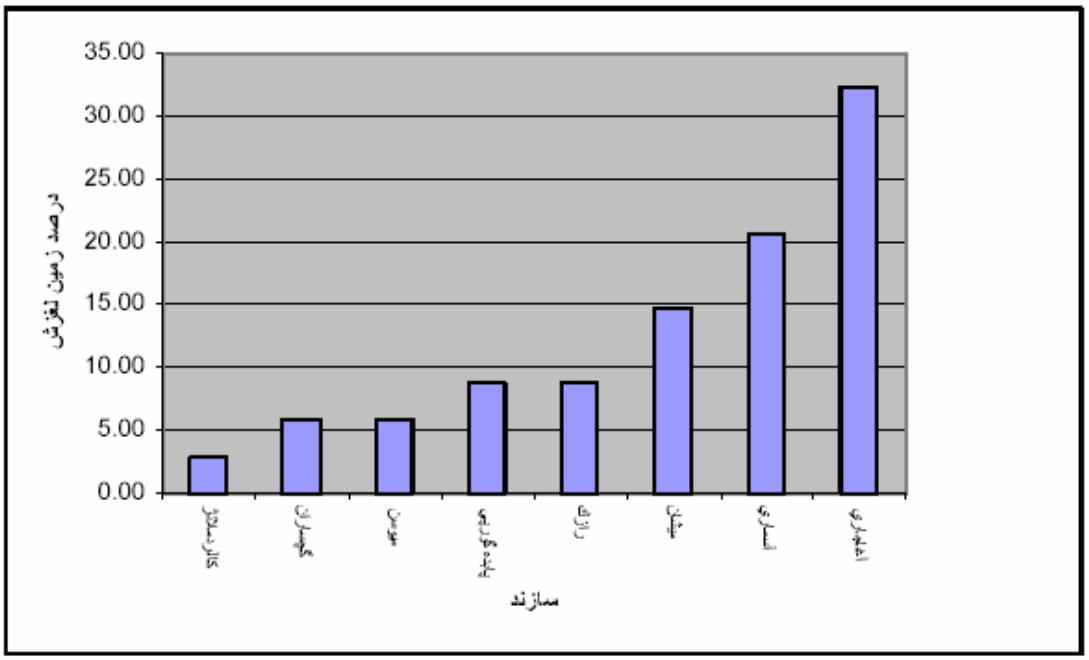
واحدهای زمین‌شناسی مهم و حساس این پهنه اقلیمی در ۶ دسته قرار گرفته‌اند(شکل ۲۹). این واحد به ترتیب اهمیت شامل: ۱- گروه فارس، ۲- آسماری، ۳- رازك، ۴- پابده-گورپی، ۵- نئوژن می‌باشد. در این پهنه نیز بعضی سازندهای حساس مانند پابده-گورپی، نئوژن و حتی کالرملانژها در ردیف‌های پایین‌تر آمده‌اند.



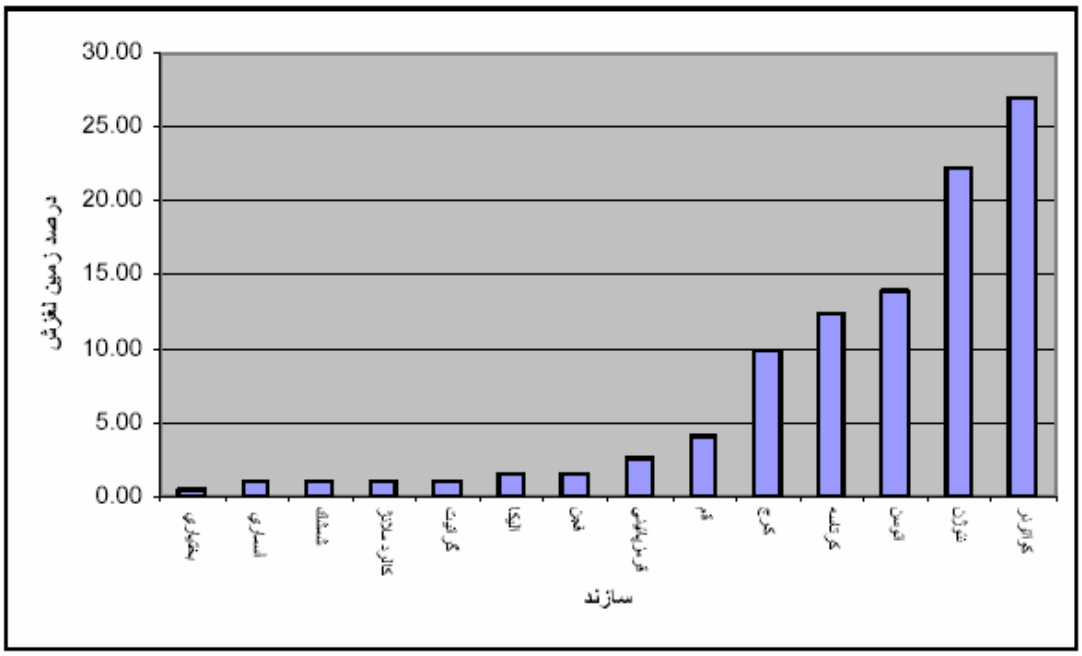
شکل ۲۸: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم C

٦-۲-٦- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی E

واحدهای زمین‌شناسی مهم و حساس این پهنه اقلیمی در ۶ دسته قرار گرفته‌اند(شکل ۳۰). این واحدها به ترتیب اهمیت شامل: ۱- کواترنر، ۲- نئوژن، ۳- ائوسن، ۴- کرتاسه و ۵- کرج می‌باشند. در این پهنه نیز بعضی سازندهای حساس مانند قم، قرمز پایینی، شمشك و کالرملانژها در ردیف‌های پایین‌تری آمده‌اند.



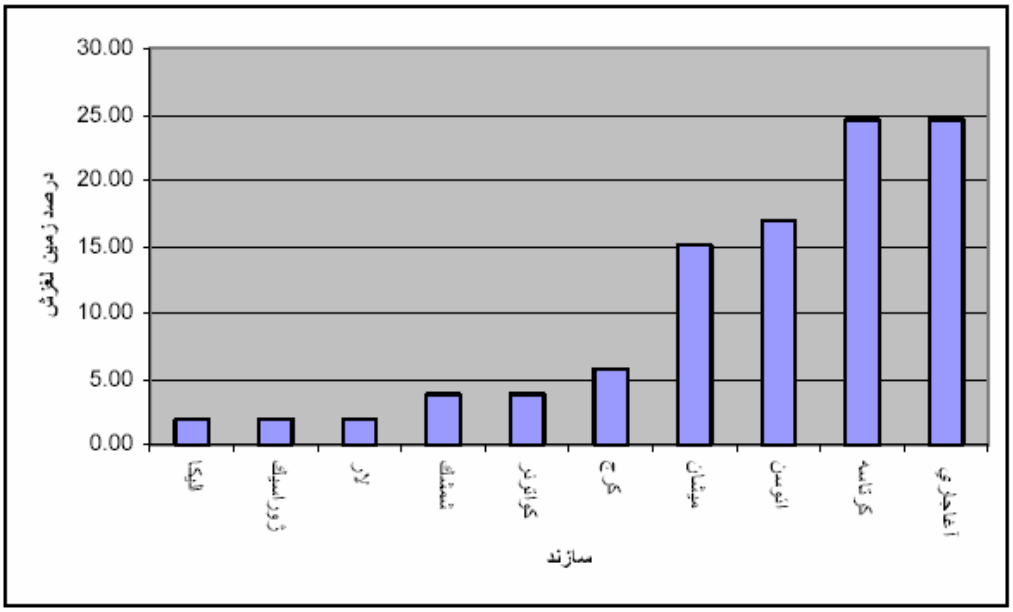
شکل ۲۹: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم D



شکل ۳۰: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم E

۶-۲-۷- استعدادبه لغزش سازندهای زمین‌شناسی پهنه اقلیمی F

واحدهای زمین‌شناسی مهم و حساس این پهنه اقلیمی در ۹ دسته قرار گرفته‌اند(شکل ۳۱). واحدهای زمین‌شناسی به ترتیب اهمیت شامل: ۱- آغاجاری، ۲- کرتاسه، ۳- ائوسن، ۴- میشان و ۵- کرج و ۶- کواترنر می‌باشند. در این پهنه نیز بعضی سازندهای حساس مانند کرج، کواترنر و شمشك در ردیف‌های پایین‌تر آمده‌اند.



شکل ۳۱: دسته‌بندی استعدادسازندها به لغزش در اقلیم F

۷- آنالیز استعدادپارامترهای مختلف زمین‌لغزش‌ها

۷-۱- تحلیل کلی عوامل زمین لغزش در ایران

عوامل موثر در وقوع زمین‌لغزشها می‌توانند به دو دسته مستعد کننده و محرك تقسیم گردند. عوامل مستعد کننده به آن دسته از عواملی اطلاق می گردد که مانند جنس زمین و مقدار شیب جزو شرایط ذاتی دامنه بوده و میزان استعداد(آمادگی) دامنه را برای شروع حرکت نشان میدهند. لیتولوژی هایی مانند مارن، سنگهای تبخیری، آبرفتها و شیل را میتوان جزو لیتولوژی های حساس به لغزش در نظر گرفت. یکی دیگر از عوامل مستعد کننده میزان شیب است. معمولا هرچه شیب دامنه بیشتر باشد احتمال وقوع لغزش بیشتر است؛ در مقابل، عوامل محرک به عواملی اطلاق می شوند که از بیرون به دامنه تحمیل شده و موجب گسیخته شدن آن می گردند. از جمله این عوامل می توان به زلزله ، بارندگی و عوامل مصنوعی اشاره نمود. زلزله با اعمال نیرو بر شیب سبب افزایش نیروهای برشی وارده بر سطح لغزش می شود. بارندگی نیز با بالا آوردن سطح آب زیر زمینی و افزایش وزن توده تواما موجب افزایش نیروهای برشی و کاهش نیروهای مقاوم در سطح لغزش می گردد. این دوعامل می توانند در مدت زمانی اندک ضریب پایداری شیبی را که در شرایط عادی پایدار است به زیر یک کاهش داده و موجب گسیختگی آن گردند. کارهای عمرانی از قبیل گسترش مناطق مسکونی ، ساخت جاده، احداث منابع آب و ...نیز به سبب افزایش بار وارده بر دامنه و یا برداشت تکیه گاه دامنه ها (بوسیله خاکبرداری) کاهش ضریب اطمینان دامنه ها را در پی خواهند داشت(پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۱۳۸۴).

در پرسشنامه چهارصفحه‌ای که برای بانك اطلاعات زمین لغزش‌ها(شکل ۱۴، گروه بررسی زمین لغزشهای وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۷۵) طراحی شده است ۲۰ پنجره جهت گزارش اطلاعات مختلف هر زمین لغزش وجود دارد که پنجرة ۱۹ آن اختصاص به علل مؤثر زمین لغزش دارد. در این پنجره یک تا ۹ عامل از ۵۵ عامل مؤثر در وقوع حرکت دامنه‌ای(طبق طبقه بندی کوکیس و زیورکاس، ۱۹۹۱، جدول ۴) برای کلیه زمین لغزشهای بانک گزارش شده است. در نتیجه از اطلاعات موجود دراین بانک می توان

جهت آنالیز اولیه علل زمین لغزش در ایران استفاده نمود. از ۵۵ عامل مذکور، ۳۳ مورد را می توان به عنوان عوامل محرک در نظر گرفت؛ سایر علل جزو عوامل مستعدکننده حرکت محسوب می گردند.

در این مطالعه جهت بررسی علت رخداد زمین‌لغزش‌ها در ایران، پنج عامل اول ذکر شده در پنجره ۱۹ تمامی پرسشنامه ها بررسی گردیده و نتایج این بررسی در جدول ۱۳ منعکس گردیده است. به عنوان مثال عامل ۴۹(بارندگی) در ۴۰۵ پرسشنامه به عنوان مهمترین عامل (عامل اول)، در ۴۷۹ مورد به عنوان عامل دوم ، در ۴۷۹ مورد به عنوان عامل سوم، در ۴۰۶ مورد به عنوان عامل چهارم و در ۳۱۸ مورد به عنوان عامل پنجم موثر در وقوع زمین لغزش ذکر گردیده است. در سایر پرسشنامه‌ها(۲۰۵۹ مورد) این عامل جزو هیچیک از عوامل پنجگانه اول آورده نشده است.

ارقام موجود در جدول ۱۳ را میتوان از دو نظر مورد تحلیل قرا داد:

اول- عامل «زیرشوئی نهرها و رودخانه‌ها» با ۹۱۲ مورد، حائز رتبه نخست در علت‌های اول است که نشان‌دهنده اولین عامل مهم رخداد زمین‌لغزش درکشور است. مجاورت بسیاری از زمین‌لغزش‌ها در کنار جریان‌های آبی نشان‌دهندهٔ نقش موثر زیر شویی و تأثیر توأم پارامترهای اقلیمی و زمین‌شناسی در وقوع زمین‌لغزش به ویژه در امتداد دره‌های زمین‌ساختی و خردشده می‌باشد. همچنین «ایجادترانشه و گودال‌ها» با ۵۹۷ مورد، دومین عامل از نظر فراوانی در علت نخست وقوع زمین‌لغزش‌ها را نشان می‌دهد که بیان‌کننده نقش انسان در ایجاد یا تشدید زمین‌لغزش‌هاست و این امر لزوم برنامه‌ریزی برای گروه‌های مختلف مردم در جهت استفاده بهینه از اراضی شیبدار و کاهش خسارت‌های زمین‌لغزش را ضرورت می‌بخشد.

دوم- در این بررسی رقم تجمعی کد۴۹«باران» با ۲۰۸۷ مورد حائز رتبه اول علل وقوع زمین‌لغزش‌ها است و بدین ترتیب پارامتر اقلیمی بارش، عامل موثر و محرك بیش از پنجاه درصد زمین‌لغزش‌های به وقوع پیوسته محسوب می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه علل کد۱۸«وزن باران،برف،تگرگ وآب چشمه‌ها»، کد۵۰«ذوب برف» و کد۹«بارش» نیز در رابطه با عامل بارندگی هستند تعداد آنها نیز می‌توانند اهمیت این پارامتر اقلیمی را افزایش دهند. حتی برخی دیگر از علل موثر نیز همانند کد۶(زیرشوئی نهرها و رودخانه‌ها) ، کد۳۴(آبگیری‌کانی‌های رسی) و کد۲۸(فشارآب درشکاف‌هاوحفره‌ها)و ... بطور غیرمستقیم از بارش تاثیر گرفته‌اند و افزایش سهم این پارامتر را در وقوع زمین‌لغزش‌ها نشان می‌دهند.

۷-۲- تحلیل علل زمین لغزشها در هر یک از پهنه‌های اقلیمی

جدا سازی عوامل محرك از عوامل مستعد کننده و تمایز نسبی تاثیر آنها در هریك از پهنه‌های اقلیمی ایران می‌تواند روابط مختلف حاکم بر وقوع زمین لغزشها را در پهنه های اقلیمی مختلف نشان دهد. از میان علل زمین لغزش ۱۱ عامل محرك شامل زلزله ، زیرشویی، فرسایندگی باران، ترانشه‌زنی، وزن باران و برف، بارگذاری، کشاورزی، فشار آب باران و برف، آبیاری و حذف پوشش گیاهی نسبت به بقیه عوامل در پرسشنامه ها بیشتر ذکر شده اند؛ بنابراین در پروژه حاضر فقط از ۱۱ عامل مذکور جهت بررسی نقش علل محرك استفاده گردیده است. بدین منظور زمین لغزشهای واقع در اقلیمهای مختلف از یکدیگر جدا و عوامل محرک آنها مورد بررسی قرارگرفته است.

با بررسی هر یک از پرسشنامه ها ، اولین عامل محرک مذکور در ستون عوامل (هر یک از ۱۱مورد) به عنوان عامل اصلی لغزش در نظر گرفته شده است. این کار برای کلیه پرسشنامه ها و در هر اقلیم به صورت جداگانه انجام و نتایج آن بررسی و تحلیل گردیده است. جدول ۱۲ و شکل ۳۲ نشان دهنده نتایج این تحلیل می باشد. همانطور که در جدول و شکل مذکور مشاهده می شود در کلیه اقلیمها، بارندگی مهمترین عامل محرک وقوع زمین لغزش بوده است. در صورتی که عواملی همچون زیرشویی دامنه توسط رودخانه نیز عاملی مرتبط با بارش در نظر گرفته شود نقش بارندگی بیشتر نیز خواهد شد. ترانشه‌زنی و تغییرکاربری زمین در دامنه توسط فعالیت‌های انسانی یکی از عوامل محرك موثر دیگر است که باعث بوقوع پیوستن زمین‌لغزش های زیادی در ایران شده است.

با توجه به جدول ۹ و شکل ۳۲ و بررسی تعداد زمین لغزشهای تحریک شده با هر یك از عوامل محرک در پهنه‌های مختلف اقلیمی (روش تحلیل عاملی) موارد زیر قابل نتیجه گیری است:

عامل زلزله به ترتیب در نواحی C، A، B1و E نقش مهمی را ایفا کرده است. تقریباً هر چهار ناحیه جزء نواحی لرزه‌خیز بوده و تناسب خوبی مخصوصاً در نواحی A و B1 برقرار می‌باشد.

زمین لغزشهای تحریک شده بوسیله زیرشویی به ترتیب در نواحی C، A، B1 و E دارای پراکنش بالایی می‌باشد. این نتیجه در نواحی C، A و B1 با توجه به نوع آب و هوا قابل توجیه می‌باشد اما با توجه به بیابانی بودن ناحیه E ، به نظر می‌رسد علت زیاد بودن لغزش در آن به بارش‌های سیل‌آسای سالیانه نواحی بیابانی برمی‌گردد.

عامل فرسایندگی بارش به ترتیب در نواحی C، E، A، B1 و F در ایجاد زمین لغزش نقش داشته است. با توجه به اینکه نواحی بیابانی فاقد پوشش گیاهی می باشند، فرسایش قطرات باران در این مناطق(E و F) می تواند عامل موثر در حرکات دامنه‌ای محسوب گردد.

جدول ۱۱: علل موثر در وقوع ۴۱۴۶ زمین‌لغزش مرتب شده بر اساس مجموع پنج علت اول(بر اساس بانك اطلاعاتی زمین‌لغزش‌های کشور)

کد	عامـــــــل	عامل۱	عامل۲	عامل۳	عامل ۴	عامل ۵
۱	زلزله	۱۸۱	۳۹	۳۶	۲۹	۳۸
۲	ارتعاش ناشی از انفجار	۱۰	۶	۱	۱	۱
۳	ارتعاش ناشی از کارماشین آلات	۲۸	۲۳	۹	۴	۱۲
۴	ارتعاش ناشی از ترافیك	۲۱	۲۶	۱۲	۲۰	۸
۵	گسیختگی های ایجادشده دردامنه...	۱۳	۸	۱۳	۶	۳
۶	زیرشوئی نهرها و رودخانه ها	۹۱۲	۲۵۸	۱۶۲	۱۳۵	۶۴
۷	امواج	۴	۰	۰	۰	۰
۸	جریان های جزر و مدی	۰	۱	۰	۱	۰
۹	بارش	۱۶۱	۱۴۶	۹۸	۷۱	۴۸
۱۰	هوازدگی، مرطوب شدن و...	۲۶	۴۹	۵۰	۱۸	۱۴
۱۱	انحلال و انتقال مواد	۱	۲۹	۲۵	۲۳	۱۳
۱۲	حرکت های قبلی	۲۰	۱۹	۱۲	۶	۵
۱۳	فرونشست	۱۶	۱۹	۱۷	۱۱	۳
۱۴	گسلش بزرگ مقیاس	۱۷	۱۹	۱۷	۸	۳
۱۵	ترانشه ها، گودال ها، معادن...	۵۹۷	۱۳۳	۶۹	۳۹	۱۷
۱۶	ازبین رفتن دیوارهای حایل...	۱۷	۱۵	۴	۲	۵
۱۷	ایجاد دریاچه های مصنوعی و...	۱	۱۲	۴	۲	۴
۱۸	وزن باران، برف، تگرگ وآب چشمه ها	۲۲۶	۳۵۱	۲۸۱	۱۴۳	۸۶
۱۹	انباشت واریزه	۱۹	۴۸	۶۰	۳۳	۱۸
۲۰	پوشش گیاهی	۴	۲۳	۴۰	۱۶	۶
۲۱	خاکریزها	۱۲	۱۲	۳	۴	۱
۲۲	دپوکردن مواد معدنی یا سنگ	۷	۵	۲	۳	۱
۲۳	انباشت زباله	۰	۰	۰	۰	۰
۲۴	ساختمان سازی و سازه های دیگر	۵۷	۳۳	۲۴	۱۸	۹
۲۵	وزن آب ناشی از نشت وله های آب...	۳	۸	۶	۵	۷
۲۶	کانال ها و مخازن	۲۰	۱۶	۱۲	۹	۲
۲۷	کشاورزی و آبیاری برروی دامنه ها	۹۰	۹۹	۷۱	۶۸	۳۴
۲۸	فشارآب در شکاف ها و حفره ها	۲۸	۱۰۲	۴۶	۴۷	۵۱
۲۹	یخ زدن آب در شکاف ها	۱۰	۱۳	۲۶	۱۱	۱۷
۳۰	تورم رس یا آنهیدریت	۸	۱۱۳	۵۴	۶۰	۱۷
۳۱	تحریك تنش باقی مانده	۱	۸	۵	۴	۲
۳۲	نرم شدن رس های شکاف خورده	۵۲	۲۶	۱۵	۲۳	۱۹
۳۳	تخریب فیزیکی سنگ های دانه ای	۲۲	۳۱	۲۵	۱۴	۱۳
۳۴	آبگیری کانی های رسی	۸۰	۲۲۲	۲۸۲	۱۹۹	۱۶۵

۳۵	تاثیر تبادلات یونی ۰۰۰	۳	۲	۲	۱	۰
۳۶	خشك شدن رس وایجادشکاف در انها	۴	۲۴	۳۱	۱۸	۳
۳۷	ازبین رفتن سیمان بین ذرات ۰۰۰	۳	۸	۱۴	۵۲	۱۷
۳۸	ترکیب کانی شناسی و شیمیائی	۳۴۲	۴۵۷	۴۲۶	۲۲۷	۱۰۲
۳۹	بافت	۴۸	۱۵۳	۲۰۱	۲۲۴	۱۱۳
۴۰	شکستگی ها	۱۱	۱۲۳	۱۳۳	۹۳	۵۵
۴۱	گسل ها	۹۳	۱۰۳	۷۷	۵۷	۳۰
۴۲	سطوح طبقه بندی	۹	۲۶	۳۳	۵۹	۱۱
۴۳	فولیشن در شیست ها	۲	۱۱	۹	۷	۳

جدول ۱۱(ادامه)

کد	عامـــــــل	عامل۱	عامل۲	عامل۳	عامل ۴	عامل ۵
۴۴	رخ	۱	۵	۰	۰	۰
۴۵	زون های برشی	۶	۵	۴	۴	۲
۴۶	طبقات ضخیم و توده ای ۰۰۰	۱۱	۴۴	۳۸	۲۱	۱۰
۴۷	تناوب طبقات تراوا و ناتراوا	۶۸	۶۲	۹۴	۱۰۵	۱۲۱
۴۸	جهت شیب دامنه	۶۴	۲۲۵	۱۸۱	۱۹۳	۱۳۹
۴۹	باران	۴۰۵	۴۷۹	۴۷۹	۴۰۶	۳۱۸
۵۰	ذوب برف	۲۷	۱۳۵	۲۲۶	۲۲۷	۱۸۰
۵۱	انحراف نهرها	۵	۸	۸	۳	۶
۵۲	استخرها	۰	۰	۳	۱	۰
۵۳	مخازن آب	۱۵	۱۷	۱۱	۷	۵
۵۴	آبیاری	۱۶	۱۱	۳۵	۱۷	۱۲
۵۵	نابودی پوشش گیاهی و جنگل زدایی	۱۵۴	۱۸۶	۱۴۵	۱۵۰	۱۲۹
۵۶	مقدارشیب	۳۷	۲۸	۷۴	۶۲	۲۸
	جمع	۴۱۰۹	۴۰۲۴	۳۷۰۵	۲۹۶۷	۱۹۷۰

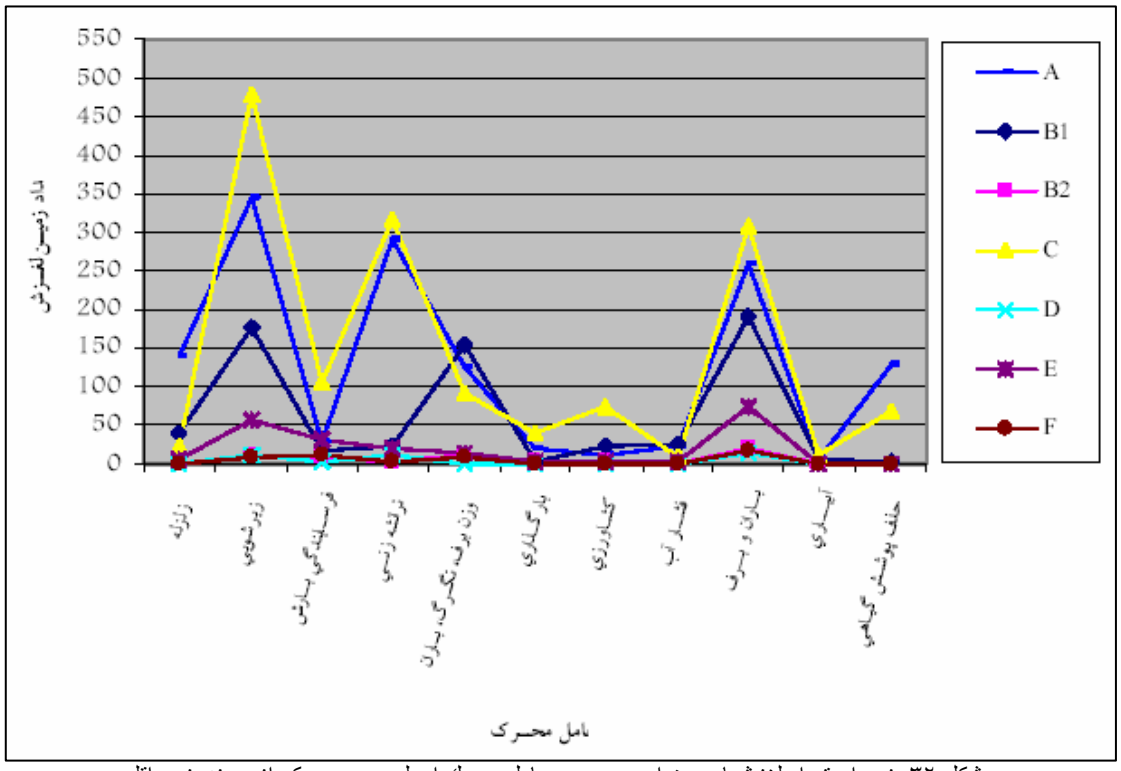
جدول ۱۲: دسته‌بندی عوامل محرك در وقوع زمین‌لغزش در پهنه‌های اقلیمی تحلیل عاملی

عامل محرك | نوع اقلیم	A	B1	B2	C	D	E	F	مجموع
زلزله	141	40	0	24	1	7	0	213
زیرشویی	344	176	11	479	10	58	9	1087
فرسایندگی بارش	29	16	9	105	2	30	11	202
ترانشه زنی	290	23	4	315	11	19	4	666
وزن برف، تگرگ، باران	126	155	11	92	0	14	8	406
بارگذاری	19	4	4	40	0	4	0	71
کشاورزی	12	23	3	75	0	4	0	117
فشار آب	23	27	0	9	0	3	1	63
باران و برف	260	191	19	309	13	74	17	883
آبیاری	7	7	0	10	0	0	0	24
حذف پوشش گیاهی	129	3	1	69	0	1	0	203
مجموع زمین‌لغزش	1380	665	62	1527	37	214	50	3935

عامل ترانشه‌زنی به ترتیب در نواحی C و A دارای پراکنش بالایی می‌باشد. وقوع زمین لغزش بر اثر این عامل در نواحی C و A، مخصوصاً C به دلیل گسترش راههای ارتباطی در نواحی کوهستانی استان‌های کهگیلویه بویراحمد و چهارمحال و بختیاری قابل پیش‌بینی می‌باشد.

عامل وزن باران و برف و تگرگ به ترتیب در نواحی B1، A و C در ایجاد زمین لغزشها نقش داشته اند. با توجه به کوهستانی بودن این مناطق این نتیجه قابل توجیه می باشد.

عامل بارگذاری به ترتیب در نواحی C و A ،عامل کشاورزی به ترتیب در نواحی C، B1 و A ، عامل فشار آب به ترتیب در نواحی A، B1 و C در ایجاد زمین لغزشها نقش داشته اند.



شکل ۳۲: نمودار تعداد لغزشهای رخداده بر حسب عامل محرك اصلی در هر یک از پهنه بندی اقلیمی

باران و برف به ترتیب در نواحی A،C، B1 وE عامل تحریک کننده بسیاری از زمین لغزشها بوده اند. در مورد ناحیه E در صورتیکه در نواحی کوهستانی زمین لغزش رخ داده باشد قابل توجیه می باشد.

عامل آبیاری در ناحیه C بزرگتر از دو ناحیه B1 و A می‌باشد. با توجه به کوهستانی بودن این نواحی و وفور آب، آبیاری غرقابی می‌تواند عامل لغزش باشد.

عامل حذف پوشش گیاهی به ترتیب در ایجاد زمین لغزشهای نواحی A و C نقش داشته اند. با توجه به اینکه جنگل‌های البرز و زاگرس جزء این نواحی می‌باشند و در سال‌های اخیر از بین بردن پوشش گیاهی افزایش یافته است بنابراین عامل حذف پوشش گیاهی در این مناطق با رخداد زمین‌لغزش منطبق می‌باشد.

برای بررسی تاثیر هر یك از عوامل محرك ۱۱ گانه در وقوع زمین لغزش در هر پهنه اقلیمی ، ارزش اطلاعاتی هر یك از آنها با استفاده از معادله ۵ محاسبه گردیده است(جدول ۱۳). در این روش تراکم لغزشهایی که علت اصلی آنها عامل مورد نظر بوده است در پهنه مورد نظر با تراکم متوسط همین لغزشها در کل کشور مقایسه شده است. به عنوان مثال همانگونه که در جدول ۱۳ نشان داده شده است میزان ارزش اطلاعاتی زیرشویی در اقلیم A ، ۱,۷۷ است. این بدان معنی است که تراکم لغزشهایی که عامل اصلی آنها در پهنه A زیر شویی بوده است در حدود $۲,۷۱^{۱,۷۷}$ برابر تراکم متوسط لغزشها در کشور بوده است. در نتیجه ارزش اطلاعاتی بیش از یک نشان دهنده تراکم بالاتر از ۲,۷۱ برابر تراکم متوسط ، ارزش اطلاعاتی بین صفر و یک در کشور بیانگر ترا کم بین یک تا ۲,۷۱ برابر متوسط تراکم و در نهایت ارزش اطلاعاتی کمتر از صفر(منفی) نشاندهنده تراکم کمتر از تراکم متوسط کل کشور می باشد . با توجه به این جدول:

۱- عامل زیرشویی در پهنه‌های اقلیمی A، B1 و C دارای وزن مثبت و در سایرپهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۲- عامل فرسایندگی بارش در پهنه‌های اقلیمی A و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۳- عامل وزن برف، باران و تگرگ در پهنه‌های اقلیمی A، B1 و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۴- عامل باران و برف در پهنه‌های اقلیمی A، B1 و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۵- عامل زلزله در پهنه‌های اقلیمی A، B1 دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۶- عامل ترانشه‌زنی در پهنه‌های اقلیمی A و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۷- عامل بارگذاری در پهنه‌های اقلیمی A و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۸- عامل کشاورزی در پهنه‌های اقلیمی A، B1 و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۹- عامل فشار آب در پهنه‌های اقلیمی A و B1 دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۱۰- عامل آبیاری در پهنه‌های اقلیمی A، B1 و C دارای وزن مثبت و در سایر پهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

۱۱- عامل حذف پوشش گیاهی در پهنه‌های اقلیمی A و C دارای وزن مثبت و در سایر سایرپهنه‌ها دارای وزن منفی می‌باشد.

لازم به یادآوری است که تعدادی از عوامل در بعضی از پهنه‌های اقلیمی فاقد اطلاعات(بدون رخداد زمین‌لغزش) می‌باشند که با ND مشخص شده‌اند.

جدول ۱۳: دسته‌بندی ارزش اطلاعاتی عوامل محرك ایجاد زمین‌لغزش در پهنه های اقلیمی(روش تحلیل عاملی)

اقلیم	ارزش اطلاعاتی										
	زیر شویی	فرسایندگی بارش	وزن برف، . .	باران و برف	زلزله	ترانشه‌زنی	بارگذاری	کشاورزی	فشار آب	آبیاری	حذف پوشش گیاهی
A	1.77	0.98	1.75	1.70	2.51	2.09	1.60	0.64	1.91	1.69	2.47
B1	0.09	-0.62	0.95	0.38	0.24	-1.45	-0.96	0.29	1.07	0.68	-2.30
B2	-2.51	-1.03	-1.53	-1.76	ND	-3.03	-0.79	-1.58	ND	ND	-3.23
C	0.95	1.11	0.28	0.71	-0.42	1.02	1.19	1.32	-0.18	0.89	0.69
D	-1.95	-1.88	ND	-1.48	-2.62	-1.36	ND	ND	ND	ND	ND
E	-1.69	-0.66	-2.13	-1.24	-2.17	-2.31	-1.63	-2.13	-1.80	ND	-4.07
F	-2.89	-1.01	-2.02	-2.05	ND	-3.21	ND	ND	-2.24	ND	ND

۸- پیشنهاد روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاسهای منطقـه ای و متوسط

در این پروژه با توجه به موارد زیر نسبت به پیشنهاد روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش در دو مقیاس منطقه ای و متوسط اقدام گردیده است:

- نتایج مطالعه و آنالیز حدود ۱۵۰ منبع داخلی و خارجی که در بخش سوم این گزارش آمده است؛
- بررسی شرایط دقیق اقلیمی و زمین شناسی کشور و بررسی استعدادزونهای مختلف با استفاده از بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور(که نتایج آن در بخشهای پنجم و ششم این گزارش منعکس گردیده است)؛
- تشکیل بیش از ۴۰ جلسه کارشناسی با حضور ۱۰ کارشناس مجرب در مطالعات زمین لغزش؛

با وجود اینکه امکان انعکاس تمامی استدلالات و دلایلی که مبنای انتخاب روشهای پیشنهاد شده و در جلسات به صورت مفصل مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند، در این گزارش وجود نداشته است، اما سعی گردیده پشتوانه های علمی مراحل پیشنهادی بصورت خلاصه آورده شود.

لازم به ذکر است، با توجه به فراگیر شدن کاربرد سامانه های اطلاعات جغرافیایی(GIS)[۱۸] و امکاناتی که این نرم افزارها در اختیار کاربران در زمینه تحلیلها و خروجی های مدیریت زمین قرار می دهند، استفاده از این سامانه در کلیه پهنه بندی های موضوع این پروژه ضروری بوده و مشاورین مربوطه بایستی علاوه بر داشتن امکانات نرم افزاری و سخت افزاری ، پرسنل مجربی را نیز در ارتباط با چگونگی استفاده از این سیستم در اختیار داشته باشند.علت این الزام را می توان به صورت زیر تشریح نمود:

سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) نقش مهمی و فزاینده ای را در تحلیل خطر زمین لغزش ایفا می نماید. این سامانه در ارزیابی دقت داده های ورودی ابزار مهمی به شمار می آید. با داشتن بانک اطلاعاتی خوب و روشهای استاندارد جمع آوری داده،، نقشه های ورودی می توانند براحتی با استفاده از داده های بدست آمده از پروژه به روز شوند. GIS نه تنها کارشناسان کم تجربه را در تحلیل میزان تاثیر عوامل موثر یاری میدهد بلکه کارشناسان مجرب را نیز برای ایجاد بانک اطلاعاتی دقیق به منظور استفاده در سایر پروژه ها یاری می دهد. GIS در تحلیل ترکیبات پیچیده از عوامل که منجر به لغزش می شود نقشی مهم دارد. یکی از مهمترین کاربردهای این سامانه در تحلیل خطر زمین لغزش می تواند (استفاده مجدد و سریع داده ها)با توسعه آتی مدلهای ارزیابی ناپایداری شیب باشد. در ترکیب با کارهای صحرایی دقیق GIS قابلیت اعتماد را در نقشه های خطر بالا برده و در نتیجه در فرآیند تصمیم گیری نقش مهمی را ایفا می نماید(ون وستن،۱۹۹۳).

۸-۱- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه ای

بررسی منابع جمع آوری شده نشان می دهد که از ۲۳ مقاله و پایان نامه جمع آوری شده که در مقیاس منطقه ای انجام شده‌اند روش آنالیز در ۱۴ منبع، روی هم اندازی لایه ها با وزن دهی کور بوده است(شکل ۱۱).

واقعیت این است که بکار بردن روش روی هم قراردادن عوامل و وزن دهی بینا برای پهنه بندی در مقیاسهای منطقه ای و ملی (حتی برای مناطقی که نقشه های فهرست زمین لغزشهای آنها از روی عکسهای هوایی بزرگ مقیاس تهیه شده است) خالی از اشکال نیست و در صورت بکارگیری بایستی مواردی ویژه لحاظ گردد. این امر به دو علت است:

[18] Geographic Information System

- استخراج نقشه فهرست زمین لغزشها برای نقشه های ۱:۲۵۰،۰۰۰ ،که منطقه ای وسیع را در بر می گیرد (هر شیت نقشه ۱:۲۵۰،۰۰۰ در حدود ۱۵۲۰۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد)، بسیار وقت گیر و حجیم خواهد بود؛
- به علت مقیاس کوچک ، پیاده نمودن بسیاری از زمین لغزشها (با ابعاد کمتر از ۲۵۰ متر) در این نقشه ها غیر ممکن بوده و لاجرم بایستی نقطه ای پیاده گردند(لغزشی به ابعاد ۲۵۰ در ۲۵۰ متر، در این نقشه ها مربعی به ابعاد یک میلی متر در یک میلی متر خواهد بود)؛

به دلایل فوق چنانچه در مطالعه ای استفاده از روش روی هم قرار دادن عوامل انتخاب گردد بایستی به جای استفاده از نقشه‌های معمول ، از نقشه های هم تراکم زمین لغزشها استفاده گردد. در این نقشه ها در ابتدا منطقه به واحدهای هم اندازه و هم شکلی (مانند مربع) تقسیم شده و تعداد زمین لغزشها در هر واحد شمرده و مقدار آن در مرکز واحدها ثبت می گردد. در مرحله بعد نقاط هم تراکم با منحنی به هم متصل و نقشه مربوطه تهیه می گردد.

با توجه به مطالب فوق، موارد زیر در ارتباط با پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه ای در ایران پیشنهاد می گردد:

۸-۱-۱- روش واحد بندی

همانگونه که در بخش۲-۲-۱ ذکر گردید واحد بندی به منظور پهنه بندی خطر با سه روش متفاوت انجام می‌پذیرد (Gee,1992) :

۱- واحد بندی منظم: منطقه به سلولهایی به شکل منظم (مانند مربع یا شش ضلعی) تقسیم میگردد(شکل ۳۳). مزایای این نوع واحد بندی عبارتند از:

- مساحت کلیه واحدها یکسان است؛
- مکان هر واحد با استفاده از مختصات آن (x,y) سریعا قابل شناسایی است؛
- نرم افزارهای رایج جهت پهنه بندی، مانند(GIS)، با این واحدها راحتتر از بقیه انواع واحدها کار کرده و سرعت پردازش آنها در این حالت بالاتر خواهد بود.

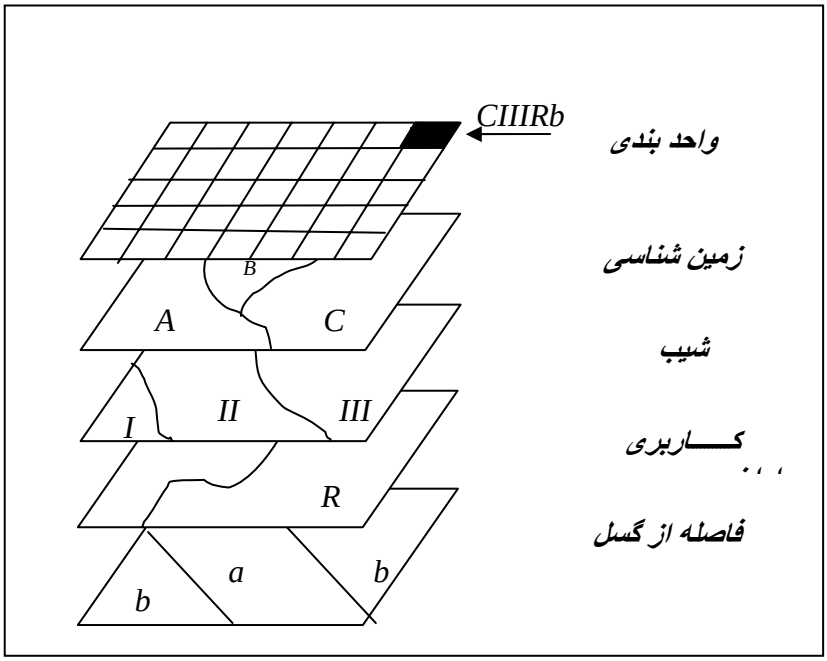
این نوع واحد بندی با وجود مزایای فوق دارای معایبی نیز است که مهمترین آنها امکان حضور بیش از یک زیر گروه از هر عامل (مانند مارن و آهک از عامل زمین شناسی) در هر واحد است. این محدودیت موجب می گردد در چنین واحدهایی زیر گروهی در نظر گرفته شود که مساحتی بیشتر از سایر زیر گروهها را اشغال کرده باشد. در این حالت نقش زیر گروههای حذف شده ، در پهنه بندی در نظر گرفته نمی شود ؛

۲- واحد بندی شیبی: در این واحد بندی منطقه بر اساس میزان شیب و جهت دامنه به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌گردد(شکل ۳۴)؛ 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 می کند. از آنجاییکه تمام آنالیزهای انجام شده برای پهنه بندی، با هدف ارزیابی پایداری دامنه ها صورت می گیرد این روش منطقی تر از سایر روشها به نظر می رسد زیرا در نهایت خطر حرکت را در دامنه ارائه می نماید؛ با این وجود کاربرد این واحد بندی در مقیاسهای کوچک که هر میلی متر از آن ممکن است شامل چندین دامنه گردد عملی نیست. از طرفی دیگر، واحد بندی شیبی، محدودیت مذکور در واحد بندی منظم (وجود چندین زیر گروه در یک واحد) را نیز در برداشته و آنالیز آن در GIS مشکلتر از واحدبندی منظم انجام می گیرد.

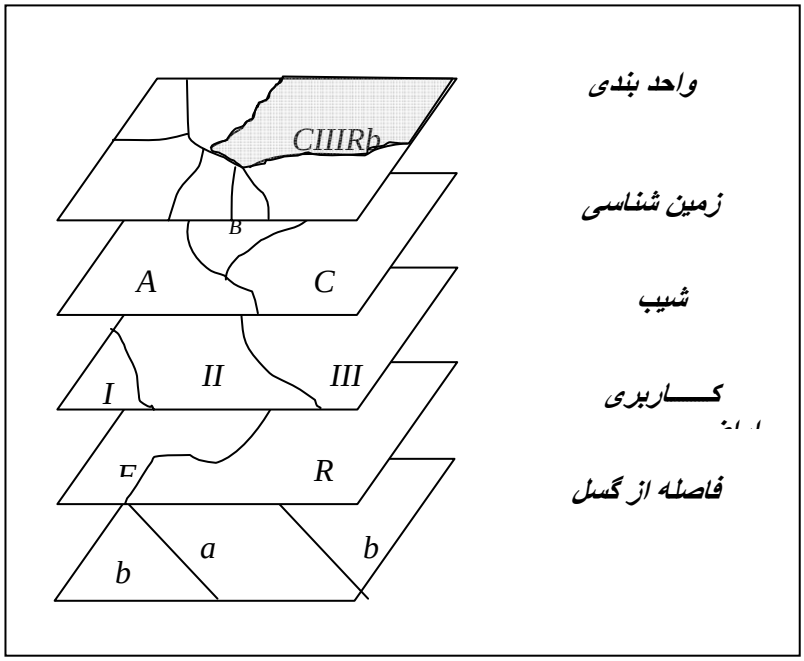
۳- واحدبندی ترکیبی: این واحد بندی حاصل روی هم اندازی لایه های عوامل و تشکیل واحدهایی همگن از نظر کلیه عوامل در نظر گرفته شده می باشد(شکل ۳۵). این روش به دلیل همگن بودن واحدها، محدودیتهای روشها منظم و شیبی را در مورد حذف عوامل ندارد، زیرا هر واحد تنها یک زیر گروه از هر لایه اطلاعاتی را در بر می گیرد؛ ولی اگر تعداد لایه ها و زیر گروههای مربوطه زیاد باشد ، تعداد بسیار زیادی واحد ایجاد شده که بسیاری از آنها خیلی کوچک می باشند. از جمله محدودیتهای دیگر این روش

زمانبر بودن روی هم اندازی لایه ها برای تشکیل واحدها و تصحیح مرزهای آنها در GIS می‌باشد. (گی(۱۹۹۲) این نوع واحد بندی را طبیعی نامیده است که در این مطالعه به ترکیبی تغییر یافته است).

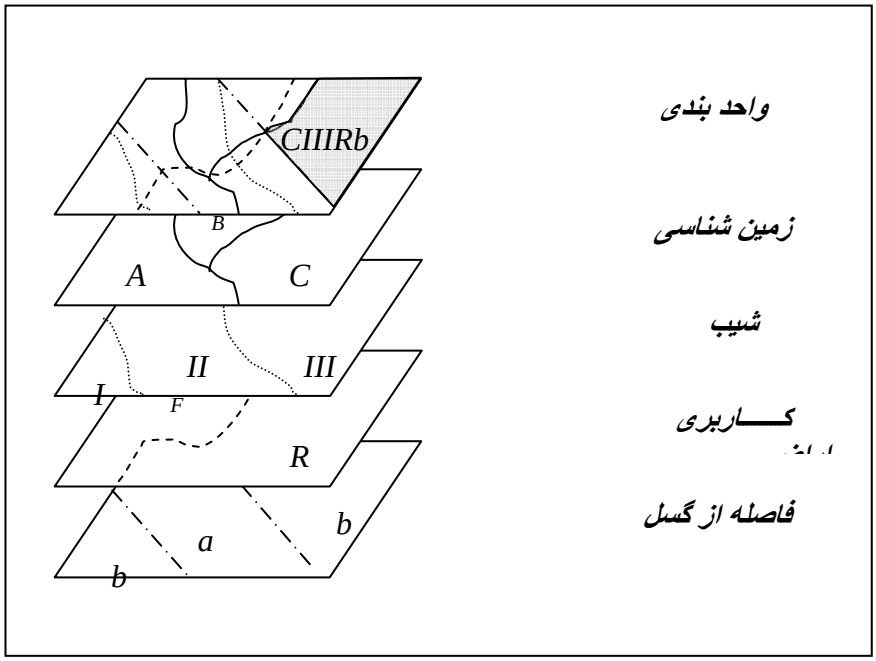
محققینی که از این روش جهت واحد بندی استفاده می کنند برای حذف محدودیت ایجاد واحدهای کوچک فیلترهایی را پیش ببینی می کنند تا اینگونه واحدها در واحدهای بزرگ کناری خود ادغام گردند. به عنوان مثال در نقشه های ۱:۲۵۰،۰۰۰ این فیلتر می تواند به ابعاد ۲۵۰ در ۲۵۰ متر (یک میلیمتر در یک میلی متر روی نقشه) و مساحت ۶۲۵۰۰ مترمربع(۶,۲۵ هکتار) انتخاب گردد. در این حالت کلیه واحدهایی که دارای مساحتی کوچکتر از ۶,۲۵ هکتار هستند حذف و در واحدهای همجوار ادغام می گردند. مشکل این روش هنگامی نمایان می گردد که تعداد زیادی واحدهای کوچک همجوار هم قرار گرفته و در واحدی که اندازه آن اندکی از حد فیلتر بزرگتر است ادغام گردند.



شکل ۳۳: اصول واحد بندی منظم. واحد دارای زمین شناسی C شیب مشخص شده]]] ، کاربری R و فاصله از گسل b می باشد



شکل ۳۴: اصول واحد بندی دامنه ای. واحد مشخص شده دارای زمین شناسی C ، شیب]]] ، کاربری R و فاصله از گسل b می باشد



شکل ۳۵: اصول واحد بندی ترکیبی. واحد مشخص شده دارای زمین شناسی C ، شیب]]] ، کاربری R و فاصله از گسل b می باشد

با توجه به توضیحات فوق واحد بندی شیبی برای پهنه بندی در مقیاس منطقه ای مناسب نیست. چنانچه قرار بر استفاده از واحد بندی منظم نیز در این مقیاس باشد مانند بسیاری دیگر از محققین (مانند حائری ، ۱۳۷۵) برای جلوگیری از پیچیدگی های کار بایستی واحدهای یک سانتی متر مربع برای اینکار انتخاب گردد. این واحدها دارای مساحت ۶,۲۵ کیلومتر مربع (۲/۵ در ۲/۵ کیلومتر) بوده و لذا در نقشه حاصله بسیاری از عواملی که در کمتر از این ابعاد دارای تغییرات عمده می باشند در نظر گرفته نخواهد شد. مجموعه این موارد موجب گردیده است که در این پروژه، ***واحد بندی ترکیبی*** برای پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ انتخاب و پیشنهاد گردد. این نوع واحد بندی گرچه موجب ایجاد تعداد بسیار زیادی از واحدهای کوچک و نامنظم می گردد و نسبت به واحد بندی های دیگر دارای پیچیدگی های محاسباتی است ولی به علت توسعه سامانه های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و امکاناتی که این سامانه ها در اختیار کاربران قرار می دهند، مشکلات مذکور قابل صرفنظر کردن می باشد.

۸-۱-۲- لایه های اطلاعاتی

مهمترین مرحله در پهنه بندی خطر زمین لغزش، شناسایی عوامل موثر در وقوع آن می باشد. مانند هر پدیده دیگر با شناخت صحیح عوامل لغزش و اطلاع از وجود یا عدم وجود آن ها در یک منطقه، می توان به احتمال وقوع یا عدم وقوع این پدیده پی برد.

همانگونه که در بخش ۲-۲ ذکر شد، شناسایی عوامل زمین لغزش می تواند بوسیله 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 می نماید. بدیهی است این روش کاملا متکی بر قضاوت شخص بوده و از روش تعریف شده ای که دیگران نیز بتوانند طبق آن عمل کنند پیروی نمی نماید. چنانچه روش قضاوت مهندسی توسط افراد مجرب انجام گیرد می تواند بهترین روش محسوب گردد ولی به علتی که در بخش ۲-۲ آورده شده است، نمیتوان انتظار داشت نتایج پهنه‌بندی یک منطقه خاص توسط افراد مختلف نتیاج یکسانی در بر داشته باشد.

روش دوم برای تعیین لایه های اطلاعاتی روش بینا است. در این روش با استفاده از نقشه پراکنش زمین لغزش و مقایسه آن با نقشه عواملی که گمان می رود در ایجاد زمین لغزش سهیم بوده‌اند نقش آنها تعیین می گردد. ا ین روش بیشتر در مقیاسهای متوسط و برای مناطقی که نقشه فهرست زمین لغزشهای آنها موجود باشد استفاده می گردد. بدیهی است روش مذکور معمولا در مقیاسهای منطقه ای و یا کوچک به دلیل مشکل بودن تهیه نقشه فهرست بکار نمی رود.

با توجه به موارد مذکور در این پروژه، روش قضاوت مهندسی به عنوان روش بهینه در نظر گرفته شده است. برای کمک به تصمیم گیری افرادی که کار پهنه بندی خطر زمین لغزش را در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ انجام خواهند داد و با توجه به نتایج طرح که شرح مفصل آنها در بخشهای قبل ذکر گردید عوامل زیر به عنوان عوامل پیشنهادی در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ در ایران پیشنهاد شده است:

الف- عوامل مستعد کننده: شامل زمین شناسی، شیب، وجه شیب، تاقدیس و ناودیس، متوسط بارندگی سالیانه؛

ب- عوامل تحریک کننده: شامل زلزله، زهکشی و جاده.

زمین شناسی

یکی از عوامل ذاتی که در زمین لغزش نقش مهمی ایفا می‌نماید جنس مصالح درگیر در حرکت می‌باشد 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 هوازدگی آنها مد نظر قرار گرفته است. چانگ(۱۹۹۲) و حائری و سمیعی(۱۳۷۶) نیز با توجه به درجه مقاومت مهندسی و نوع سنگ- شناسی به این پارامتر وزن داده اند. جدول ۱۴ وزن دهی به پارامتر مصالح زمین شناسی در مطالعات حائری و سمیعی (۱۳۷۶) را نشان می دهد.

با توجه به اینکه معمولاً در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تفکیک لیتولوژی های مختلف در نقشه های معمول زمین شناسی انجام نگردیده است از واحدهای دیگر زمین‌شناسی (مانند سازند که مجموعه ای لیتولوژی های مختلف است)استفاده می‌شود. در ایران نامگذاری‌های متعددی توسط محققان مختلف کشور برای سازندها و واحدهای زمین شناسی انجام شده که جدیدترین آنها توسط آقانباتی در کتاب زمین‌شناسی ایران(۱۳۸۳) عنوان گردیده است. نام گذاری ها در این کتاب بر اساس نامگذاری سازندهای ایران توسط انجمن چینه‌شناسی ایران صورت گرفته است.

جدول۱۴: طبقه‌بندی سنگ‌ها از نظر مقاومت در برابر لغزش(حائری وسمیعی ۱۳۷۶)

ردیف	کلاس	توصیف سنگ‌ها
۱	۱	سنگ آهك توده‌ای_ سنگ آهك ضخیم لایه_ دولومیت توده‌ای_ سنگ آهك دولومیتی ضخیم لایه_ ماسه‌سنگ و ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه باسیمان سیلیسی ودرزه‌های کم_ کنگلومرا با سیمان سیلیسی_ مرمر ضخیم لایه با درزه-های کم_ کوارتزیت
۲	۲	سنگ آهك با لایه‌بندی متوسط_ ماسه‌سنگ وماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط و سیمان آهکی_ سنگ آهك دولومیتی با لایه‌بندی متوسط_ سنگ آهك ماسه‌ای با لایه‌بندی متوسط_ دولومیت_ کوارتزیت_ سنگ‌های آذرین
۳	۳	سنگ آهك مارنی با لایه‌بندی متوسط_ سنگ آهك و سنگ آهك دولومیتی نازك لایه_ ماسه‌سنگ کوارتزیتی با لایه‌بندی متوسط
۴	۴	بازالت و آندزیت با درزه‌های انقباضی و هوازده_ ماسه‌سنگ نازك تا متوسط لایه و دارای درزه_ توف آهکی_ ماسه‌سنگ و کنگلومرا با سیمان ضعیف_ سنگ آهك ماسه‌ای نازك لایه با درزه_ شیست وسنگ‌های دگرگونی و درزه‌دار و لایه‌بندی شده_ سنگ‌های آذرین
۵	۵	توف آندزیتی_ توف آهکی هوازده_ شیل آهکی

۶	۶	مارن ذغال‌دار_ شیل آهکی هوازده_ تناوب شیل و ماسه‌سنگ_ تناوب شیل ولای‌سنگ_ مارن گچ‌دار
۷	۷	مارن_ توف هوازده_ گل‌سنگ_ ماسه‌سنگ توفی تکتونیزه و هوازده_ ذغال_ شیل
۸	۸	شیل و مارن هوازده
۹	۹	آبرفت‌های قدیمی مشتمل بر پادگانه و مخروط‌افکنه‌های قدیمی_ رسوبات پر کنندهٔ درزه‌ها مشتمل بر مارن_ گچ
۱۰	۱۰	آبرفت‌های جوان مشتمل بر پادکانه و مخروط‌افکنه‌های جوان_ خاك‌های برجامانده_ خاك‌های حاصل فرسایش سنگ‌بستر که تحت نیروی ثقل و عوامل جوی از ارتفاعات بر روی شیب حمل شده و بر روی هم انباشته شده‌اند._ نهشته‌های سیلابی و یخچالی_ مصالح لغزشی رانش‌های قدیمی

واحدهای زمین‌شناسی از یك سنگ خاص و یا تناوب لایه‌های سنگی تشکیل می‌شود. بطور مثال وقتی از واحد زمین‌شناسی شمشك (بعنوان یك سازند) بحث می‌شود، منظور تناوب لایه های ماسه‌سنگ و شیل است که دارای تداخل‌هایی از مارن, زغال, سیلت‌استون و کنگلومرا می‌باشد.

در بعضی موارد سازندهای زمین‌شناسی را می‌توان به بخش‌های متفاوتی تقسیم نمود. مثلاً سازند میلا در البرز به پنج بخش و در ایران مرکزی به سه بخش تقسیم می‌شود. چنین تقسیم بندی هایی در مورد سازندهای شمشك, قم, آغاجاری, 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 می‌باشد در منطقه مشاهده نمی‌گردد که در این-حالت واحدهای مورد نظر بصورت تلفیقی یا گروهی در نظر گرفته می‌شوند.

در مرحله بعد برای بررسی تعداد زمین‌لغزش‌های رویداده در هر واحد یا سازند زمین‌شناسی از بانک اطلاعاتی زمین‌لغزشهای کشور استفاده گردیده است. در پنجره ۴ پرسشنامه‌های چهارصفحه‌ای این بانک(شکل ۱۴)، اطلاعات سازندهای درگیر لغزش به همراه جنس سنگ‌شناسی آنها به تفضیل آمده است. در هر پرسشنامه حداقل نام یك و حداکثر نام دو سازند گزارش شده است. در این فرم بر اساس گسترش و نحوه توزیع سطح لغزش در مصالح زیرسطحی، سازند و یا واحد زمین‌شناسی حساس مشخص گردیده است.

حساسیت سازندهای زمین‌شناسی به لغزش در ایران

جهت تعیین رده استعدادسازندها به زمین لغزش لازم است که تراکم لغزش‌های موجود در سازندهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. برای اینکار در ابتدا بر مبنای تقسیمات آقانباتی(۱۳۸۳) تمام سازندها و واحدهای زمین‌شناسی موجود در جدولی که شامل نام سازند یا واحد، سازند معادل، سنگ‌شناسی، خصوصیات سنگ‌شناسی، ضخامت، سن و در نهایت رده استعدادسازند به لغزش می‌باشد, گردآوری گردیده است(پیوست ۵).سپس با توجه به اطلاعاتی که از بانك‌اطلاعات زمین لغزش‌های کشور بدست آمده است میزان استعداداین سازندها به صورت حدودی تعیین گردیده است. مقایسه نتایج حاصله با طبقه بندی هایی که فوقاً به آنها اشاره گردید نشان می دهد طبقه بندی انجام شده توسط حائری و سمیعی(۱۳۷۶) نتیجه نسبتاً قابل قبولی را در زمینه گروه بندی لیتولوژی ارائه می نماید. بر این اساس در این مطالعه با مبنا گذاشتن طبقه بندی لیتولوژیکی مربوطه(که برای استان مازندران انجام شده است) وزن لیتولوژی ها ی دیگر در سایر مناطق ایران استخراج و سپس با استفاده از بانک اطلاعاتی تصحیح گردیده اند. نتیجه وزن‌دهی به سازندها به صورت کامل در پیوست ۵ آورده شده است.

شیب

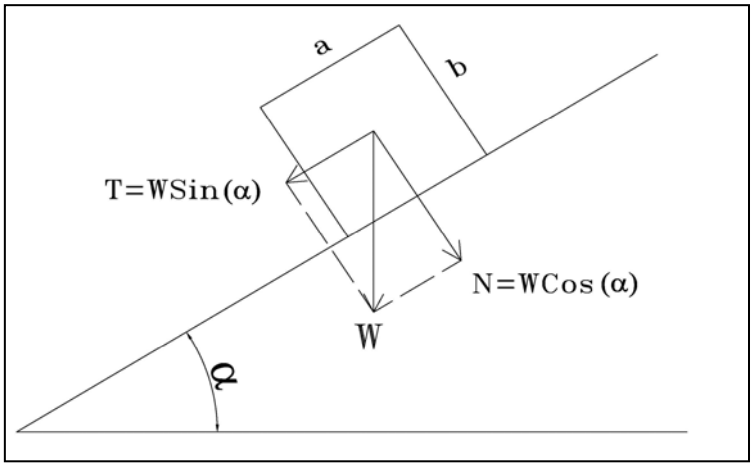
به لحاظ تئوری، همواره با افزایش شیب دامنه تنش برشی افزایش می‌یابد و به تبع آن انتظار می‌رود پتانسیل ناپایداری شیب افزایش یابد. در شکل ۳۶ دیاگرام آزاد بلوکی واقع بر روی یک سطح شیب‌دار با زاویه معین نمایش داده شده است. به طوریکه دیده می‌شود نیروی وزن(W) به دو مولفه نیروی برشی(T) و نرمال(N) تجزیه شده است.

$$N = WCos(\alpha) \qquad (۹)$$

$$T = WSin(\alpha) \qquad (۱۰)$$

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 دامنه هایی که لغزش در آنها رخ داده است(بانک اطلاعاتی زمین لغزشها) نیز قابل اثبات است. آنچه که در نتایج این بررسیها قابل تامل است کاهش زمین‌لغزش‌ها از میزان شیبی 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 دامنه های با شیب متوسط که از مصالح سست تشکیل شده اند بیشتر است. در عین حال دامنه های پرشیب و سنگی بر اساس تراکم و جهت دسته درزه ها، تمایل بیشتری به ایجاد ریزش دارند. این امر سبب میشود که چنانچه مجموعه لغزشها و ریزشها با هم تحت عنوان زمین لغزش مورد بررسی قرار گیرند، تعداد زمین لغزشها در این شیبها نیز نسبت به شیبهای ملایم تر ، بیشتر باشد.



شکل ۳۶: دیاگرام آزاد یک جسم بر روی سطح شیب‌دار با نیروهای وارد بر آن

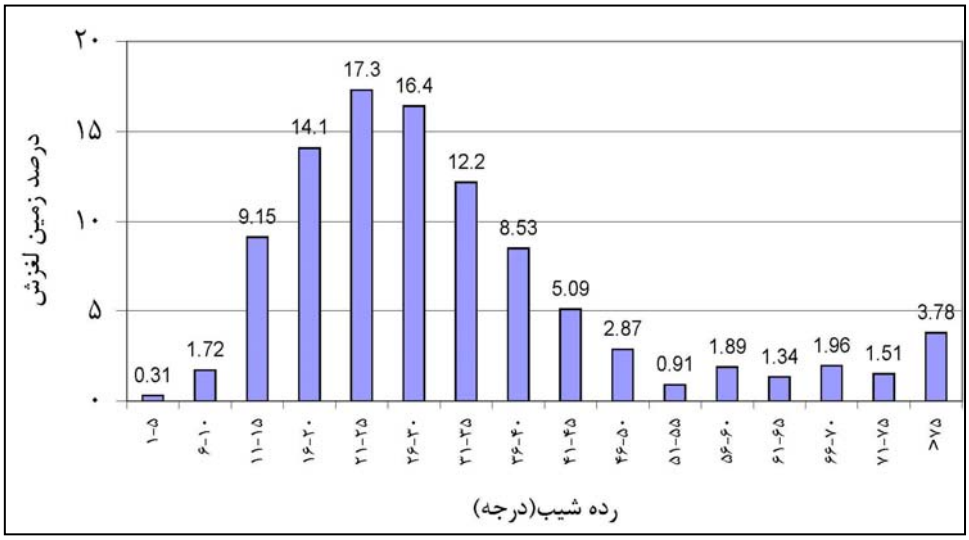
شیب در اکثر مطالعات پهنه بندی خطر زمین لغزش به عنوان یکی از مهمترین عوامل در نظر گرفته شده است. آنبالاگان(۱۹۹۲)، کومار و شاینا(۱۹۹۸)، آنبالاگان و همکاران(۱۹۹۲)، داکال و همکاران(۲۰۰۰)، تورینی و همکاران(۱۹۹۴)، و فرجزاده و منتظرقائم(۱۳۷۵) در مطالعات خود از رده-بندی شیب به صورت۱۵>، ۲۵-۱۵، ۳۵-۲۵، ۴۵-۳۵ و ۴۵< استفاده نمودند. برخی دیگر از طبقه‌بندی‌های انجام شده توسط سایر محققین در جدول ۱۵ آمده است.

جدول ۱۵: گروه بندی های شیب در مطالعات مختلف پهنه بندی

نام محققین	ردههای شیب					
سشاگیری و همکاران(۱۹۸۲)	۵<	۶-۱۵	۱۶-۲۵	۲۶-۳۵	۳۶-۵۵	>۵۵
چاکون و همکاران(۱۹۹۴)	۵<	۵-۱۵	۱۵-۲۵	>۲۵		
مهدویفر(۲۰۰۰)	۵<	۵-۲۵	۲۵-۴۵	>۴۵		
آینیو و همکاران(۲۰۰۵)	۵<	۵-۱۲	۱۲-۳۰	۳۰-۶۰	>۶۰	

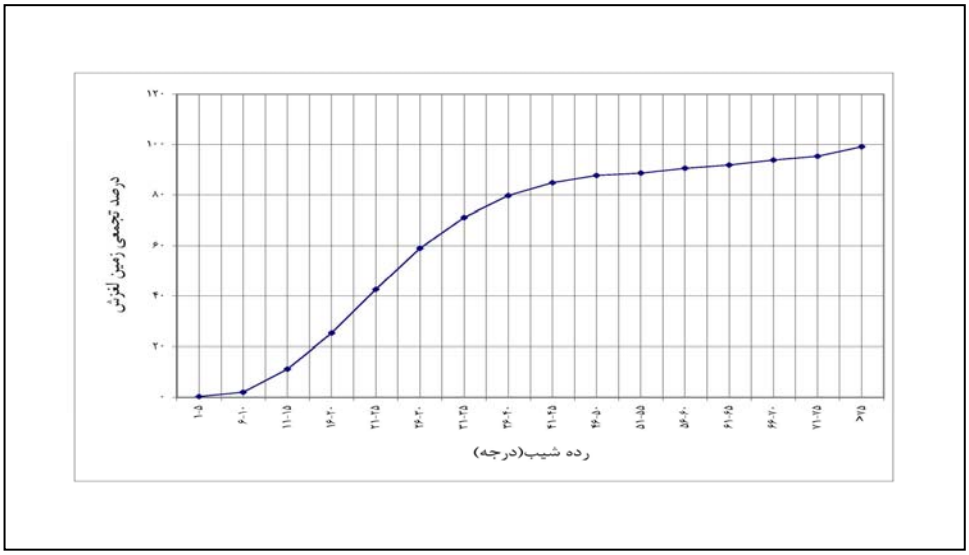
همچنین با استفاده از بانک اطلاعاتی زمین لغزشها آنالیز اولیه ای از ارتباط شیب دامنه ها با تعداد زمین لغزشها انجام گرفته است. در این ارتباط، با استفاده از مشخصات ۴۲۵۷ پرسشنامه، فراوانی زمین‌لغزش‌ها بر اساس رده‌های مختلف شیب(۵ درجه‌ای) استخراج و نمودار ستونی درصد فراوانی زمین‌لغزش در مقابل رده‌های شیب ترسیم گردیده است(شکل ۳۷). بر اساس این نمودار بیشترین تعداد زمین‌لغزشها(اعم از لغزش و ریزش) در محدوده شیب ۱۰ تا ۴۵ درجه(۸۲/۷۷ درصد) رخ داده است و در شیب‌های کمتر از ۵ و بیشتر از ۴۵ درجه کمترین تعداد زمین‌لغزش(۱۶/۲۹ درصد) به وقوع پیوسته است. به منظور رده‌بندی کلاس‌های شیب لازم است منحنی تجمعی درصد وقوع زمین‌لغزش در مقابل رده‌های مختلف شیب ترسیم گردد تا بر اساس شکست‌های منحنی حاصل، رده‌های مختلف شیب استخراج گردد. بر همین اساس و با استفاده از داده‌های بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های کشور نمودار مربوط ترسیم گردیده است(شکل ۳۸). بر اساس این نمودار، شیب به گروههای ۱۰>، ۱۵-۱۰، ۳۰-۱۵، ۴۵-۳۰ و ۴۵< تقسیم گردیده است.

در این مطالعه با توجه به مطالب فوق رده‌بندی کلاس‌های شیب به شکلی که در جدول ۱۶ آمده است، انجام گرفته است. درصد زمین لغزشهای رخ داده در هر یک از گروههای مذکور در جدول ۱۶، بر اساس بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور، در شکل ۳۹ ارائه شده است. همانطور که در شکل نشان داده شده است طبقه بندی



انجام شده برازش خوبی با زمین لغزشهای موجود درکشور دارد.

شکل ۳۷: نمودار ستونی درصد فراوانی زمین‌لغزش در مقابل رده‌های مختلف شیب(بر اساس بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های کشور)



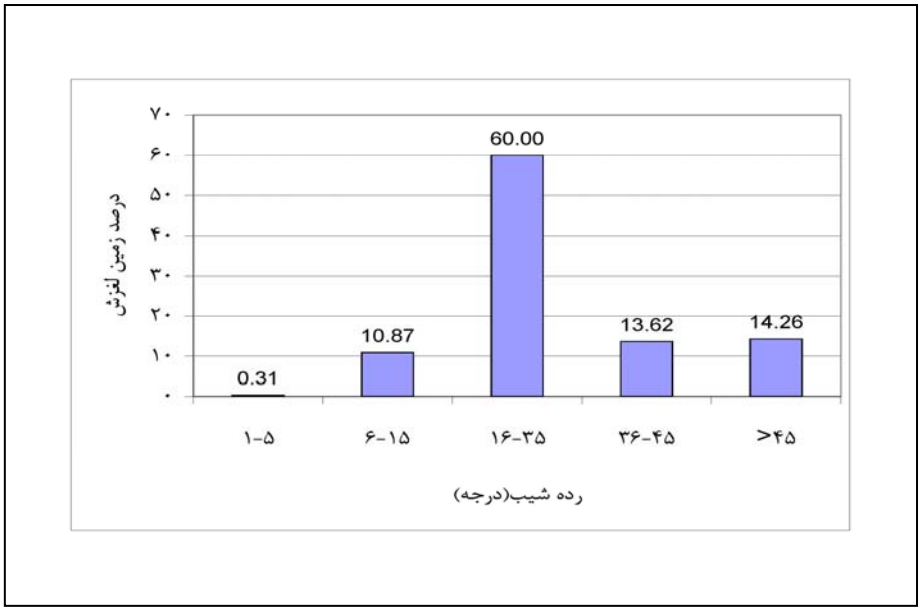
شکل ۳۸: نمودار تجمعی درصد وقوع زمین‌لغزش در مقابل رده‌های مختلف شیب(بر اساس بانک اطلاعات زمین‌لغزش‌های کشور)

چنانچه بر اساس شکل ۳۹ به گروههای مختلف شیبی وزن داده شود بایستی گروه ۱۶ تا ۳۵ درجه بیش از سایر گروهها وزن بگیرند. ولی بایستی به این نکته توجه نمود که بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور بیشتر بر لغزشهای پیوسته(Coherent) تاکید داشته است و کمتر مشخصات لغزشهای گسسته(Distrupted)، مانند ریزشها در آن وارد شده است. این موضوع با توجه به اینکه ریزشها اغلب در شیبهای تند اتفاق می افتند حائز اهمیت است. در نتیجه چنانچه پهنه بندی فقط برای لغزشهای پیوسته صورت گیرد طبق بانک اطلاعاتی بایستی به شیبهای ۱۶ تا ۳۵ درجه بیش از سایر شیبها وزن اختصاص داده شود. ولی از آنجاییکه در این مطالعه هدف انجام پهنه بندی خطر برای کلیه زمین لغزشها اعم از پیوسته و گسسته است وزن دهی نامنظم برای شیب نتیجه خوبی را ارائه نخواهد کرد.

با توجه به موارد فوق در این مطالعه نیز همانند سایر مطالعات به شیب به صورت صعودی وزن داده شده است به عبارتی دیگر فرض شده با بالا رفتن میزان شیب، پتانسیل زمین لغزش بالا می رود(شکل ۳۹).

جدول ۱۶: رده‌بندی شیب جهت استفاده در تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش

رده شیب	درصد زمین‌لغزش	وزن در هر رده
<۵	۰/۳۱	فیلتر می-شود
۵-۱۵	۱۰/۸۷	۴
۱۶-۳۵	۶۰	۶
۳۶-۴۵	۱۳/۶۲	۸
>۴۵	۱۴/۲۶	۱۰



شکل ۳۹: نمودار ستونی درصد فراوانی زمین‌لغزش در مقابل رده‌های مختلف شیب(بر اساس ا بانک اطلاعات زمین‌لغزش-های ایران)

جهت شیب:

جهت شیب از جمله عوامل ذاتی است که به طور غیر مستقیم منعکس‌کننده تاثیر لایه‌هایی مانند ضخامت خاک، پوشش گیاهی، رطوبت و . . . می‌باشد. بنابراین استفاده از این لایه، می تواند تا حد زیادی در پهنه بندی مثمر ثمر واقع گردد. مطالعات مختلفی در ارتباط با چگونگی تاثیر جهت شیب در زمین لغزش انجام گرفته است که در زیر به برخی از آنها اشاره می گردد.

براساس مطالعات لان[۱۹] و همکاران(۲۰۰۴) در حوزه آبخیز ژیاوجیانگ[۲۰] کشور چین، فراوانی زمین-لغزش توسط جهت شیب کنترل می‌شود. در این مطالعه، ثابت شده است، دامنه‌های رو به سایه شامل دامنه-های شمال غربی و شمالی، دارای بیشترین درصد سطحی زمین‌لغزش می‌باشند. این دامنه‌ها دارای دمای خاک پایین، رطوبت خاک بالا، پوشش ضخیم خاک درجا و کوهرفتی، پوشش گیاهی انبوه و فرسایش ورقه-ای 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 ۱۷ است.

مطالعات چاکون و همکاران(۱۹۹۴) نیز نشان می‌دهد که جهات شیب به سمت شمال به دلیل رطوبت بالاتر، دارای استعدادبیشتری نسبت به سایر جهات دامنه‌ها، به حرکات دامنه‌ای می‌باشند.

جدول ۱۷: وضعیت گسترش حرکات دامنه‌ای در جهات مختلف شیب در منطقه هیمالایا

[19] - Lan

[20] - Xiaojiang Watershed

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

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 زمین لغزشهای بیشتری هستند. دامنه-های رو به جنوب در این حوزه به دلیل حداکثر جذب انرژی و حداقل آب باقیمانده در خاک کمترین تعداد حرکت توده‌ای را در برگرفته اند.

جعفری و همکاران(۱۳۷۸) در پهنه بندی خطر زمین لغزش استان لرستان و سفیدگری(۱۳۸۱) در پهنه بندی حوزه آبخیز دماوند نیز به نتایج تقریبا مشابهی در زمینه استعداد بیشتر دامنه های شمالی در ایجاد زمین لغزش دست یافته اند. 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 زمین لغزشها در دامنه های جنوبی بوده است.

در این مطالعه، علاوه بر مرور منابع فوق، اقدام به تحلیل اطلاعات موجود در بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور گردیده که طی آن تاثیر جهت شیب بر وقوع ۴۱۴۳ زمین لغزش رخ داده در ایران بررسی گردیده است. نتایج این تحلیل به تفکیک اقلیمهای مختلف در جدول ۱۸ منعکس شده است. همانگونه که در جدول مشاهده می‌شود در اقلیم A(ناحیه خزری) تقریباً ترتیبی منطقی در پراکنش زمین‌لغزش‌ها در جهات دامنه‌ای مختلف وجود دارد. در این اقلیم دامنه‌های شمالی، غربی، شرقی و جنوبی به ترتیب نزولی تعداد زمین لغزش مرتب شده‌اند. در سایر اقلیم‌ها نیز دامنه‌های شمالی دارای بیشترین تعداد زمین‌لغزش می‌باشند ولی روند نزولی آنها با اقلیم A اندکی متفاوت است. این تفاوت می تواند ناشی از کمتر شدن تاثیر جهت شیب نسبت به سایر پارامترها باشد.

با توجه به موارد فوق جهت شیب را می توان یکی از لایه‌های مهم و تاثیرگذار در پهنه‌بندی خطر زمین-لغزش به شمار آورد. این لایه به طور غیرمستقیم منعکس‌کننده نقش رطوبت، پوشش گیاهی و . . . در وقوع زمین‌لغزش‌ها می‌باشد. در دامنه‌های رو به آفتاب(جنوبی) به دلیل مدت زمان بیشتر تابش نور خورشید برف زودتر ذوب می‌گردد و 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 می-باشند.

جدول ۱۸: تعداد زمین‌لغزش در جهات دامنه‌ای مختلف طبق نتایج مستخرج از بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور

منطقه اقليمي (تحليل عاملي)	جهت دامنه لغزشي			
	شمال	شرق	جنوب	غرب
A	۵۲۵	۲۹۹	۲۸۶	۳۲۳
B	۳۳۴	۱۸۳	۱۱۳	۱۴۸
C	۴۵۵	۴۰۸	۴۱۷	۲۸۵
D	۱۳	۱۲	۱۰	۳
E	۱۰۰	۷۴	۴۴	۴۴
F	۲۷	۱۰	۱۱	۸
کل	۱۴۵۷	۹۸۷	۸۸۴	۸۱۵

به طور کلی چنانچه بخواهیم جهات مختلف شیب را بر اساس تعداد لغزشهای رخ داده در آنها طبقه بندی کنیم بیشترین درصد وقوع زمین‌لغزش در شیب‌های شمالی خواهد بود. شیب‌های شمال غربی با تاثیر بیشتر و شیب‌های شمال شرقی با تاثیر کمتر را نیز می‌توان در وقوع 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، خشکتتر بوده و پتانسیل کمتری را جهت وقوع لغزش دارند.

جدول ۱۹ امتیازات پیشنهادی به گروههای مختلف جهت شیب می باشد که بر اساس نتایج فوق ارائه گردیده است.

جدول ۱۹: رده‌بندی جهات شیب و وزن هر کدام در وقوع زمین‌لغزش

ردیف	جهت شیب	وزن
۱	شمال	۱۰
۲	غرب	۸
۳	شرق	۶
۴	جنوب	۴
۵	مسطح	۰

گسل و تاقدیس

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

گسل‌ها از دو نظر میتوانند برایجاد زمین لغزش موثر باشند: اول اینکه منشا زلزله ها محسوب شده و در صورت وقوع زلزله، دامنه های نزدیک به آنها بیش از دامنه های دورتر انرژی زلزله را دریافت کرده و درنتیجه شانس بیشتری برای گسیختگی دارند؛ از طرفی گسل عاملی در جهت خرد شدگی سنگها است. به عبارتی دیگر مسیری که گسل از آن می گذرد دارای سنگهای ضعیفتری نسبت به سایر مناطق است. درنتیجه وجود این ناپیوستگی موجب کاهش مقاومت برشی دامنه و آمادگی بیشتر دامنه جهت ناپایداری می گردد.

گسل از جهات دیگر نیز می تواند بر ایجاد زمین لغزش موثر باشد که از آن جمله می توان به نفوذ آب بیشتر به داخل مناطق خردشده، قرار دادن واحدهای زمین‌شناسی با نفوذپذیری یا مقاومت متفاوت در کنار یکدیگر و فراهم نمودن سطحی ضعیف برای لغزش (در صورت جهت‌یافتگی مناسب) اشاره نمود.

محور تاقدیس ها نیز به عنوان مسیری که سنگها را در معرض کشش و خرد شدگی قرار می دهند می توانند مانند گسل نقشی ضعیف کننده را در دامنه ایفا نمایند.

در ارتباط با نقش گسل در پهنه‌بندی مطالعات زیادی انجام گرفته که در اینجا به دو نمونه از آنها اشاره می‌گردد:

روش اول: طول گسل در شبکه‌هایی با ابعاد مشخص و در مقیاس‌های متفاوت اندازه گیری می شود. این روش توسط حوزه اداری کاناگاوا(۱۹۸۶) در ژاپن و در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ ودر شبکه‌هایی به ابعاد ۵۰۰*۵۰۰ بر اساس مطالعات موردی گسیختگی‌های دامنه‌ای که بر اثر رخداد سه زلزله بزرگ در ژاپن اتفاق افتاده، پیشنهاد گردیده است (جدول شماره ۲۰).

جدول ۲۰: امتیاز عامل طول گسل توسط حوزه اداری کاناگاوا(۱۹۸۶)

ردیف	طول گسل به متر	وزن
۱	گسل وجود ندارد	۰
۲	۰~۲۰۰	۰/۲۳۸
۳	۲۰۰ ~	۰/۸۴۵

در ایران نیز کارشناسان مختلفی از این روش استفاده کرده‌اند که از آن جمله می توان به مطالعات حائری و همکاران(۱۳۷۶) در پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش استان مازندران درمقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ اشاره نمود.(جدول شماره ۲۱)

جدول ۲۱: وزن دهی به طول گسل در یك واحد مربعی به ضلع ۲/۵کیلومتر (حائری و همکاران، ۱۳۷۶)

طول گسل(متر)	چگونگی تأثیر در ناپایداری	ضریب
‹۳۵۰	کم	۱
۳۵۰-۱۰۵۰	نسبتاً کم	۲
۱۰۵۰-۱۷۵۰	متوسط	۳
۱۷۵۰-۲۴۵۰	نسبتاً زیاد	۴
›۲۴۵۰	زیاد	۵

سیارپور(۱۳۷۸) نیز در پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ از شبکه‌های با ابعاد ۵۰۰*۵۰۰ استفاده نموده است(جدول شماره ۲۲).

جدول ۲۲: چگونگی تأثیر طول گسل‌ها در بروز ناپایداری دامنه‌های منطقه(سیارپور ۱۳۷۸)

طول گسل(بر حسب متر)	امتیاز طول گسلPf
‹۷۰	۱
۷۰-۲۱۰	۲
۲۱۰-۳۵۰	۳
۳۵۰-۴۹۰	۴
›۴۹۰	۵

روش دوم: در برخی از مطالعات به جای تراکم گسل از فاصله از گسل برای وزن دهی استفاده کرده اند(مانند پاچوری-پنت،۱۹۹۲)(جدول شماره ۲۳).

جدول ۲۳:چگونگی تأثیر فاصله از گسل در بروز ناپایداری دامنه‌ها(پاچوری-پنت، ۱۹۹۲)

ردیف	فاصله دامنه از گسل(Km)	رده اهمیت	وزن	رده نهایی
۱	۰-۲	۴	۱۰	۴۰
۲	۲-۴	۳		۳۰
۳	۴-۶	۲		۲۰
۴	۶-۸	۱		۱۰
۵	›۸	۰		۰ *

در رابطه با چگونگی در نظر گرفتن چین‌خوردگی‌ها نیز مطالعاتی انجام شده است. در هند کامور و سینها(۱۹۹۸) در پهنه‌بندی منطقه جوشیمات_جلام هیمالیا ، پلانژ چین‌ها(رابطه بین ناپیوستگی‌های ساختاری و جهت شیب) را وارد مطالعات خود نموده اند.(جدول شماره ۲۴)

جدول ۲۴: چگونگی تأثیر ارتباط ناپیوستگی‌ها وجهت شیب درناپایداری‌های دامنه‌ای(کامور و سینها ۱۹۹۸)

وزن کلاس‌ها	وزن	کلاس	زاویه بین پلانژ و خط افق	توضیحات
۱۵	۱۵	۱	۰-۱۵	وقتی جهت شیب سطح نا پیوستگی در جهت دامنه باشد
۳۰		۲	۱۶-۲۵	
۴۵		۳	۲۶-۳۵	
۶۰		۴	۳۶-۴۵	
۷۵		۵	›۴۵	
۱۵		۱	›۴۵	وقتی جهت شیب سطح ناپیوستگی در خلاف شیب باشد
۳۰		۲	۳۶-۴۵	
۴۵		۳	۲۶-۳۵	
۶۰		۴	۱۶-۲۵	
۷۵		۵	۰-۱۵	

در ژاپن راگاوان و همکاران (۲۰۰۴) فاصله از محور تاقدیس را به عنوان یك لایه در نظر گرفته‌اند ودر ترکیه نیز ارکان‌اوغلو و همکاران(۲۰۰۳) فاصله از عناصر ساختاری را ملاك عمل قرار داده‌اند.

از آنجاییکه در این مطالعه تاثیر زلزله به صورت جداگانه در پهنه بندی در نظر گرفته شده است ، بیشتر به تاثیر گسل در خرد شدگی سنگها توجه شده است. بدیهی است برای در نظر گرفتن این پارامتر تراکم گسل نتیجه منطقی تری از فاصله از گسل ارائه می نماید. از آنجاییکه هدف از وارد کردن عامل محور تاقدیس ها نیز تاثیر آن در خرد شدگی لایه هاست مورد ذکر شده برای گسل، برای این پارامتر نیز صادق است. بنابراین در این مطالعه اولاً به دلیل تاثیر گذاری مشابه، گسل و محور تاقدیس همراه با هم در نظر گرفته شده اند و ثانیاً بنابر دلایل فوق از تراکم آنها جهت پهنه بندی استفاده شده است. با توجه به موارد فوق جدول ۲۵جهت گروه بندی و امتیاز دهی به زیر گروههای عامل گسل و محور تاقدیس معرفی می گردد.

جدول ۲۵: تأثیر تراکم گسل و محور تاقدیس بر روی ناپایداری دامنه‌ای(با توجه به روش حائری)

تراکم گسل و محور تاقدیس(کیلومتر بر کیلومتر مربع)	چگونگی تأثیر در ناپایداری	ضریب
‹۰,۱۱	بسیار کم	۱
۰,۱۱_۰,۳۴	کم	۳
۰,۳۴_۰,۵۶	متوسط	۵
۰,۵۶_۰,۷۸	زیاد	۷
›۰,۷۸	بسیار زیاد	۹

متوسط بارندگی سالیانه

کمپل(۱۹۷۵) در مطالعه جریان‌های واریزه‌ای کالیفرنیای جنوبی، بارش بیش از ۲۵۴ میلیمتر و شدت بارندگی ۶,۳۵ میلیمتر در ساعت را بعنوان حداقل میزان بارشی خارج از توان زهکشی خاك 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.

در ایران بارش مهمترین پارامتراقلیمی در وقوع زمین لغزش محسوب می شود. تاثیر این پارامتر اقلیمی، هم در شرایط معمول و هم در شرایط غیرمتعارف اقلیمی و آستانه های حداکثر پدیدار می گردد. با توجه به شرایط اقلیمی کشور ایران ، شاخص های بارش در نواحی اقلیمی ایران بسیار متفاوت بوده و میزان بارشی که برای مناطق مرطوب و معتدل شمالی کشور مرز خشکسالی است، برای نواحی بیابانی و گرم، آستانه ترسالی محسوب می گردد و آستانه بارش برای وقوع زمین لغزش در مناطق خشك پائین تر از مناطق مرطوب و معتدل می باشد. علاوه بر این در مناطق مرطوب، افزایش بیش از اندازه میزان بارش با وقوع زمین لغزش رابطه خطی ندارد.

در این تحقیق؛ با تعیین سه پارامتر حداکثر، میانگین و حداقل مجموع بارش سالیانه در هر ناحیه اقلیمی، امتیاز و کلاس بندی میزان متوسط بارش سالیانه در وقوع زمین لغزش به تفکیك نواحی اقلیمی تحلیل عاملی انجام گردیده است. امتیازهای میزان مجموع بارش سالیانه با توجه به شاخص‌های فوق‌الذکر به پنج گروه تقسیم شده اند. سپس به گروههای مذکور در هر اقلیم، امتیاز ۱، ۳، ۵، ۷ و ۹ به ترتیب برای کمترین تا بیشترین گروه موثر در وقوع زمین‌لغزش تخصیص داده شده است. در این تقسیم‌بندی که از حدود قلمرو نواحی اقلیمی خشك و نیمه خشك جهان تبعیت می کند، امتیاز ۱ به مناطقی داده شده است که در مرز یا پائین تر از شاخص حداقل سالیانه بارش ناحیه اقلیمی قرار دارند و امتیاز ۹ به مناطقی تعلق گرفته است که در حد نزدیکی به شاخص حداکثر بارش سالیانه ناحیه اقلیمی واقع شده باشند. محدوده کلاس های نواحی مختلف اقلیمی طوری تعیین شده اند که کسب امتیازات بالای ۷ و ۹ در تمام نواحی اقلیمی با افزایش بیش از حد میانگین بارش سالیانه هر ناحیه اقلیمی امکان پذیر باشد. جدول ۲۶ محدوده گروه های بارش و نحوه امتیازدهی به هریك از نواحی اقلیمی را نشان می دهد.

زلزله

در سال ۱۹۸۴ کیفر مطالعات جامعی را در ارتباط با زمین لغزشهای ناشی از زلزله با استفاده از داده های حاصل از ۴۰ زلزله در سراسر دنیا انجام داده است. در این مطالعه، حداقل شدت زلزله لازم برای

ایجاد ریزشها و لغزشها (بر اساس زلزله های مطالعه شده) به ترتیب IVو V می باشد. طبق این مطالعات محتملترین نوع لغزش در زلزله ها ریزشها هستند، که در حرکتهای ضعیف زمین نیز ایجاد میشوند.

نتایج مطالعات کیفر در این پروژه اهمیت زیادی دارد زیرا میتواند به عنوان مبنایی جهت وزن دهی به عامل زلزله(در مناطقی که نقشه هم شدت آن تهیه شده است) بکار رود. برای استفاده از این مطالعه بایستی با استفاده از روابط تجربی موجود شدتهای بیان شده توسط کیفر را به بیشینه شتاب افقی زمین(PGA) تبدیل نمود زیرا نقشه هایی که معمولا جهت تعیین خطر زلزله تهیه می شوند نه بر مبنای شدت، بلکه بر مبنای PGA می باشند؛ در این مطالعه برای تبدیل این دو پارامتر از رابطه مدودف(۱۹۶۲) استفاده شده است:

$$a = 0.8 \times 2^{I} \qquad (۱۱)$$

که در آن a مقدار PGA بر حسب متر بر مجذور ثانیه و I شدت مرکالی می باشد. بر اساس همین معادله، مقادیر PGA معادل شدت های مختلف، محاسبه و در جدول ۲۷ آمده است.

در بسیاری از نقشه های پهنه بندی خطر زلزله، به جای منحنی های هم شتاب از محدوده های هم خطر استفاده شده است. در این نقشه ها شتاب معادل درجات خطر در راهنمای نقشه قید گردیده است. به عنوان مثال در نقشه تهیه شده توسط برنامه جهانی ارزیابی خطر زلزله[21] (GSHAP) محدوده خطرات مختلف زلزله به چهار دسته خیلی پایین، متوسط، زیاد، و خیلی زیاد تقسیم گردیده است. محدوده PGA تعریف شده برای هر یک از این گروهها نیز در جدول ۲۷ آمده است. همانطور که در این جدول ملاحظه می گردد محدوده های مذکور با توجه به رابطه (۱۱) قابل تبدیل به شدت می باشند.

برای وزن دهی به محدوده های مختلف خطر زلزله به منظور پهنه بندی خطر زمین لغزش مطالعات متعددی انجام گرفته است که چندین نمونه آن در راهنمای پهنه بندی خطرات ژئوتکنیک لرزه ای (TC4, 1993) آمده است. یکی از مطالعات معروف در این زمینه مطالعات مربوط به مورا و وارسون (۱۹۹۴) می باشد که قبل از چاپ مقاله اصلی، بخشهایی از آن به عنوان الگویی جهت پهنه بندی های خطر زمین لغزش، در راهنمای مذکور آورده شده است. پارامتر تعیین شده جهت درنظر گرفتن تاثیر زلزله در زمین لغزش در این مطالعه ، شدت زلزله در مقیاس مرکالی می باشد. وزنهای در نظر گرفته شده برای شدت های مختلف در مطالعه مورا و وارسون(۱۹۹۴) در جدول ۲۷ آمده است.

همانگونه که در جدول ۲۷ مشاهده می شود وزن دهی ارائه شده توسط مورا و وارسون(۱۹۹۴) با نتایج مطالعات کیفر (۱۹۸۴) در درجات پایین شدت قابل مقایسه نیست. زیرا مورا و وارسون برای شدت III (که طبق مطالعات کیفر، ۱۹۸۴احتمال ریزش در آن بسیار پایین است) نیز وزن در نظر گرفته اند. با توجه به موارد فوق وزن دهی های مورا و وارسون (۱۹۹۴) در این مطالعه بازنگری و در جدول ۲۷ آورده شده است.

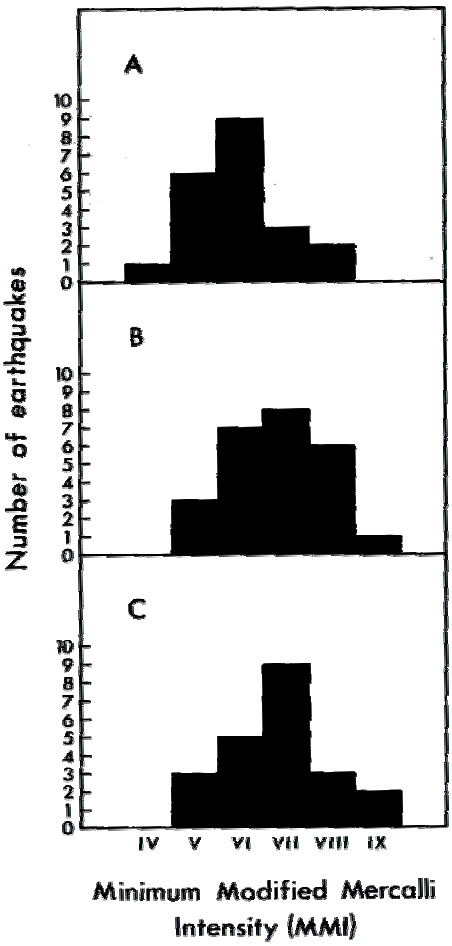
نقشه خطر زمین لرزه مورد استفاده در کارهای عمرانی ایران، نقشه موجود در آیین نامه ۲۸۰۰ به مقیاس ۱:۲،۵۰۰،۰۰۰ (تهیه شده توسط رمضی و دیگران، ۱۳۷۸) می باشد این نقشه دارای ۴ سطح خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط و کم است که PGA معادل آنها به ترتیب ۰,۳۵، ۰,۳۰،۰,۲۵ و ۰,۲۰ شتاب جاذبه زمین می باشد. این محدوده ها بعد از تغییر واحد در جدول ۲۷ ذکر و معادل شدت آنها استخراج و وزن دهی شده اند. همچنین گروههای مختلف خطر زلزله در GSHAP نیز با توجه به شدتهای معادل آنها وزن دهی و در ستونی مجزا در جدول آورده شده است. لازم به ذکر است چنانچه محدوده خطرات در نقشه های مورد استفاده با آنچه که در این جدول آمده متفاوت باشد میتوان با توجه به شتابهای معادل هر گروه و وزنهای ارائه شده در ستون مربوطه، وزنهای مناسب را استخراج نمود.

---

[21] **Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP)**

جدول ۲۶: امتیاز کلاس های بارش در نواحی اقلیمی (تحلیل عاملی)

نام ناحِیه و زیرناحیه های اقلِیمِی	میانگین بارش سالانه (میلیمتر)	حداکثر بارش سالیانه(mm)	حداقل بارش سالیانه(mm)	گروه یک (امتیاز ۱)	گروه دو (امتیاز ۳)	گروه سه (امتیاز ۵)	گروه چهار (امتیاز ۷)	گروه پنج (امتیاز ۹)
A - مرطوب و معتدل – خزری	۱۱۸۰٫۶	۱۸۱۸٫۷	۶۱۰	۳۰۰>	۳۰۰–۷۰۰	۷۰۰–۱۰۰۰	۱۰۰۰–۱۲۰۰	۱۲۰۰<
A1- خیلی مرطوب و معتدل	۱۴۶۷٫۶							
A2- مرطوب و معتدل	۷۵۰٫۲							
B - نیمه خشک	۲۶۴٫۸	۳۴۶	۱۸۸٫۹	۱۵۰>	۱۵۰–۲۵۰	۲۵۰–۳۵۰	۳۵۰–۴۵۰	۴۵۰<
B1- زیرناحیه نیمه خشک سرد	۳۰۹٫۶							
B2- زیرناحیه نیمه خشک گرم	۱۹۷٫۵							
C - کوهستانی- زاگرس	۳۹۷٫۵	۵۱۲٫۹	۲۸۳٫۳	۲۰۰>	۲۰۰–۳۰۰	۳۰۰–۴۰۰	۴۰۰–۵۰۰	۵۰۰<
C1-نیمه مرطوب معتدل	۴۹۴٫۱							
C2-کوهستانی سرد	۳۷۶٫۴							
C3- نیمه کوهستانی سرد	۳۹۴٫۵							
D - بیابانی خیلی گرم – ساحلی	۱۴۶٫۵	۱۷۱٫۴	۱۱۶٫۵	۱۰۰>	۱۰۰–۲۰۰	۲۰۰–۲۵۰	۲۵۰–۳۰۰	۳۰۰<
E - بیابان معتدل تا شدید خیلی گرم	۱۰۷٫۳	۲۲۹٫۹	۵۷٫۷	۱۰۰>	۱۰۰–۲۰۰	۲۰۰–۲۵۰	۲۵۰–۳۰۰	۳۰۰<
E1-بیابانی معتدل	۱۷۱٫۲							
E2-بیابانی شدید و خیلی گرم	۸۶							
F - بیابانی نیمه گرم تا گرم	۱۹۲	۳۸۴	۷۸٫۹	۱۰۰>	۱۰۰–۲۰۰	۲۰۰–۲۵۰	۲۵۰–۳۰۰	۳۰۰<
F1-بیابانی نیمه گرم: داخلی	۱۱۷٫۸							
F2- بیابان گرم: ساحلی	۳۴۷٫۶							



شکل ۴۰: حداقل شدت مرکالی اصلاح شدهٔ زلزله ها ی مطالعه شده توسط کیفر(۴۰ زلزله از کل دنیا) که در اثر آنها زمین لغزش رخ داده است.

ارتفاع ستونها ، نمایانگر تعداد زلزله هایی است که وقوع زمین لغزش از شدتهای مربوطه شروع شده است. حداقل شدتها با مقایسه نقشه های پراکنش زمین لغزشها با نقشه های هم شدت 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).

راه و رودخانه

عوارض خطی مانند راه و رودخانه عمدتا با تضعیف نیروی مقاومتی دامنه ها باعث کاهش ضریب اطمینان در شیب های طبیعی گردیده و درنتیجه پتانسیل ناپایداری را افزایش می دهند. احداث راه در مناطق کوهستانی معمولا از شرایط ریخت شناسی و توپوگرافی منطقه تبعیت می نماید. مناسبترین مسیرهای پیش بینی شده برای راهسازی غالبا در خط القعر و در امتداد رودخانه در نظر گرفته می شود. در این مسیر ها معمولا جاده در ترازی حدود چند متر بالاتر از رودخانه ساخته می شود. 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 دامنه ها برداشته شده و در نتیجه وضعیت تعادلی موجود در شیب های مشرف به جاده برهم خورده و زمینه وقوع انواع حرکات دامنه ای افزایش می یابد. در طول فواصلی از راه های درجه یک کوهستانی، برای تثبیت دامنه ها، پس از ترانشه زنی و کوهبری اقدام به احداث دیوار حائل می گردد که این امر مستلزم هزینه زیادی است. با احداث دیواره های نگهبان، گابیون، زهکش ها و غیره، پتانسیل ناپایداری در بسیاری موارد کاهش یافته ولی در بعضی موارد بدلیل طرح و اجرای نادرست و یا عدم پیش بینی موارد پیشگیری، ناپایداری تشدید می گردد(حائری و سمیعی ۱۳۷۶).

در محورهای درجه ۲ و ۳ که معمولا راه ارتباطی بین شهرهای کوچک و روستاها بوده و از اهمیت کمتری برخوردارند پس از حفر ترانشه و کوهبری، بدلیل هزینه سنگین، بندرت اقدام به احداث دیوار حائل یا بکارگیری دیگر روش ها جهت پایدار نمودن شیب ها می شود(حائری و سمیعی ۱۳۷۶). بدین جهت غالبا در این محورها شاهد وقوع انواع زمین لغزش ها می‌باشیم.

جدول ۲۷: ارتباط PGA و شدت اصلاح شده مرکالی ، محدوده گروههای مختلف خطر زلزله، و وزن دهی پیشنهادی در این مطالعه

وزن دهی پیشنهادی در این مطالعه برای شدت	وزن دهی بر اساس مطالعات مورا و وارسون(۱۹۹۴)	شدت برحسب مقیاس اصلاح شده مرکالی	وزن دهی پیشنهادی در این مطالعه برای گروههای خطر	محدوده خطر بر اساس مطالعات GSHAP	وزن دهی پیشنهادی در این مطالعه برای گروههای خطر	محدوده خطر بر اساس آیین نامه ۲۸۰۰	$PGA(m/s^2)$
-	-	I	2	پایین	3	پایین	0.03
-	-	II					0.06
-	1	III					0.1
1	2	IV					0.2
2	3	V					0.4
3	4	VI					0.8
4	5	VII	5	متوسط			1.6
5	6	VIII					2.2
					6	متوسط	2.4
							2.7
		IX	6	زیاد			3.2
		X					4
					7	زیاد	4.8
6	7	XI			8	خیلی زیاد	
		XII	8	خیلی زیاد			
7	8						
8	9						
10	10						

موارد فوق و همچنین تجربیات و آمار موجود در رابطه با وقوع زمین لغزش در هنگام نوسازی و تعریض جاده ها در سالهای اخیر، نشان دهنده لزوم بکارگیری و استفاده از این فاکتور در مطالعات پهنه بندی خطر زمین لغزش می باشد. باید در نظر داشت که نحوه و چگونگی استفاده از این فاکتور با توجه به مقیاس نقشه مورد نظر و مدل بکارگرفته شده متفاوت خواهد بود.

آب های جاری نیز یکی از عوامل افزایش استعداد ناپایداری در دامنه ها بشمار می روند. بر اثر جریان آب رودخانه ها، حفر و فرسایش در دره ها صورت می پذیرد که اولا باعث شسته شدن مصالح پای شیب ها در دو سوی رودخانه شده و ثانیا موجب افزایش زاویه شیب دامنه ها گشته و عامل نگهدارنده را از پای دامنه ها حذف می نماید. رودخانه در مسیر خود دره هایی حفر می‌کند که معمولا 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 می گردد.

شیب : هرچه شیب بیشتر باشد توان فرسایشی رودخانه افزایش می یابد.

نوع سنگ بستر: قدرت تخریب و حفر رودخانه در سنگ بستر نرم بیشتر از سنگ سخت است.

تکتونیک و ایزوستازی: برخاستگی هر پهنه باعث می شود که سطح اساس رودخانه نسبت به حالت تعادلی اولیه خود پایین تر رفته و حفر بیشتری صورت پذیرد.

همچنین بر اثر وجود فشار متفاوت آب در دو طرف رودخانه، آبکند یا مئاندر ایجاد می شود. این فرآیند در قسمت کوژ مئاندر باعث حفر و فرسایش شده و عامل نگهدارنده را از پای شیب بر می دارد که در این

حالت استعداد لغزش افزایش می یابد. رودخانه های اصلی با جریان پایه دائم، بدلیل داشتن توان و انرژی فراوان و دائمی، از قدرت بیشتری جهت تخریب دامنه ها و ایجاد رمین لغزش برخوردار بوده و بهمین دلیل غالب زمین لغزش ها در کنار رودخانه ها اتفاق می افتند. بطور کلی رودخانه ها بدلیل شرایط مورفولوژیکی و شکل طبیعی، کانال های طبیعی هدایت آب می باشند. 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.

علاوه بر مطالب ذکر شده در بالا، شواهد بسیار دیگری حاکی از نقش رودخانه ها در ایجاد زمین لغزش ها می باشد. به همین دلیل در مطالعات مربوط به زمین لغزش ها در نظر گرفتن لایه رودخانه بسیار لازم و ضروری است.

در ایران حائري و سميعي (۱۳۷۶) دو عامل طول راه – رودخانه را براي استفاده در مقياس ۱:۲۵۰۰۰۰ در ۵ کلاس به شکلی که در جدول ۲۸ آورده شده است، مورد استفاده قرار داده اند.

جدول ۲۸: طبقه بندی عامل راه و رودخانه برای کاربرد در پهنه بندی منطقه ای(حائری و سمیعی، ۱۳۷۶)

طول رودخانه بعلاوه نيمي از طول راه (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	کیفیت کلاس	ضریب
< ۰,۱۱۲	کم	۱
۰,۱۱۲ – ۰,۳۳۶	نسبتا کم	۳
۰,۳۳۶ – ۰,۵۶	متوسط	۵
۰,۵۶ – ۰,۷۸۴	نسبتا زیاد	۷
۰,۷۸۴>	زیاد	۹

از آنجاییکه ساز و کار تاثیر عامل رودخانه و راه در ناپایداری دامنه ها مشابه می باشد لذا مي توان میزان تاثیرات این دو عامل را در مقیاس ناحیه اي بطور یکجا در نظر گرفت. باید توجه داشت تاثیر راه، برعکس رودخانه، فقط محدود به دامنه‌هایی است که بر روی آن احداث شده و بر روی دامنه مقابل تاثیری نمی گذارد لذا در این روش نصف طول راه در نظر گرفته می شود.

جمع بندی لا یه ها و وزنهای پیشنهادی در مقیاس منطقه ای

بر اساس موارد مذکور در این بخش لایه ها ، وزنها و امتیازات پیشنهادی جهت هر یک از گروهها و زیر گروهها در جدول ۲۹ به صورت خلاصه آورده شده است.

۸-۱-۳-روش آنالیز

همانطور که در بخشهای ۲-۲-۱ ذکر شد روش آنالیز میتواند به انواع زیر تقسیم گردد:

الف) **به نقشه در آوردن لغزشهای موجود:** در این روش با استفاده از محدوده لغزشهای موجود، پایداری دامنه ها تخمین زده شده و احتمال ایجاد زمین لغزش در محدوده و یا نزدیکی زمین لغزشهای قبلی، بالا در نظر گرفته می شود؛ این روش بدلیل عدم تهیه نقشه فهرست در مقیاس منطقه ای قابل انجام نیست؛

جدول ۲۹: جمع بندی لایه ها و وزنهای پیشنهادی در مقیاس منطقه ای

نوع عامل	عامل	وزن لایه	زیر گروه	امتیاز زیر گروه	امتیاز کل
[illegible]	زمین شناسی	۸	طبق زیر گروههای مذکور در مطالعات	۱-۱۰	۸-۸۰

			حائری(۱۳۷۵)		
	شیب	۶	<۵	فیلتر می شوند	فیلتر می شوند
			۵-۱۵	۴	۲۴
			۱۶-۳۵	۶	۳۶
			۳۶-۴۵	۸	۴۸
			۴۵<	۱۰	۶۰
	تاقدیس و گسل (Km/Km2)	۴	‹۰,۱۱	۱	۴
			۰,۱۱_۰,۳۴	۳	۱۲
			۰,۳۴_۰,۵۶	۵	۲۰
			۰,۵۶_۰,۷۸	۷	۲۸
			›۰,۷۸	۹	۳۶
	وجه شیب	۲	شمال	۱۰	۲۰
			غرب	۸	۱۶
			شرق	۶	۱۲
			جنوب	۴	۸
			مسطح	فیلتر می شوند	فیلتر می شوند
	متوسط بارندگی سالیانه	۵	گروه ۱	۱	۵
			گروه ۲	۳	۱۵
			گروه ۳	۵	۲۵
			گروه ۴	۷	۳۵
			گروه ۵	۹	۴۵
عوامل تاثیر گذار	راه و رودخانه (Km/Km2)	۳	< ۰,۱۱۲	۱	۳
			۰,۱۱۲ – ۰,۳۳۶	۳	۹
			۰,۳۳۶ – ۰,۵۶	۵	۱۵
			۰,۵۶ – ۰,۷۸۴	۷	۲۱
			۰,۷۸۴>	۹	۲۷
	خطر زلزله	۲	کم	۳	۶
			متوسط	۶	۱۲
			زیاد	۷	۱۴
			خیلی زیاد	۸	۱۶

ب) **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 می گردد؛ این روش بستگی به درجه تبحر و تجربه افراد داشته و بنابر دلایلی که قبلاً ذکر شد با توجه به هدف یکسان سازی روشها در این مطالعه قابل پیشنهاد نیست.

ج) **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 می شوند که در نهایت منجر به تهیه نقشه خطر می گردد. به هریک از موارد موجود در نقشه های عوامل، بر اساس نقش آنها در ایجاد زمین لغزش وزن داده می شود؛ سپس مجموع وزنهای موجود در هر واحد محاسبه و حاصل آن برای تخمین میزان خطر بکار برده می شود. این روش با توجه به در دسترس بودن سیستمهای اطلاعات جغرافیایی (GIS) از روشهای قبل دقیقتر و کاربردی تر خواهد بود.

د) **آنالیز مهندسی**: در آنالیز دامنه، خواص فیزیکی شیب اندازه گیری شده و مقادیر بدست آمده در مدلهای رفتار شیب مورد استفاده قرار می گیرند. این روش معمولا در تحقیقات محلی برای ساختمان سازی و دیگر کارهای خاکی استفاده شده و برای پهنه بندی در مقیاس منطقه ای استفاده نمی گردد.

با توجه به موارد فوق در این مطالعه، روش روی هم قرار دادن عوامل (Factor Overlay) برای پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه ای انتخاب گردیده است.

۸-۱-٤- روش محاسبه خطر

به منظور محاسبه میزان خطر در مطالعات مختلف روشهای گوناگونی استفاده شده است:

در برخی از مطالعات روش "لغزشهای موجود" جهت آنالیز استفاده گردیده است که طی آنها صرفاً از وجود و عدم وجود لغزش و یا تراکم لغزشها در واحدهای مورد بررسی جهت طبقه بندی پهنه های خطر استفاده شده است. در این مطالعات مناطق با تراکم بیشتر زمین لغزش خطرناکتر در نظر گرفته می شوند؛

در گروه دوم از مطالعات که روش تجزیه و تحلیل " آنالیز شکل زمین" است، درجه خطر واحدها مستقیماً همراه با آنالیز مشخص می گردد.

در گروه سوم از مطالعات که از روش روی هم قرار دادن عوامل جهت آنالیزاستفاده می شود به یکی از روشهای زیر عمل می گردد:

۱- جمع جبری وزن زیر گروهها در هر واحد: مانند روش کاناگاوا(۱۹۸۶)، آنبالاگان(۱۹۹۲)، پاچوری و پنت(۱۹۹۲) و... در این روشها امتیاز زیر گروهها در هر واحد به صورت ساده با هم جمع می گردند. در امتیاز تعریف شده برای هر زیر گروه ممکن است وزن لایه ها نیز دخالت داده شده باشد بدین مفهوم که چنانچه امتیاز یک زیر گروه از یک لایه خاص (مثلا زیرگروه ۵-۲۰ درجه از لایه شیب) ۲ و زیر گروه دیگری از لایه دیگر (مثلا زیرگروه مارن از لایه لیتولوژی) ۴ باشد تاثیر مارن در ایجاد زمین لغزش دو برابر تاثیر گروه ۵-۲۰ درجه شیب می باشد. در حالتی دیگر از این روش، امتیاز دهی به زیر گروهها تنها برای مقایسه آنها از نظر اهمیت نسبی در ایجاد زمین لغزش در لایه مربوطه بکار می رود و امتیازات ارائه شده در لایه های مختلف مستقیما با یکدیگر قابل مقایسه نیستند. در این حالت ارزش هر لایه نسبت به لایه های دیگر توسط وزن آنها مشخص می گردد. این روش یکی از ساده ترین و در عین حال کاراترین روشها در پهنه بندی خطر زمین لغزش محسوب می گردد.

۲- استفاده از روابط ویژه: برخی از محققین جهت محاسبه عدد خطر روابطی خاص را ابداع کرده اند. نمونه بارز این روش، مطالعات انجام شده توسط مورا و وارسون(۱۹۹۲) است که شرح آن در بخش ۲-۲ آمده است. چنین روشهایی گرچه ممکن است برای برخی از مناطق مناسب باشد ولی برای مناطق دیگر بایستی بر اساس شرایط منطقه اصلاح گردند.

در گروه چهارم از مطالعات که از روش " آنالیز مهندسی جهت تجزیه و تحلیل پایداری استفاده می‌کنند، ضریب اطمینان برای طبقه بندی پهنه ها بکار می‌رود. در این حالت ضرایب اطمینان کمتر نشان دهنده خطر بیشتر و ضرایب اطمینان بیشتر نشان دهنده خطر کمتر لغزش می باشند؛

از آنجاییکه روش آنالیز در این مطالعه روش روی هم قرار دادن واحدها بوده است از روش اول مربوط به این نوع آنالیز استفاده شده است. علل انتخاب این روش به قرار زیر است:

- روشی ساده و قابل اجرا برای مناطق مختلف می باشد؛
- امکان تغییر وزنهای لایه ها و امتیاز زیر گروهها با توجه به سادگی منطق پشتوانه آن بسیار ساده انجام میگیرد؛
- سرعت محاسبات آن بوسیله GIS بسیار زیاد است.

برای صفر کردن امتیاز واحدهایی که شیب آنها بسیار کم است، واحدها مربوطه در ابتدای آنالیز شناسایی و محاسبات برای آنها انجام نگرفته(در مرحله آنالیز فیلتر می گردند) و در آخر عملیات به آنها، خطر خیلی کم یا بدون خطر اختصاص داده می‌شود؛ بدین ترتیب این روش از امتیاز مهم روشهایی که از روابط ویژه استفاده می کنند، نیز بهره مند می گردد.

۸-۱-۵- روش گروه بندی خطر

روش گروه بندی خطر در روشهای آنالیز " به نقشه در آوردن لغزشهای موجود"، " آنالیز شکل زمین" و "آنالیز مهندسی" ساده و بر اساس تراکم لغزشها، قضاوت شخص و ضریب اطمینان است. اما در روش " روی هم قرار دادن عوامل" اینکار کمی پیچیده تر است. در این روش محقق با حجم زیادی از اعداد خطر به تعداد واحدهای منطقه روبروست که بایستی آنها را بر اساس گروههای خطر تقسیم بندی نماید. بنابر این قدم

اول برای این مرحله تعیین تعداد گروههای خطری است که برای مطالعه ضروری است. معمولا موارد زیر در تعیین تعداد گروهها بایستی مد نظر قرار گیرد:

- از آنجاییکه در مقیاسهای کوچک (مقیاسهای ملی و منطقه ای) دقت نقشه های پایه مورد استفاده در حد اطلاعات لازم جهت تفکیک درجات خطر نزدیک به هم نیست، سعی می گردد تعداد گروهها از ۵ فراتر نرود؛
- بهتر است تعداد زیر گروهها فرد باشد. این عمل باعث می گردد همواره یک گروه (گروه خطر متوسط) درمیانه گروههای دیگر قرار گرفته و آنالیزهای مربوطه در GIS راحتتر صورت گیرد.

در این مطالعه با توجه به مطالب فوق، مقیاس کار و کیفیت داده ها، عدد ۵ برای تعداد لایه ها انتخاب شده است.

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

گروه دیگری از محققین ابتدا مقادیر اعداد خطر را به چند گروه (ترجیحاً مساوی) تقسیم نموده و نقشه پهنه بندی خطر را تهیه نموده‌اند(شبیه 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 گروه های مذکور را به صورت مشاهده ای مورد بررسی قرار داده‌اند. در این روش مرز گروهها آنقدر جابجا می شود که تراکم زمین لغزشها در هر یک از گروهها مقادیری منطقی را ارئه 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 اصولا در مطالعاتشان از اعداد خطر استفاده نکرده اند. نمونه چنین مطالعاتی توسط پاچوری و پنت(۱۹۹۲) انجام گرفته است که طی آن در ابتدا واحدهای پهنه بندی با روی هم اندازی لایه ها و تهیه واحدهای ترکیبی تهیه شده، سپس با استفاده از فرمول زیر تراکم سطحی زمین لغزشها در هر تیپ واحد (که دارای شرایط یکسانی از نظر وجود عوامل مختلفند) محاسبه گردیده است:

$$P = \frac{A_L}{A_T} \qquad (۱۲)$$

که در آن P نسبت سطحی، A_L سطح اشغال شده توسط زمین لغزش در هر ترکیب خاص از لایه های اطلاعاتی، و A_T سطح اشغال شده توسط ترکیب مذکور از لایه های اطلاعاتی می باشد.

چنانچه در منطقه مورد مطالعه تمامی ترکیبات ممکن از لایه ها موجود باشد، به تعداد ترکیبات مذکور نسبت سطحی خواهیم داشت. در مرحله بعد با استفاده از روشی آماری (non-hierarchical cluster analysis)(پیوست ۱)سعی می گردد نسبتهای سطحی طوری گروه بندی گردند که مجموع مربعات اختلاف داده ها با میانگینشان به حداقل برسد . این مجموع (W) را می توان با رابطه زیر نمایش داد:

$$W = \sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n_i} (x_{ij} - x_j)^2 \qquad (۱۳)$$

که در آن : m تعداد گروههای خطر، n_i تعداد نسبتهای سطحی واقع شده در گروه خطر i، x_{ij} مقدار عدد خطر ، و x_i میانگین نسبتهای سطحی در گروه خطر i می باشند.

با توجه به موارد فوق تقسیم بندی گروههای خطر بوسیله روش دوم و سوم کاملا وابسته به تهیه نقشه فهرست زمین لغزشها است. از آنجاییکه در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزشها در مقیاس منطقه ای نقشه فهرست تهیه نمی گردد بنابر این استفاده از روشهای مذکور منتفی است. لذا مناسبترین روش گروه بندی جهت پهنه بندی خطر در مقیاس منطقه ای روش اول یعنی تقسیم اعداد خطر بر اساس بازه این اعداد خواهد بود.

طبق روش تحلیل و وزنها و امتیازات پیشنهادی در این گزارش (بخشهای ۸-۱-۲ و ۸-۱-۳) ، امتیاز نهایی (HPI) در هر واحد، بین ۲,۵ تا ۹,۴ تغییر می کند؛ لذا معادلهای توصیفی پنج گروه خطر به شکلی که در جدول ۳۰ آورده شده است، پیشنهاد می گردد.

جدول ۳۰: گروه بندی خطر بر اساس عدد HPI برای مقیاس منطقه ای

	مقدار HPI	معدل توصیفی خطر
مناطق با شیب کمتر از ۵ درجه	-	خیلی کم
مناطق با شیب بیش از ۵ درجه	۴-۲,۵	کم
	۶-۴	متوسط
	۸-۶	زیاد
	۹,۴-۸	خیلی زیاد

۸-۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس متوسط

۸-۲-۱- روش واحد بندی

بررسی منابع جمع آوری شده نشان می دهد که از ۵۵ مقاله که در مقیاس متوسط انجام شده اند روش واحد بندی دامنه ای، شبکه ای و همگن به ترتیب در ۱۹، ۱۵ و ۱۱ تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است. روش واحد بندی ۱۰ تحقیق نیز مشخص نبوده است. با توجه به توضیحات ارائه شده در بخشهای ۲-۲-۱ و ۸-۲-۱ روش واحد بندی انتخاب شده برای مقیاس متوسط روش واحد بندی ترکیبی است. مزایای این روش در بخشهای مذکور به تفضیل آمده است. احتمالاً علت اینکه در اکثر مطالعات قبلی این روش واحد بندی بکار گرفته نشده است عدم گسترش سامانه های اطلاعات جغرافیایی تا اواسط دهه ۹۰ بوده است.

۸-۲-۲- لایه های اطلاعاتی

با توجه به توضیحات ارائه شده در بخش ۸-۱-۲ لایه های اطلاعاتی زیر به عنوان عوامل موثر قابل کاربرد در مقیاس متوسط ارائه شده است:

الف- عوامل مستعد کننده: زمین شناسی، شیب، وجه شیب، ساختارها، تاقدیس و گسل، آب زیر زمینی، کاربری اراضی، متوسط بارندگی سالیانه

ب- عوامل تحریک کننده: شدت بارندگی، زلزله، زهکشی، جاده

طبقه بندی لیتولوژی شیب، وجه شیب، تاقدیس و گسل، متوسط بارندگی سالیانه، و زلزله دقیقاً مانند طبقه بندی های ارائه شده برای مقیاس منطقه ای می باشد. توجه گردد که در این مقیاس تنها از طبقه بندیهای مذکور استفاده شده و وزنهای مربوطه در مرحله آنالیز استخراج می گردد.

در مقیاس متوسط، عامل زهکشی و جاده به علت قابلیت تفکیک در نقشه های مورد استفاده از یکدیگر جدا شده اند. همچنین به علل مستعد کننده ساختارها، وضعیت آب زیر زمینی وکاربری اراضی و به علل محرک، شدت بارندگی اضافه شده اند.

۱- زهکشی

کومار و سینها(۱۹۹۸) تراکم رودخانه را به شکلی که در جدول ۳۱ مشاهده می شود طبقه بندی و وزن دهی نموده اند. ستون آخر در این جدول مبین وزن کلاس در لایه است که حاصل ضرب ضریب کلاس در وزن کل لایه می باشد. . چگونگی وزن‌دهی با این استدلال انجام شده است که افزایش تراکم آبراهه در واحد سطح تا میزان خاصی در افزایش ناپایداری تاثیرگذار بوده و بیشتر از آن نشان دهنده نفوذپذیري کم لایه هاي زمین شناسي و بوجود آمدن انواع دیگر فرسایش خصوصا گالی می‌باشد. به همین دلیل در روش پیشنهادی میزان بالای تراکم سطحی رودخانه به معنای کم بودن میزان نفوذپذیری تلقی شده و درصدهای کمتر تراکم

زهکش به عنوان نشانه ای از بهتر بودن وضعیت نفوذپذیری و در نتیجه بالا بودن احتمال افزایش میزان آب موجود درتوده وافزایش احتمال وقوع زمین لغزش در نظر گرفته شده است.

جدول ۳۱: طبقه بندی عامل رودخانه (Kumar & Shina, 1998)

رده بندی تراکم	تاثیر در لغزش	امتیاز	وزن لایه	امتیاز کل
کمتر از ۱ km/km^2	خیلی کم	۵		۵۰
۱ تا ۲ km/km^2	کم	۴	۱۰	۴۰
۲ تا۳ km/km^2	متوسط	۳		۳۰
۳ تا ۴ km/km^2	زیاد	۲		۲۰
بیش از ۴ km/km2	بسیار زیاد	۱		۱۰

در مطالعه حاضر طبقه بندی پیشنهادی در جدول شماره ۳۱ جهت استفاده در این پروژه توصیه می گردد. توجه شود که وزن‌دهی‌های ارائه شده توسط کومار و سینها(۱۹۹۸) برای تحلیل در این مطالعه استفاده نشده و همانگونه که در بخش آنالیز گفته شده است وزنها و امتیازات از آنالیز دو متغیره و بر اساس لغزشهای موجود استنتاج می گردند.

۲ – راه

پاچوري و پنت(۱۹۹۲) تراکم راه را در مقیاس متوسط به صورت جدول ۳۲ در مطالعات خود وارد نموده اند.

جدول ۳۲: طبقه بندی راه و رودخانه در مطالعات پاچوری و پنت(۱۹۹۲)

ردیف	رده بندی تراکم
۱	کمتر از ۱ km/km^2
۲	۱ تا ۲ km/km^2
۳	بیشتر از ۲ km/km^2

در مورد این لایه، روش پیشنهادی بر اساس روش Pachauri and Pant(1992) می‌باشد. در روش یادشده فقط سه کلاس و تراکم تا دو کیلومتر در کیلومتر مربع در نظر گرفته شده است ولی در روش پیشنهادی، بدلیل آنکه رابطه مستقیم افزایش میزان تراکم راه با وقوع زمین لغزش به ۲ کیلومتر در کیلومتر مربع محدود نمی شود، تعداد گروهها به پنج گروه افزایش یافته است(جدول ۳۳).

جدول ۳۳: طبقه بندی عامل راه در مقیاس متوسط

ردیف	رده بندی تراکم
۱	کمتر از ۱ km/km^2
۲	۱ تا ۲ km/km^2
۳	۲ تا۳ km/km^2
۴	۳ تا ۴ km/km^2
۵	بیش از ۴ km/km2

از ۵۱ مقاله جمع آوری شده در زمینه پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس متوسط، شرایط ساختاری در ۱۹ مقاله به عنوان یکی از عوامل زمین لغزش در نظر گرفته شده است. این شرایط شامل وضعیت لایه بندی، گسل، درزه، شیستوزیته و... می‌باشد. موقعیت ناپیوستگی های ساختاری در ارتباط با میزان و جهت شیب دامنه تاثیر زیادی در ناپایداری دامنه ها دارد. سه نوع ارتباط در این زمینه از اهمیت ویژه ای برخوردارند(آنبالاگان، ۱۹۹۲):

- میزان موازات امتداد ناپیوستگی(یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) با امتداد دامنه؛
- مقدار شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی)؛
- اختلاف بین میزان شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) و میزان شیب دامنه.

بین و یان(۱۹۸۸) مقدار شیب ناپیوستگی و زاویه بین راستای شیب ناپیوستگی و راستای شیب دامنه را به عنوان دو عامل از نه فاکتور موثر در لغزش در نظر گرفته و با تحلیل دو متغیره مقدار تاثیر آنها را بررسی کردند. ارزش اطلاعاتی این دو عامل از ۰,۱- تا ۰,۲۲ متغیر بوده است که بیانگر تاثیر زیاد آنها در زمین لغزش می باشد.

ارکان اغلو و گوکسگلو(۲۰۰٤) تاثیر عوامل ساختاری را در دو پارامتر میزان موازات بین امتداد ناپیوستگی ها با امتداد دامنه و اختلاف بین میزان شیب ناپیوستگی با میزان شیب دامنه در پهنه بندی وارد کرده اند. آنان با تعیین سه گروه غالب از سیستم ناپیوستگی های منطقه میزان تراکم لغزش را در ارتباط با گروههای مذکور تعیین کرده اند.

آنبالاگان(۱۹۹۲) هر سه مورد ارتباط ساختار را که فوقاً به آن اشاره گردید، در پهنه بندی خود در نظر گرفته است. وی گروه‌بندی‌های موجود در جدول ۳٤ را برای وارد نمودن تاثیر ساختار در پهنه بندی انجام داده است.

جدول۳٤ : گروه بندی و امتیاز دهی به عوامل ساختاری(آنبالاگان، ۱۹۹۲)

گروه	مقدار(درجه)	امتیاز
میزان موازات بین امتداد ناپیوستگی(یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) با امتداد دامنه (R1) ؛		
I	>30	0.2
II	21-30	0.25
III	11-20	0.3
IV	6-10	0.4
V	<5	0.5
اختلاف بین میزان شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی)با میزان شیب دامنه (R2)؛		
I	>10	0.3
II	0-10	0.5
III	0	0.7
IV	0-(-10)	0.8
V	(-10)	1.0
مقدار شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) (R3)؛		
I	<15	0.2
II	16-25	0.25
III	26-35	0.3
IV	36-45	0.4

0.5	>45	V
عمق خاک رویی		
0.65	<5m	I
0.85	6-10m	II
1.3	11-15m	III
2.0	16-20m	IV
1.2	>20m	V

بسیاری دیگر از مطالعات انجام شده در کشورهای مختلف مخصوصاً هند، مطالعات خود را بر مبنای مطالعات آنبالاگان(۱۹۹۹۲) گذاشته اند.

در ایران در بسیاری از مطالعات انجام شده ، عناصر ساختاری در نظر گرفته شده است که اکثراً روش آنبالاگان(۱۹۹۲) را مبنای کار خود قرار داده اند. از جمله این مطالعات می توان به کشاورز بخشایش و منتظرالقائم(۱۳۷۹) و ارومیه ای و امینی‌زاده(۱۳۷۷) اشاره نمود.

با توجه به موارد فوق و کامل و مناسب بودن طبقه بندی ساختارها توسط آنبالاگان(۱۹۹۲) برای مقیاس متوسط، در این مطالعه طبقه بندی مذکور به عنوان مبنا در نظر گرفته شده است.

نکته ۱: در جدول ۳۴ منطقه مورد مطالعه در ابتدا به دو بخش سنگی و خاکی تقسیم می گردد. برای بخش سنگی سه نوع امتیاز طبق خصوصیات ساختارها و رابطه آنها با دامنه در نظر گرفته می‌شود(سه بخش اولیه جدول ۳۴). بر اساس نوع ساختار و ارتباط آن با دامنه، سه امتیاز فوق در هر واحد با هم جمع می گردند. جمع این امتیازات از ۰,۷ تا ۲ متغیر است. برای واحدهایی که در بخش خاکی واقع شده اند به جای عملیات فوق از ضخامت خاک رویی برای امتیاز دهی استفاده می شود. بر اساس ضخامت خاک واحدهای مذکور امتیازاتی از ۰,۶۵ تا ۲ می‌گیرند.

نکته ۲: طبق طبقه بندی آنبالاگان(۱۹۹۲) رابطه ضخامت خاک با پتانسیل زمین لغزش خطی نیست. همانگونه که در جدول ۳۴ مشاهده می شود امتیاز گروههای I و II با افزایش ضخامت خاک زیاد می شود ولی از گروه III این افزایش نامنظم شده و بیشترین امتیاز به ضخامت ۱۶-۲۰ متر تعلق می گیرد؛ در نتیجه چنانچه بخواهیم بدون تغییر وزن دهی های آنبالاگان، شماره گروهها در شیبهای سنگی (که با امتیازات رابطه مستقیم دارند) و شیبهای خاکی با یکدیگر قابل مقایسه باشند بایستی گروه بندی بر اساس امتیاز هر گروه انجام گیرد؛

بر اساس نکات فوق جدول ۳۵ تهیه شده است. با استفاده از جدول ۳۵ میتوان بر اساس ضخامت خاک در شیبهای خاکی و جمع امتیازات در شیبهای سنگی(جدول ۳۴)، نقشه واحدی از وضعیت ساختاری ارائه نمود که منطقه را به پهنه هایی از درجه I تا V طبقه بندی می‌نماید.

جدول۳۵ : گروه بندی عوامل ساختاری

مجموع امتیاز در برونزد سنگی(R)	ضخامت خاک رویی	گروه بندی
0.75	<5m	I
0.75-1.0	6-10m	II
1.0-1.3	>20m	III
1.3-1.6	11-15m	IV
1.6-2.0	16-20m	V

وضعیت آب زیر زمینی

گرچه تعیین دقیق سطح آب زیر زمینی در مقیاس متوسط کاری دشوار و غیر ضروری است ولی با استفاده از برخی شواهد می‌توان پی به وضعیت کلی آب زیر زمینی در دامنه های مورد نظر برد. نمونه این مطالعات توسط آنبالاگان(۱۹۹۲) انجام گردیده است. در این مطالعه از وضعیت رطوبتی دامنه جهت تخمین سطح آب زیر زمینی (میزان آب محتوی توده) بهره گرفته شده است(جدول ۳۶).

جدول ۳۶: طبقه بندی وضعیت آب زیر زمینی بر اساس آنبالاگان(۱۹۹۲)

گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵
وجود جریان آب	**غرقاب**	**خیس**	**نمناک**	**خشک**

در نقشه های ۱:۵۰،۰۰۰ محل چشمه ها، نشتابها ، باتلاقها و محلهای با تمرکز پوشش گیاهی مشخص گردیده است. به همین دلیل می توان واحدهای حاوی شرایط مذکور در جدول ۳۶ را به صورت اولیه از یکدیگر تفکیک نمود. مسلماً اطلاعات بدست آمده از عملیات صحرایی در تدقیق این ارزیابی نقش مهمی را ایفا خواهد نمود.در نتیجه در این مطالعات، جدول ۳۶ مبنای تقسیم بندی واحدها از نظر آب زیر زمینی قرار گرفته است.

کاربری

یکی از لایه های اطلاعاتی که در پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده می گردد نقشه کاربری اراضی می باشد. منظور از کاربری نوع و نحوه استفاده از زمین در حال حاضر می باشد. انواع کاربری اراضی میتواند شامل: اراضی مرتعی، جنگلی، زراعی، باغ، برهنه و دیگر کاربری های نظیر مناطق مسکونی، تالابها و دریاچه ها و غیره باشند.

انواع کاربری اراضی در رابطه با محافظت از شیب ها و پایداری و عدم پایداری عملکرد متفاوتی دارند . مطالعات مختلف در بسیاری از نقاط دنیا نشان می دهد، جنگل زدایی و تبدیل این مناطق به مراتع ، باغات و مزارع باعث وقوع زمین لغزش های زیادی گردیده است. به عنوان مثال کمپل و راپ () نشان داده اند که در ارتفاعات غرب اولوکورو واقع در تانزانیا ، کمتر از یک درصد زمین لغزشها در زمین ها ی جنگلی ، ۴۷ درصد در زمین های زراعی و ۴۷ درصد در زمین های آیش رخ داده است.

اهمیت لایه کاربری در بسیاری از مطالعات پهنه بندی در ایران مد نظر قرار گرفته است. از جمله این مطالعات می توان به مطالعات سعدالدین(۱۳۷۶) در حوزه آبخیز چاشم وخطیر کوه در استان سمنان ، مهدویفر(۱۳۷۶) در حوزه آبخیز خورش رستم در استان اردبیل ، میانجی (۱۳۷۷) در حوزه آبخیز طالقان در استان تهران، نیک اندیش(۱۳۷۴)در حوزه کارون میانی در استان چهار محال و بختیاری، فتاحی(۱۳۷۹)در حوزه آبخیز سد لتیان در استان تهران، حسن زاده (۱۳۷۹)در منطقه شلمانرود در استان گیلان، و اشقلی فراهانی(۱۳۸۰)در منطقه رودبار در استان گیلان اشاره نمود.

در سایر نقاط دنیا نیز از لایه کاربری برای پهنه بندی استفاده شده است. از جمله این مطالعات می توان به مطالعات انجام شده توسط جاگاناتاراو و کیشور کومار(۱۹۹۲) در هیمالیا اشاره نمود. در این مطالعه نقشه کاربری با کلاس های جنگل، مرتع، و مراتع مشجر تهیه و در نقشه پهنه بندی خطر زمین بکار گرفته شده است.

کاوانگ 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 درنقشه پهنه بندی خطر زمین استفاده نمودند.

ونگوئن کوک و بای هانگ (۲۰۰۴) در منطقه یانگ سان کره از لایه کاربری اراضی در تهیه نقشه پهنه بندی خطر زمین استفاده نمودنند در پهنه بندی خطر زمین لغزش استفاده نمود، ولی به دسته بندی کاربری اشاره ای نکرده اند.

با توجه به موارد فوق لایه اطلاعاتی کاربری اراضی بعنوان یک لایه اطلاعاتی مهم می تواند در پهنه بندی خطر زمین لغزش مورد استفاده قرار گیرد.

خوشبختانه نقشه کاربری کل کشور بصورت 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 گروههای مختلف کاربری ارضی اشاره شده در این نقشه آمده است.

جدول ۳۷: طبقه بندی کاربری اراضی بر اساس معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزدارزی کشور(۱۳۸۵)

ردیف	نوع کاربری اراضی	ردیف	نوع کاربری اراضی
۱	جنگل های متراکم	۷	زراعت آبی
۲	جنگل های نیمه متراکم	۸	باغ
۳	جنگل های 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 دریاچه ها

با توجه به نقش و عملکرد انواع کاربری اراضی در ایجاد زمین لغزش، می توان موارد زیر را به عنوان برخی از تاثیرات کاربری اراضی در ایجاد زمین لغزش بیان نمود:

۱. جنگلها بدلیل سیستم ریشه ای قوی و عمیقی که دارا می باشند خاک را مسلح نموده و با توجه به تبخیر و تعرقی که انجام می دهند سبب کنترل آب ورودی به توده و افزایش ضریب اطمینان دامنه ها می گردند.

۲. مراتع به دلیل دارا بودن ریشه های سطحی نقش کمتری در پایداری دامنه ها نسبت به جنگلها دارند.

۳. زراعت آبی و باغات به دلیل عمل آبیاری و نفوذ آب به داخل دامنه باعث بالا آمدن سطح آب زیر زمینی و کاهش ضریب اطمینان دامنه ها می گردند.

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

با توجه به موارد فوق کاربری های مذکور در جدول ۳۷ را می توان به صورت جدول ۳۸ در پنج گروه طبقه بندی نمود.

جدول ۳۸: طبقه بندی کاربری اراضی مذکور در جدول ۳۷ بر اساس استعدادبه لغزشها

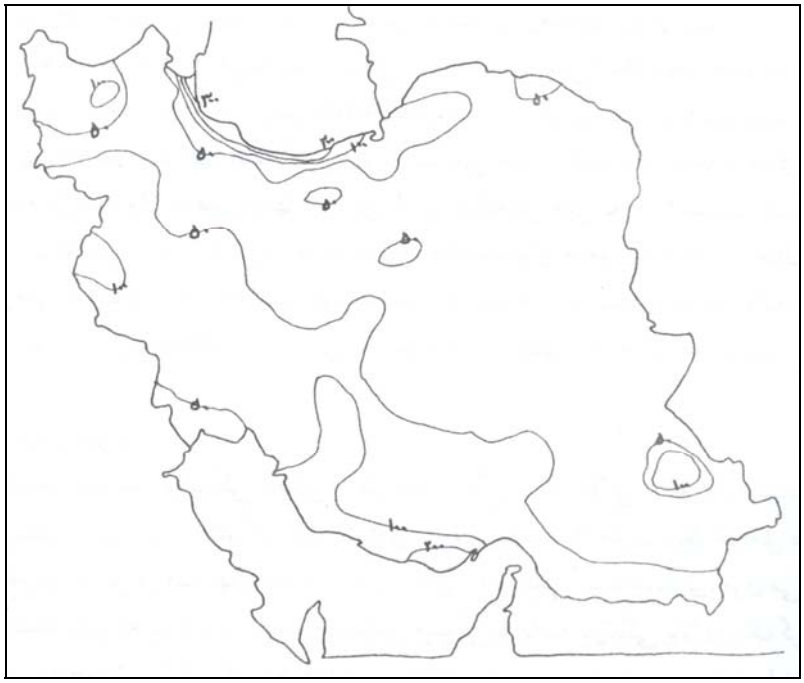
ردیف	نوع کاربری اراضی
۱	جنگل های متراکم و نیمه متراکم
۲	جنگل کم تراکم و مراتع متراکم
۳	مراتع نیمه متراکم و زراعت دیم و آیش
۴	مراتع کم تراکم، زمینهای بایر ، کویر و بیابانی
۵	زراعت آبی، باغ ،تاسیسات مسکونی و تالابها و دریاچه ها

حداکثر بارش ۲۴ ساعته

میزان و مدت زمان بارش با شدت بارندگی در یك حوضه معرفی می شود و پارامتر حداکثر بارش ۲۴ ساعته برآوردی از شدت بارندگی را نشان می دهد. نامنظم بودن توزیع مکانی بارش در ایران سبب گردیده است که متوسط بارش سالیانه به تنهائی تاثیر پارامتر بارش در وقوع حوادث طبیعی همچون سیـــل و زمین لغزش را نشان ندهد. بهمین دلیل بهمراه این پارامتر از حداکثر بارش ۲۴ ساعته (بالاترین بارش روزانه) استفاده می گردد. طبق مطالعات لامب (۱۹۷۵) در هنگ کنگ حوادث بسیار مخرب زمین لغزش در بارش تجمعی ۴۸ ساعته با میزان ۱۴۰ میلیمتر؛ حوادث مخرب با میزان ۸۰ میلیمتر و حوادث کوچک با میزان ۴۰ میلیمتر آغاز می‌گردند.

اویشاچر و کلاگو (۱۹۸۴) عامل اصلی لغزشهای خاکی ، بهمن واریزه ای 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 بعنوان بارش ایجادکننده زمین لغزشها در نظر گرفته اند.

حداکثر بارش ۲۴ ساعته در سواحل شمالی و جنوبی ایران اتفاق می افتد که نزدیکی به منبع رطوبتی یکی از عوامل اصلی آن محسوب می شود. در سواحل شمالی میزان بارش ۲۴ ساعته با متوسط بارش سالیانه همسوئی بیشتری دارد ولی در سواحل جنوبی این همسوئی به حداقل خود می رسد و مبین آنست که در بیشتر اوقات سواحل جنوبی بارش ندارند ولی هر موقع عامل صعوددهنده هوا در منطقه مهیا گردد بارانهای شدیدی رخ خواهد داد. شکل ۴۱ مقدار حداکثر بارش ۲۴ ساعته مشاهده شده در یک دوره اقلیمی سی ساله را نشان می دهد. کلاس های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در مناطق اقلیمی تحلیل عاملی با توجه میانگین حداکثر بارش ۲۴ و حداکثر بارش ۲۴ ساعته مشاهده شده، در جدول ۳۹ آورده شده است.



شکل ۴۱: نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته (علیجانی؛۱۳۷۹)

بر اساس موارد مذکور در این بخش لایه ها و زیر گروههای پیشنهادی در جدول ۴۰ به صورت خلاصه آورده شده است.

۸-۲-۳-روش آنالیز

بررسی منابع جمع آوری شده نشان می دهد که از ۵۵ مقاله جمع آوری شده که در مقیاس متوسط انجام شده اند روش آنالیز ۴۲ منبع، روی هم اندازی لایه ها بوده است که از این میان ۲۹ منبع از روش وزن دهی بینا و ۱۳ منبع از روش وزن دهی کور استفاده کرده اند(شکل ۱۱). طبق توضیحاتی که در بخش ۸-۱ داده شده است روش انتخاب شده برای آنالیز در مقیاس متوسط روش روی هم قرار دادن عوامل با استفاده از روش بینا است. از میان روش های چند متغیره و دو متغیره نیز، در این مطالعه روش دو متغیره انتخاب شده است.

در این روش هر نقشه عامل به صورت جداگانه با نقشه فهرست زمین لغزشها قطع داده شده و امتیاز زیر گروهها بر اساس تراکم زمین لغزشها در هر زیر گروه محاسبه مي شود. شرح کامل این روش در راهنماي پهنه بندي در مقياس متوسط(پیوست شماره ۳) آمده است.

۸-۲-٤- روش محاسبه خطر

به دلايلي که در بخش ۸-۱-۴ توضیح داده شد در مقياس متوسط نيز از جمع جبري زير گروهها استفاده شده است. بدین صورت که پس از محاسبه ارزش اطلاعاتی زیر گروههای مربوط به تمامی نقشه های عامل در هر واحد، عدد خطر با جمع کلیه ارزش های اطلاعاتی مربوطه بدست می آید.

جدول ۳۹: امتیاز کلاس های حداکثر بارش ۲۴ ساعته در نواحی اقلیمی (تحلیل عاملی)

نام ناحیه و زیرناحیه هاي اقلیمی	میانگین حداکثر بارش ۲۴ ساعته(mm)	گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵
A - مرطوب و معتدل – خزری	۹۳	۲۵>	۲۵-۵۰	۵۰-۱۵۰	۱۵۰-۲۵۰	۲۵۰<
A1- خیلی مرطوب و معتدل						
A2- مرطوب و معتدل						
B - نیمه خشك	۳۳	۱۰>	۱۰-۲۰	۲۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰<
B1- زیرناحیه نیمه خشك سرد						
B2- زیرناحیه نیمه خشك گرم						
C - کوهستانی- زاگرس	۴۸	۱۵>	۱۵-۲۵	۲۵-۷۵	۷۵-۱۵۰	۱۵۰<
C1-نیمه مرطوب معتدل						
C2-کوهستانی سرد						
C3- نیمه کوهستانی سرد						
D - بیابانی خیلی گرم – ساحلی	۲۸	۱۰>	۱۰-۲۰	۲۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰<
E - بیابان معتدل تا شدید خیلی گرم	۲۸	۱۰>	۱۰-۲۰	۲۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰<
E1-بیابانی معتدل						
E2-بیابانی شدید و خیلی گرم						
F - بیابانی نیمه گرم تا گرم	۲۸	۱۰>	۱۰-۲۰	۲۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰<
F1-بیابانی نیمه گرم: داخلی						
F2- بیابان گرم: ساحلی						

۸-۲-۵- روش گروه بندی خطر

با توجه به مطالب بخش ۸-۱-۵ تعداد گروههاي خطر براي مقياس ۱:۵۰۰۰۰ پنج و مرز آنها توسط روش (non-hierarchical cluster analysis)(پيوست ۱) تعيين مي گردد.در نتيجه مرز بندي گروههاي خطر كاملاً وابسته به ارزش هاي اطلاعاتي بدست آمده است.

در مرحله آخر، با استفاده از این خصوصیت نقشه پهنه بندی خطر(پتانسیل زمین لغزش) با اختصاص رنگهای مختلف برای گروههای خطر مختلف (ترجیحاً طیف رنگی زرد برای خطر کم تا قرمز برای خطر خیلی زیاد) تهیه می گردد.

جدول ۴۰: عوامل در نظر گرفته شده جهت پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

نوع عامل	عامل	زیر گروه	نوع عامل	عامل	زیر گروه
عوامل مستعد کننده	زمین شناسی	طبق پیوست ۵	عوامل مستعد کننده	بارندگی متوسط سالیانه (طبق جدول ۱)	گروه ۱
	آب زیر زمینی	وجود جریان آب			گروه ۲
		غرقاب			گروه ۳

		خیس			گروه ۴
		نمناک			گروه ۵
		خشک	عوامل تحریک کننده	جاده(۳۸) (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	۱>
	شیب	۵>			۲-۱
		۵-۱۵			۳-۲
		۱۶-۳۵			۴-۳
		۳۶-۴۵			۴<
		۴۵<		خطر زلزله	کم
	تاقدیس و گسل	۰,۰۱۱			متوسط
		۰,۱۱_۰,۳۴			زیاد
		۰,۳۴_۰,۵۶			خیلی زیاد
		۰,۵۶_۰,۷۸		حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (طبق جدول ۲)	گروه ۱
		۰,۰۷۸<			گروه ۲
	وجه شیب	شمال			گروه ۳
		غرب			گروه ۴
		شرق			گروه ۵
		جنوب		زهکشی (۳۸) (کیلومتر بر کیلومتر مربع)	۱>
		مسطح			۲-۱
	کاربری اراضی	گروه ۱			۳-۲
		گروه ۲			۴-۳
		گروه ۳			۴<
		گروه ۴			
		گروه ۵			
	ساختارها	گروه ۱			
		گروه ۲			
		گروه ۳			
		گروه ۴			
		گروه ۵			

۸-۲-٦- آزمایش و تصحیح نقشه پهنه بندی

از آنجاییکه روش آنالیز در این مطالعه روش آماری دو متغیره است و با توجه به اینکه کلیه وزنها با استفاده از نقشه فهرست زمین لغزشها بدست می آیند، چنانچه نقشه فهرست بر روی نقشه پهنه بندی زمین لغزش انداخته شود، زمین لغزشها بیشتر در مناطقی واقع می گردند که با خطر بالا مشخص شده اند.

برای آزمایش نقشه حاصله و اجتناب از خطاهای انسانی که در بکارگیری فرمولها و وارد نمودن رابطه ها در GIS ممکن است پیش بیاید، لازم است نقشه پهنه بندی از نظر صحت آزمایش گردد.گی(۱۹۹۲) بدین منظور پارامتری را به نام نسبت تراکم (DR) برای گروههای مختلف خطر در نقشه پهنه بندی نهایی معرفی نموده است که از رابطه زیر بدست می آید:

$$DR=\%Landslide/\%Area \qquad (۱۴)$$

که در آن Landslide% درصدی از تعداد (یا سطح)زمین لغزشها است که در رده خطر مربوطه 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.

۸-۲-۷- تهیه نقشه پهنه بندی نهایی

از آنجاییکه نقشه‌های پهنه بندی در مقیاس متوسط در نهایت جهت استفاده در اختیار مجریان و تصمیم گیریان قرار می‌گیرد مناطق لغزشی در این نقشه ها بایستی با خطر خیلی بالا مشخص گردند. این عمل به علت بالا بودن احتمال وقوع زمین لغزش در مناطقی است که قبلاً حرکت کرده اند. اینکار با روی هم اندازی نقشه فهرست زمین لغزش بر روی نقشه پهنه بندی و اختصاص دادن خطر خیلی بالا به محدوده لغزشها انجام می‌گیرد.

۹- جمع بندی

در این مطالعه با هدف تهیه دستورالعمل تهیه نقشه هاي پهنه بندي در دومقياس ناحيه اي(۱:۲۵۰۰۰۰) و متوسط(۱:۵۰۰۰۰) مطالعات انجام يافته در ايران و ساير كشورها مرور گرديده است. سپس با استفاده از شرايط اقليمي سطح ايران به ۶ بخش مجزا تقسيم و روشهاي پيشنهادي براي مناطق فوق ارائه گرديده است. خلاصه روشهاي پيشنهادي در اين مطالعه به شرح زير مي باشد:

۹-۱- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰

روش واحد بندی: ترکیبی ؛ که حاصل روی هم اندازی لایه ها ی اطلاعاتی(به صورت مرحله ای) می باشد.

اندازه واحد: کوچکترین واحد ۲در ۲ میلیمتر برابر با ۵۰۰ در ۵۰۰ متر می باشد. واحدهای کوچکتر در واحدهای مجاور ادغام خواهند شد. همچنین کلیه واحدهایی که شیب آنها از ۵ درجه کمتر است از محاسبات کنار رفته و در نقشه نهایی ، بدون خطر در نظر گرفته می شوند.

لایه های اطلاعاتی و وزن دهی: نوع وزن دهی کور و بر اساس قضاوت مهندسی می باشد. دقت زیر گروههای مورد نظر بر اساس دقت نقشه های پایه می باشد. عوامل انتخاب شده و وزن آنها در جدول ۳۵ نمایش داده شده است.

روش آنالیز: با استفاده از فرمول زیر:

$$HPI= [Sum(R*W)]/[Sum(W)] \quad (۱۵)$$

که در آن HPI اندکس پتانسیل زمین لغزش، W وزن هر لایه و R امتیاز هر زیر گروه می باشد.

تقسیم بندی گروههای خطر: طبق وزنها و امتیازات داده شده در جدول ۲۹ امتیاز نهایی در هر پلی گون بین ۲/۵ تا ۹/۴ تغییر می کند. لذا گروه بندی بر اساس جدول ۳۰ انجام خواهد شد.

۹-۲- پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰

روش واحد بندی: ترکیبی ؛ که حاصل روی هم اندازی لایه ها ی اطلاعاتی(به صورت مرحله ای) می باشد.

اندازه واحد: کوچکترین واحد ۲در ۲ میلیمتر برابر با ۱۰۰ در ۱۰۰ متر می باشد. واحدهای کوچکتر در واحدهای مجاور ادغام خواهند شد. همچنین کلیه واحدهایی که شیب آنها از ۵ درجه کمتر است از محاسبات کنار رفته و در نقشه نهایی پهنه بندی، بدون خطر در نظر گرفته می شوند.

لایه های اطلاعاتی و وزن دهی: نوع وزن دهی بینا می باشد. دقت زیر گروههای مورد نظر بر اساس دقت نقشه های پایه موجود می باشد. وزن دهی به لایه ها بصورت بینا می باشد. عوامل انتخاب شده و زیر گروههای مربوطه در جدول ۴۰ نمایش داده شده است.

روش آنالیز: آماری دو متغیره همراه با وزن دهی به لایه ها بر اساس پراکنش درصدهای سطحی می باشد.

تقسیم بندی گروههای خطر: طبقه بندي گروههاي خطر بر اساس روش (non-hierarchical cluster analysis)(پیوست ۱) می باشد.

۹-۳- زمینه های ادامه تحقیق

برای اجرایی شدن دستورالعملهای پیشنهادی در این گزارش، لازم است مراحل مذکور به صورت عملی در چند منطقه بکار گرفته شده و نقاط ضعف و قوت مراحل پیشنهادی استخراج گردد.

مرحله دوم این پروژه هدف فوق را پوشش می دهد. با توجه به تجربیات حاصله از این مرحله دستورالعملهای پیشنهادی بازنگری شده و ویرایش نهایی در اختیار زیرکارگروه زلزله و لغزش لایه زمین قرار داده می شود. از تاریخ تصویب گزارش مرحله دوم، مجریان پهنه بندی خطر زمین لغزش که پروژه خود را در زیر کارگروه مذکور تعریف می نمایند، ملزم به رعایت چارچوبهای تعیین شده در دستورالعملها خواهند بود. بدیهی است با توجه به پیشرفت و توسعه علم پهنه بندی خطر زمین لغزش در آینده، دستورالعملهای مذکور، در هر چند سال نیاز به بازنگری خواهند داشت. بازه زمانی مورد نیاز برای بازنگری د رگزارش مرحله دوم پیشنهاد خواهد شد.

فهرست منابع

۱. آقانباتی، ع.، ۱۳۷۹. پهنه‌های رسوبی- ساختاری عمده ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲. آقا نباتی, ع. ۱۳۸۳. زمین‌شناسی 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 دامنه های طبیعی در منطقه رودبار با استفاده از تئوری فازی ، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی 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 ۲۸-۱۹.

۷. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله. ۱۳۸۴. مطالعات ریز پهنه بندی ژئوتکنیک لرزه ای شهر قم. گزارش پیشرفت کار شماره ۳. انجام شده برای شهرداری قم.

۸. حائری، س.م. ۱۳۷۵. طرح جامع خطر رانش استان مازندران. وزارت مسکن و شهر سازی، زیر کمیته زلزله و لغزش لایه های زمین.

۹. حائری، س.م. ستاری، م.ح. ۱۳۷۲. لغزشهای بزرگ بوقوع پیوسته بر اثر زلزله ۳۱ خرداد ماه ۱۳۶۹ ، مرکرمطالعات مقابله با سوانح طبیعی ایران.

۱۰. 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، شماره۲۴ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

۱۱. حسن زاده ، محمد حسن ، ۱۳۷۹ ، پهنه بندی خطر زمین لغزش حوزه آبخیز شلمانرود، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تهران.

۱۲. حق شناس الف.، جعفری، م.ک.، ارومیه‌ای، ع.۱۳۷۶. استفاده از روش‌های آماری در پهنه بندی خطر زمین لغزش، مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارات آن. ص. ۱۳۵-۱۲۵.

۱۳. حیدری، ح. ۱۳۷۸. تحلیل عناصراقلیمی ایران به منظور ارائه يك الگوی طبقه‌بندی، پایان نامه دکتری، دکتر بهلول علیجانی، دانشگاه تربیت مدرس، گروه جغرافیا.

۱۴. جعفری، محمد کاظم.، مهدویفر، محمد رضا.، کشاورز بخشایش، محمد. (۱۳۷۸): مطالعات ژئوتکنیک لرزه ای استان لرستان.، گزارش نهایی (دو جلد)، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله.

۱۵. جلالی، ن. ۱۳۷۶. روشی برای پهنه بندی خطر زمین‌لغزش‌های متاثر از ساختار زمین‌شناسی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی. مجموعه مقالات دومین سمینار زمین‌لغزه و کاهش خسارات آن.ص۱۵۹-۱۷۲.

۱۶. رمضی، ح.ر.، قریشی، م.، مالکی،الف.، معین فر، ع.الف.، مهدویان، ع.، نبوی، م.ح. ۱۳۷۸. نقشه پهنه بندی خطر نسبی زمینلرزه در ایران. در:. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، ویرایش دوم (مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن،)، ۱۳۷۸.

۱۷. سعدالدین، امیر، ۱۳۷۳، بررسی اثر پارامترهای هیدروژئومرفولوژیک بر حرکتهای توده ای مواد دامنه ای در حوزه آبخیز چاشم و خطیر کوه سمنان ، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس.

۱۸. سفیدگری، ر.۱۳۸۱. ارزیابی روش‌های پهنه بندی خطر زمین‌لغزش در مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ مطالعه موردی حوزه آبخیز دماوند، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تهران.

۱۹. سیارپور، مرتضی.۱۳۷۸. پهنه‌بندی پتانسیل خطر زمین‌لغزش در جنوب خلخال استان اردبیل، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی معدن گرایش اکتشاف، ص ۵۷.

۲۰. شریفی، ر. و کاظمی، م.، ۱۳۸۲. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل آماری در حوضه آبخیز شمال سمنان. سومین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران. دانشگاه همدان.

۲۱. طباطبائی، س.۱۳۷۷. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در بخشی از استان اردبیل، مرکز تحقیقات ساختمان ومسکن.

۲۲. طباطبایی، 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.

۲۳. علیجانی، ب. ۱۳۷۹. آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام‌نور.

۲۴. علیجانی، ب.، کاویانی، م.۱۳۸۰ . مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، چاپ هشتم، تهران.

۲۵. فتاحی اردکانی ، محمد علی، ۱۳۷۹، بررسی و ارزیابی کار آیی مدلهای پهنه بندی خطر زمین لغزش و تکنیک های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز لتیان ، پایان نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری ، مرکز آموزش عالی امام خمینی.

۲۶. فرجزاده، م.، س.، منتظرالقائم، ۱۳۷۵. پهنه‌بندی قابلیت وقوع زمین‌لغزه‌ها با استفاده از GIS مطالعه موردی: جاجرود تا رودهن. سومین کنفرانس سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی. ص: ۲۴۵-۲۶۱.

۲۷. کاردان، ر. ۱۳۸۲. ارزیابی چهار روش طبقه‌بندی اقلیمی در ایران با مدلسازی رایانه‌ای، پایان نامه کارشناسی‌ارشد، دکتر بهلول علیجانی، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران مرکزی، گروه جغرافیا.

۲۸. کاردان، ر. و همکاران. ۱۳۸۳. گزارش"فهرست زمین لغزشهای کشور"، گروه مطالعات امور زمین لغزشهای سازمان جنگلها و مراتع کشور.

۲۹. کشاورز بخشایش،م. منتظرالقائم، س. ۱۳۷۹. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در محدوده جنوب البرز مرکزی(جاجرود_ رودهن)، گردهمائی انجمن زمین‌شناسی ایران ۱۳۷۹ تبریز، ص ۳و۴.

۳۰. کمك‌پناه، ع.، حافظی‌مقدس، س. ۱۳۷۳. روشهای پهنه‌بندی خطر لغزش. مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزه در کشور.

۳۱. گروه بررسی زمین لغزشها. ۱۳۷۵. گزارش مرحله اول طرح ایجاد بانك اطلاعاتي زمين-لغزش‌هاي كشور. زيركميته زلزله و لغزش لايه‌هاي زمين.

۳۲. گی، ام. دی. ۱۹۹۲. طبقه بندی روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش و اندازه گیری توانایی پیش بینی آنها، مترجم: محمد رضا مهدویفر(۱۳۷۵)، دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزهای معونت آبخیزداری وزارت جهاد سازندگی.

۳۳. فرهنگ‌فر، ر.، کمك‌پناه ع.۱۳۷۳. پهنه‌بندی ناپایداری شیب‌های سنگی در مناطق زلزله‌خیز. مجموعه مقالات اولین کارگاه تخصصی بررسی راهبردهای کاهش خسارات زمین‌لغزه در کشور. ص.۴۱۰-۴۲۹.

۳۴. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. ۱۳۷۸. آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله، ویرایش دوم. مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

۳۵. معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها ، مراتع و آبخیزداری. ۱۳۸۵. نقشه های رقومی کاربری اراضی کشور.

۳۶. مهدویفر، م.ر. ۱۳۷۶. پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش منطقه خورش رستم(جنوب‌غربی شهرستان خلخال)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه.

۳۷. مهدویفر، م.ر.، منتظرالقائم، س. ۱۳۸۲. مطالعات پیشاهنگ پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در جنوب البرز مرکزی. پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، گزارش طرح تحقیقاتی برای کمیته فرعی – تخصصی مقابله با خطرات ناشی از زلزله و لغزش لایه‌های زمین.

۳۸. مهدویفر م.ر.، نیک اندیش، ن.۱۳۸۴. مطالعات مورد نیاز جهت جلوگیری از وقوع یا کاهش خسارات ناشی از زمین لغزش در کشور، جلد سوم: کلیات مطالعات و اقدامات مورد نیاز جهت بررسی زمین لغزشها در کشور، کارگروه زلزله و لغزش لایه‌های زمین.

۳۹. میانجی یعقوب ۱۳۷۷، تحلیل چند متغییره آماری احتمال وقوع زمین لغزش با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در طالقان، پایان نامه کارشناسی ارشد جغرافیا ، دانشگاه تربیت مدرس.

۴۰. میرصانعی، س.ر.، کاردان،ر. ۱۳۷۸، نگرشی تحلیلی بر ویژگی‌های زمین‌لغزش‌های کشور، مجموعه مقالات اولین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت معلم، ص۲۴۷-۲۵۸.

۴۱. نیك‌اندیش، ن. ۱۳۷۸، بررسی نقش عوامل هیدرواقلیم در وقوع حرکات توده‌ای در حوضة کارون میانی با توجه به نقش رسوبزایی آنها، پایان نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، گروه جغرافیا.

۴۲. نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، ۱۰۹ ص.

۴۳. نوگل سادات، م.۱۳۷۵. طرح جامع خطر رانش استان گیلان. وزارت مسکن و شهر سازی، زیر کمیته زلزله و لغزش لایه های زمین.

44. 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.

45. Ajalloeian R. et al, 1379; Investigation of Landuse in Relation to Landslide by Using Gis, Department of Geology, Isfahan University, Isfahan-Iran

46. Alexander, D.E. 2002. Principal of Emergency Planning and Management, New York, Oxford University Press.

47. Amimoto, P.Y. 1978. Erosion and Sediment Control Handbook. California Division of Mines and Geology, Department of Conservation. 197 p.

48. Anbalagan, R. 1992. Landslide Hazard Evaluation and Zonation Mapping in Mountainous Terrain. Engineering Geology, 32: 269-278.

49. Anbalagan, R; Gupta, P; sharma, S. 1992. Landslide Hazard Zonation (LHZ) Maping of Kathgodam-Nainital Area, Kumauh Himalaya, India. Regional Symposium on Rock Slopes, 1992, India. Pp. 3_4.

50. Anderson, M.G. Richards, K.S.1987. Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology, John Wiley & Sons, New York, 648 pp.

51. Alavi, M., 1991. Sedimentary and Structural Characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in Northeastern Iran, Geol. Soc. Of Amer. Bull. 103: 983-992

52. Alexander, D. E. 2002. Principal of Emergency Planning and Management,New york: Oxford University Press.

53. Australian Geomechanics Society. 2000. Landslide Management Concept and Guidelines. Subcommitte on Landslide Risk Management. Australia.

54. Ayenew, T., & G., Barbieri, 2005. Inventory of landslides and Susceptibility Mapping in the Dessie Area, Northern Ethiopia. Engineering geology, (77): 1-15.

55. 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.

56. Bates, R. L., Jackson, J. A. 1987. Glossary of Geology, Virginia, American Geological Institute, ۷۸۸ pp.

57. Berberian, M. et al., 1981. Towards a Paleogeography and Tectonic Evaluation of Iran. Canadian Journal of Earth Sciences. 18(2): 210-265.

58. Brabb, E.E. 1984. Innovative Approaches to Landslide Hazard and Risk Mapping. IV International Symposium on Landslides(Toronto, 1984), 1:307-323

59. Brabb, E.E. et al. 1972. Landslide Susceptibility in San Mateo County, California, US Geological Survey Miscellaneous field studies map. MF360, scale 1:62500 .

60. 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.

61. Brunsden, D. et al. 1975. Large Scale Geomorphological Mapping and Highway Engineering Design. Quart. J. Eng. Geol., 8: 227-253.

62. Campbell, R.1975. Soil Slips, Debris Flows and Rainstorms in the Santa Monica Mouuntains and Vicinity, Southern California" USGS Professional paper 851.

63. Bureau of Indian Standards. 1998. Preparation of Landslide Hazard Zonation Maps in Mountainous Terrains-Guidelines, Hill Area Development Engineering Sectional Committee, New Delhi, India.

64. 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.

65. Canutti, P. 1986. Slope Stability Mapping in Tuscany Italy, In: International Geomorphology. 142: 231-239.

66. Canutti et al. 1985. Stabilita dei Versanti Nellarea Representative di Montespertoli (Firenze), S.E.L.C.A Firenze. 2 mapsheet.

67. 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.

68. Carrara, A., Catalano, E., Sorriso Valvo, M., Riali, C., and Osso, I., 1978, Digital Trrain Analysis for Land Evaluation. Geologia Applicata e Idrogeologia, Vol. XIII: 69-127.

69. Carrara, A. and Merenda, L., 1974. Metodologia per un Censimento Degli Eventio Franoso in Calabria. Geologica Applicata e Idrogeologia, X:237-255.

70. 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.

71. 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.

72. Chang, S.C.1992. The Simprecise Mapping and Evaluation System for Zonation Engineering Geological and Landslide hazard, Landslide, volume 2, 1992. pp.907.

73. 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.

74. Chowdury, R.N. 1984. Recent Developments in Landslide Studies: Probabilistic Models, Proc. 4th. International Symposium on Landslide, Toronto, Canada, 1: 209-220.

75. 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.

76. Coates, D.R. 1977. Landslide Prespectives, In: Landslides, Coates(Ed.), Geological Society of America, pp. 3-28.

77. Crozier, M. J., 1986, Landslides: Causes, Consequences and Environment. Croom Helm, London, England, 245pp.

78. 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.

79. Cruden, D. M. 1991. A Simple Definition of a landslide. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, 43: 27-29.

80. Das D., GIS application in hydrogeological studies, Department of Environmental Science, University of Kalyani, W.B. - 741235, India ddas@klyuniv.ernet.in

81. Davis, J.C. 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. Wiley & Sons, New York, 546 pp.

82. Davis J.C., Chung C., Ohlmacher G. C. 2003. Two Models for Evaluation Landslide Hazards. Proc. of IAMG annual metting. Portsmouth, UK. Website: http://www.iamg.org/meetings/Proceedings_2003/papers/Davis.pdf

83. 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.

84. Disperati L., Guastaldi E., Rindinella A., 2003. Landslide Hazard Prediction in the North-eastern Apennines(Italy). Geophysical research abstracts.

85. Einstein,H.H., 1988. Landslide Risk Asssessment Procedure Lanslides (Proceeding of 5th International Symposium on Landslides), C. Bonnard(ed.), pp.1075-1090

86. Eoishacher, G. H., Clague J. J. 1984. Destructive Mass-movement in Thign Mountains Hazard and Management, Geological Survey of Canada, P. 84-106.

87. 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 / PROCCEDINGS_ 2000 / PAPERS / Gokceogiu.pdf,

88. 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.

89. *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/zipped/terrain.pdf

90. 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

91. 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.

92. Gokceoglu, C., et al. 2005. The 17 March 2005 Kuzulu Landslide(Sivas, turkey) and Landslide-Susceptibilty Map of its Near Vicinity, Engineering Geology, Vol.81, pp. 65-83

93. 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.

94. Grunder, M. 1980. Beispiel Einer Anwendungsorientierten Gefahrenkartierung 1:25000 fur Forstliche Sanierungsprojeckte Im Berner Oberland (Schweiz) Proceedings Interpraevent 1980, Bad Ischl, Austria, 4: 353-360.

95. 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.

96. Haeri, S.M. Samiee, M. 1994. Same Methods on Landslide Microzonation, Proc. 10th European Conference on Earthquake Engineering: 95-100.

97. 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.

98. Hansen, M. J. 1984. Strategies for Classification of Landslides, In: Slope Instability, Brunsden & Prior(eds.), Jhon Wiley and Sons Ltd. pp. 1-25.

99. Hermelin, M. 1990. Bases Fisicas Para los Planes de Desarollo de los Municipios de Risaralda. AGID reports nr. 13. Environmental geology and natural hazard of the Andean region. pp. 269-274.

100. Hermelin, M. 1992. Medio Ambiente, Planes de Desarollo 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.

101. Hearn, G.J., 1992. Terrain Hazard Mapping at Ok Tedi Mine, Papua New Guinea. In:Bell(ed.) Proc. on Landslides, 971-976.

102. Hutchinson, J.N. 1968. Mass movement, In: Enclyclopaedia of Aarth Sciences, Fairbridge(Ed.), Reinhold, New York, pp. 688-695.

103. International Association of Engineering Geology(IAEG).1976. Engineering Geological Maps: A Guide to Their Preparation. UNESCO Press, Paris, 79pp.

104. 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.

105. Jagannatha Rao P., Kumar K., 1992. Landslide Hazard Zonation in Himalaya. Proc. Int. Regional symposium on rock slopes, pp. 53-59.

106. 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.

107. Kanagawa Prefectural Government. 1986. Prediction of Seismic Damage in Kanagawa Prefecture, In: TC4, 1993. Manual for Zonation on Seismic Geotechnical Hazards, pp. 54-56.

108. Keefer, D.K. et al., 1987. Real-Time Landslides Warning During Heavy Rainfall, Science, 238: 921-925.

109. Khawlie M.R., 1994. Hazard Mapping: The Abou A'li river Flood, Tripoli-Lebanon. Proc. 7th international IAEG congress. 2: 2049-2057.

110. Kienholz, H. 1977. Kombinierte Geomorphologische Gefahrenkarte 1:10000 Von Grindelwald. Geographica Bernensia G4, Geographisches Institut Universitat, Bern, Switzerland.

111. Kienholz, H. 1987. Maps of Geomorphology and Natural Hazards of Grindelwald, Switzerland, scale 1:10000, Arctic and Alpine Research, 10: 169-184.

112. 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.

113. Kienholz, H., 1984, Hangstabilitats- und Gefahrenbeurteilung Im Nepalischen Mittelgebirge. Proc. Interpraevent 1984, Villach, Austria, 2: 331-342.

114. 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.

115. Kienholz et al. 1988. Rigi Nordlene. Beurteilung der Naturgefahren und Waldbauliche Prioritatenfestlegung. Proc. Interpraevent 1988, Graz, Austria, 1: 161-174.

116. 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.

117. Koukis, G., Ziourkas, C. 1991. Slope Instability Phenomena in Greece: A Statistical Analysis. Bull. Int. Assoc. Eng. Geol. 43:47-60

118. 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.

119. 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.

120. Lumb,P.1975. Slope Failures in Hong Kong", Quartly Journal of Engineering Geology,P. 31,65.

121. Luzi, L. 1995. GIS for Slope Stability Zonation in the Fabriano Area, Central Italy, Ms thesis, ITC, Enschede, The Netherland, 1995.

122. Lumb, P. 1975. Slope Fialures in Hong Kong, Quartly Journal of Engineering Geology, pp. 31-65.

123. Mahdavifar, M.R., 2000. Fuzzy Information Processing in Landslide Hazard Zonation and Preparing the Computer System. Landslides in research, theory and practice. 993-997.

124. 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.

125. Medvedev, S. M., 1962. Earthquake Engineering, USSR Academy of Sciences (in Russian).

126. Mora, S., Vahrson, W.-G., 1994, Macrozonation Methodology for Landslide Hazard Determination: Bulletin of the International Association of Engineering Geology,, 31(1): 49-58.

127. Mulder, H. F. H. M., van Asch, T. W. J., van, 1988, A Stochastical Approach to landslide Hazard Determination in a Forested Area. Proceeding 5th. International Symposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, 2: 1207-1210.

128. Mulder, H. F. H. M. 1991. Assesment of Landslide Hazard. Netherlandse Geografische Studies. PhD thesis University of Utrecht, 150p.

129. 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.

130. 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.

131. Okimura, T. Kawatani, T. 1986. Mapping of the Potential Surface-failure Sites on Granite Mountain Slopes. In: International Geomorphology, 1: 121-138.

132. 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

133. Pachauri, A. K., and Pant, M.,1992, Landslide Hazard Mapping Based on Geological Attributes. Engineering Geology, Vol. 32, No. ½, pp. 81-100.

134. Perrot, A., 1988, Cartographie des Risques de Glissement en Lorraine. Proceeding 5th. International Symposium on Landslides. Lausanne, Switzerland, Vol. 2, pp. 1217-1222.

135. 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.

136. Pzham, M.R. & Shariat Jafari, M., 1998. A Statistical Approach for logical Modeling of landslide Hazard zonation. 8th International IIAEG congress. P: 965-969..

137. 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.

138. 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

139. 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/applicatio/natural_hazard/landslides .

140. Runqiu, H., Yuanguo, L. 1992. Logial Message Model of Slope Stability Prediction in Three Gorges Reservoir Area, China, Proceedings 6th International Symposum on Landslides, Christchurch, Newzeland, Vol. 2, pp. 977-981.

141. 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.

142. 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.

143. Sabto, N. 1991. Probabilistic Modelling Applied to landslides in Central Colombia Using GIS Procedures. Unpublished Msc thesis, ITC, Enschede, Netherlands, 26pp.

144. Safavi, S. M.,1977. Assessment of the Landslide Hazard in the Damavand Basin. Ms thesis, ITC, Enschede, The Netherland,.

145. SAOAS.1991. Primer on Natural Hazard Management in Integrated Regional Development Planing, Chapter 10: Landslide Hazard Zonation. Department of Reigonal Development and Environment Executive Secretariat for Economic and Social Affairs Organization of American States

146. 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.

147. 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.

148. Seijmonsbergen, A. C., 1992, Geomorphological Evaluation of an Alpine Area and its Application to Geotechnical and Natural Hazard Appraisal. PhD Thesis, Uneversity of Amsterdam, 109 pp.

149. 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.

150. Sharpe, C. F.S. 1938. Landslide and Related phenomena, Columbia Univ. Press, New York.

151. Smith K. 1996. Environmental Hazards Assessing Risk and Reducing Disaster, Second Edition, Routledge ed. 389p.

152. 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.

153. Sorzana, P. F.1980. Lafrana di Arnulf, nel Comane di Cherasco(cn)(febbraia 1974)", P. 2:505-529.

154. Stampeli, G.M.., 1978. Etud Geologique Generale de l'Elbourz Oriental Au sud de Gondad-e-Qabus, Iran NE. These Geneve, 329p.

155. Statgraphics. 1991. Statgraphics Reference Manual, Version 5.0. STSC, Inc. USA.

156. Stevenson, P. C., 1977, An Empirical Method for the Evaluation of Relative Landslide Risk, (Proceeding Symposium in ASSOC. Eng. Geol., Praha), Bulletin of International Association of Engineering Geology, No. 16, pp. 69-72.

157. 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.

158. Turrini, M. C., Semenza, P. and Abu Zeid, N. 1994, "Landslide Hazard Zonation of the Alpago Area (Belluno, Northern Italy)", 7th. International Congress, International Association of Engineering Geology, Lisbon, Portugal, Vol.3, pp. 2181-2189.

159. van Westen, C. J., 1993, Application of Geographic Information Systems to landslide Hazard Zonation. Vol. ١: Theory, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC) Publication No. ١٥.

160. 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.

161. Varnes, D.J. 1984. Landslide Hazard Zonation: a Review of Priciples and Practice, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization(UNESCO), France.

162. 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.

163. Wieczorek, 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.

164. Wright, R.H.,, Campbell, R.H. Nilsen, T.H. 1974. Preparation and Use Isopleth Maps of landslide Deposits. Geology, No. 2, pp. 483-485.

165. Wu Y., Yin K., 2000. Information Analysis System for landslide Hazard Zonation. Proc. On Landslide in research, theory and practice, 1593-1598.

166. Yin, K.L., Yan, T.Z. 1988. Statistical Prediction Model for Slope Instability of Metamorphosed Rocks. Proceedings of 5th International Syposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Vol. 2, pp. 1269-1272.

167. Wieczorek, 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.

168. Wright, R.H.,, Campbell, R.H. Nilsen, T.H. 1974. Preparation and use isopleth maps of landslide deposits. Geology, No. 2, pp. 483-485.

169. Wu Y., Yin K., 2000. Information analysis system for landslide hazard zonation. Proc. On Landslide in research, theory and practice, 1593-1598.

170. Yin, K.L., Yan, T.Z. 1988. Statistical prediction model for slope instability of metamorphosed rocks. Proceedings of 5th International Syposium on Landslides, Lausanne, Switzerland, Vol. 2, pp. 1269-1272.

171. 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.

پیوست ۱: شرح روش non-hierarchical cluster analysis
جهت طبقه بندی گروههای خطر

همانطور که در بخش ۸-۱-۵ ذکر شد مقدارتحلیل عامل(W، حاصل کلی مجموع اختلاف نسبتهای سطحی با میانگین در هر گروه) با استفاده از فرمول زیر محاسبه می گردد:

$$W = \sum_{i=1}^{i=3} \sum_{j=1}^{j=n_i} (x_{ij} - x_j)^2 \qquad (۱)$$

که در آن : X_{ij} ، نسبت سطحی j از گروه i و n_i تعداد نسبتهای سطحی در گروه i می باشند.

برای مثال فرض می شود که از روی هم اندازی لایه ها شانزده نسبت سطحی زیر حاصل شده باشد:

۰,۰۱،۰,۵۳، ۰,۱۹، ۰,۰۳، ۰,۳۹، ۰,۰۴، ۰,۰۵، ۰,۸۸، ۰,۱۱، ۰,۰۱، ۰,۲۱، ۰,۰۳، ۰,۶۱، ۰,۰۱، ۰,۰۴، ۰,۱۱.

مرحله ۱: نسبتها به روش صعودی مرتب می گردند:

۰,۰۱، ۰,۰۱، ۰,۰۱، ۰,۰۳، ۰,۰۳، ۰,۰۴، ۰,۰۴، ۰,۰۵، ۰,۱۱، ۰,۱۱، ۰,۱۹، ۰,۲۱، ۰,۳۹، ۰,۵۳، ۰,۶۱، ۰,۸۸.

بازه نسبتها از ۰,۱ تا ۰,۸۸ می باشد. این بازه برای تشکیل سه گروه به طور مساوی به سه قسمت مساوی تقسیم می گردد: ۰,۲۹> X> ۰,۰۱، ۰,۵۸>X > ۰,۲۹، و ۰,۸۸> X> ۰,۵۸.

مرحله ۲: مقدارW با استفاده از مقادیر قرار گرفته در هر گروه محاسبه می گردد:

۰,۵۸ <X <۰,۸۸	۰,۲۹ < X<۰,۵۸	۰,۰۱ <X <۰,۲۹
۰,۸۸ ،۰,۶۱	۰,۵۳ ،۰,۳۹	۰,۰۱، ۰,۰۱، ۰,۰۱
		۰,۰۴، ۰,۰۳، ۰,۰۳
		۰,۱۱، ۰,۰۵، ۰,۰۴
		۰,۲۱، ۰,۱۹، ۰,۱۱
X3=۰,۷۴۵	X2=۰,۴۶	X1=۰,۰۷
W3=۰,۰۳۶۵	W2=۰,۰۰۹۸	W1=۰,۰۵۳۴
W=W1+W2+W3 =۰,۰۵۳۴ +۰,۰۰۹۸ +۰,۰۳۶۵ =۰,۰۹۹۶		

هدف از این کار به حداقل رسانیدن مقدار W است. به عبارتی دیگر هدف پیدا کردن کوچکترین مقدار W است که می تواند برای سه گروه از مقادیر محاسبه گردد. این کار بر اساس اصول حداقل مربعات انجام می گردد، که روشی آماری و معمول برای اینکار محسوب می گردد.

مرحله ۳: مرز به سمت راست حرکت داده می شود تا امکان کاهش W بررسی گردد:

۰,۰۱ <X <۰,۳۹	۰,۳۹ < X<۰,۵۸	۰,۵۸ <X <۰,۸۸
۰,۰۱ ،۰,۰۱ ،۰,۰۱	۰,۵۳	۰,۸۸ ،۰,۶۱
۰,۰۴ ،۰,۰۳ ،۰,۰۳		
۰,۱۱ ،۰,۰۵ ،۰,۰۴		
۰,۲۱ ،۰,۱۹ ،۰,۱۱،۰,۳۹		
X1=۰,۰۹۴۶	X2=۰,۵۳	X3=۰,۷۴۵
W1=۰,۱۴۷۹	W2=۰	W3=۰,۰۳۶۵
W=W1+W2+W3 =۰,۱۴۷۹ +۰ +۰,۰۳۶۵ =۰,۱۸۴۳۵		

به دلیل اینکه مقدار محاسبه شده W از مقدار قبلی بیشتر است، این حرکت اشتباه است؛ در نتیجه مرز باید برای کاهش W به سمت چپ حرکت داده شود.

مرحله ۴: مرز با جابجا کردن یک عدد، به سمت چپ حرکت داده میشود. مقدار W مجددا محاسبه و با مقدار اولیه مقایسه می گردد:

۰,۰۱ <X <۰,۱۹	۰,۱۹ < X<۰,۵۸	۰,۵۸ <X <۰,۸۸
۰,۰۱ ،۰,۰۱ ،۰,۰۱	۰,۲۱ ،۰,۵۳۰ ،۰,۳۹	۰,۸۸ ،۰,۶۱
۰,۰۴ ،۰,۰۳ ،۰,۰۳		
۰,۱۱ ،۰,۰۵ ،۰,۰۴		
۰,۱۹ ،۰,۱۱		
X1=۰,۰۵۷۳	X2=۰,۳۷۶۷	X3=۰,۷۴۵
W1=۰,۰۳۲۰	W2=۰,۰۵۱۵	W3=۰,۰۳۶۵
W=W1+W2+W3 =۰,۰۳۲۰ +۰,۰۵۱۵ +۰,۰۳۶۵ =۰,۱۲		

کاهشی حاصل نشد. بنابراین مرز اولیه برای سمت چپ مناسب است.

مرحله ۵: حالا مرز سمت راست به سمت راست حرکت داده می شود:

۰,۰۱ <X <۰,۲۹	۰,۲۹ < X<۰,۶۱	۰,۶۱ <X <۰,۸۸
۰,۰۱ ،۰,۰۱ ،۰,۰۱	۰,۵۳،۰,۶۱ ،۰,۳۹	۰,۸۸
۰,۰۴ ،۰,۰۳ ،۰,۰۳		
۰,۱۱ ،۰,۰۵ ،۰,۰۴		
۰,۲۱ ،۰,۱۹ ،۰,۱۱		
X1=۰,۰۷	X2=۰,۵۱	X3=۰,۸۸
W1=۰,۰۵۳۴	W2=۰,۰۲۴۸	W3=۰,۰
W=W1+W2+W3 =۰,۰۵۳۴ +۰,۰۲۴۸ +۰ =۰,۰۷۸۲		

در مقدار W کاهش حاصل شد. اگر باز هم عددی در گروه سوم باقی مانده باشد مرز بایستی به سمت راست کشیده شود تا احتمال کاهش بیشتر W بررسی شود. ولی چون در این مثال عددی دیگر نمانده است در نتیجه این مرز به همین صورت باقی خواهد ماند. اگر حرکت به سمت راست موجب زیاد شدن مقدار W

می گردید مانند مرز سمت چپ احتمال کاهش W با حرکت دادن مرز به سمت مخالف بررسی می گردید. با این کار بهرین مقادیر برای تفکیک سه گروه بدست آمده است.

در نتیجه در این مثال محدوده سه گروه خطر اولیه:

۰,۱ < X<۰,۲۹

۰,۲۹< X<۰,۵۸

۰,۵۸< X <۰,۸۸

به صورت زیر تغییر خواهد یافت:

۰,۱ < X<۰,۲۹

۰,۲۹< X<۰,۶۱

۰,۶۱< X <۰,۸۸

پیوست ۲: راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران در مقیاس منطقه ای (۱:۲۵۰،۰۰۰)

فهرست مطالب

۱- سوابق و کاربردها

۲- سوالات اساسی

۳- فرضیات

۴- مروری بر روشها ونتایج

۵- مدارک و منابع مورد نیاز

۶- مراحل تحلیل

۷- خروجی ها

۱- سوابق و کاربردها

وقوع زمین‌لغزشهای متعدد و گسترش روزافزون آنها در بسیاری از نقاط کشور ایران در سالهای اخیر و ظهور اثرات مخرب آنها موجب گشته که نظر مسئولین و بویژه کارشناسان ذیربط به این بلای طبیعی بیش از پیش معطوف گردد؛ شکی نیست که خسارات و پیامدهای ناشی از این پدیده که بطور 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 دو دهه 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).

این راهنما به منظور پیشنهاد روش پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه ای(۱:۲۵۰،۰۰۰) تهیه شده است. اجرای این روش در انجام مطالعات آتی موجب یکسان سازی روشها و فراهم نمودن قابلیت مقایسه نقشه های پهنه بندی تهیه شده در نقاط مختلف کشور خواهد شد.

اتخاذ روشهایی که در این راهنما پیشنهاد شده است برای انجام پهنه بندی هایی که در مقیاس مذکور به سفارش ریر کمیته زلزله و لغزش لایه های زمین انجام خواهد گرفت ضروری خواهد بود. تغییر روش و یا وزنهای پیشنهادی تنها در صورتی میسر است که مشاوری که تمام یا بخشی از پهنه بندی های مورد نظر به وی واگذار گردیده ، عدم امکان روشهای پیشنهادی را با ذکر دلایل کافی به زیر کمیته اعلام و زیر کمیته با بررسی و تصویب پیشنهادات، مجوز تغییر را صادر نماید.

تمامی مجریان این راهنما بایستی با اصول اولیه پهنه بندی خطر زمین لغزش آشنا و دارای کارشناسانی از رشته های مرتبط مانند زمین شناسی مهندسی، ژئومورفولوژی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) باشند.

خروجی این راهنما نقشه ای خواهد بود که منطقه مورد مطالعه را از نظر خطر زمین لغزش به مناطقی با درجات متفاوت تقسیم می نماید.

۲- سوالات اساسی

پهنه بندی خطر زمین لغزش با هدف پاسخ به سوال زیر انجام میگیرد:

- ✓ پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه چه میزان است؟

جواب به سوالات زیر ، پاسخ گویی به سوال فوق را ساده تر می سازد:

- ✓ عوامل وقوع زمین لغزش در منطقه کدامند؟
- ✓ زیر گروههای هر عامل به چه میزان در وقوع زمین لغزش موثرند؟

۳- فرضیات:

تعدادی فرضیات اساسی در اینجا در نظر گرفته شده است. فرضیات اولیه عبارتند از:

- بر اساس اصل "گذشته کلیدی برای آینده است" زمین لغزشهای موجود نیز می توانند کلیدی برای پیش بینی رخداد زمین لغزشهای آتی باشند. بنابر این می توان با بررسی شرایط رخداد آنها از نظر نوع عوامل ، پتانسیل ایجاد زمین لغزش را در آینده ، بر اساس شرایط موجود از نظر عوامل بررسی نمود

- نتـایج بدسـت آمـده از میـزان تـاثیر عوامـل در وقـوع زمـین لغـزش در یـک بخـش، بـر اسـاس خصوصیات آن، قابل تعمیم بـه بخشهای دیگر است. این خصوصیات مـی توانـد شـامل تمـامی موارد مربوط به علل زمین لغزش مانند سنگ شناسی، توپوگرافی و ... باشد؛

- کلیه اطلاعات لازم برای ارزیابی پتانسیل زمین لغزش از قبیل نقشه هـای زمـین شناسـی، نقشه هـای توپـوگرافی، نقشه هـای کـاربری اراضـی و ...، موجـود و یـا امکـان تهیـه آن در مطالعـات مربوطه وجود دارد

- کلیه مشاورانی که قصد انجام پهنه بندی خطر زمین لغزش را در قالب این راهنما دارند دارای کارشناسانی از رشته‌های زمین شناسی مهندسی (یـا مهندسـی ژئوتکنیـک)، ژئومورفولـوژی یـا دیگر رشته هـای مرتبط هستند کـه در زمینـه مطالعـات زمـین لغزش و پهنـه بندی خطـر زمـین لغزش تجربه داشته و با مفاهیم اولیه آن آشنایی دارند.

- کلیه مشاورانی که قصد انجام پهنه بندی خطر زمین لغزش را در قالب این راهنما دارند دارای امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و کارشناسان متبحر در استفاده از آن هستند.

٤- مروری بر روشها و نتایج

این پهنه بندی شامل شناسایی عوامل وقوع زمین لغزش بـه همراه اطلاعـات حاصـله از GIS است. طـی آنـالیز در ابتدا نقشه عوامل وقوع زمین لغزش تهیـه مـی شود. در مرحلـه بعد بـا روی هم انـدازی لایـه هـا، واحدهای کاری (که واحدهای ترکیبی نامیده می شوند) تشکیل می گردد. سپس بر اساس وزنـها و امتیـازات ارائـه شـده در ایـن راهنمـا یـا وزنـها و امتیـازات مـستخرج از تحلیـل اطلاعـات، بـه لایـه هـا اعـداد مربوطـه اختصاص داده شده و با استفاده از روابط پیشنهادی عدد خطر برای هر واحد محاسبه میگردد.

خروجی این مرحله یـک نقشه(کـه هم بـه صـورت چـاپی و هم رقومی تهیـه خواهد شد) و یـک گـزارش خواهد بود؛ گزارش حاوی شرایط محلی از نظر عوامل زمین لغزش، استعدادمنطقه بـه زمین لغزش، زمین لغزشهای مهم (در صورت موجود بودن در منابع اولیه یا مطالعات مجری)، چگونگی تحلیلها و نحوه بدست آوردن خروجی ها خواهد بود.

٥- مدارک و منابع مورد نیاز

٥-١- نقشه ها

تیم مجری بایستی نسبت به جمع آوری نقشه های مورد نیاز به شرح زیر اقدام نماید:

١. نقشه های توپوگرافی در مقیـاس ١:٢٥٠،٠٠٠ کـه در این مطالعـه بـه عنـوان نقشه هـای مبنـا در نظر گرفته می شوند. در این نقشه منحنی های ارتفاعی، جاده ها، رودخانه ها و سایر اطلاعـات موجود درنقشه های استاندارد توپوگرافی موجود مـی باشد؛ نقـاط شاخصـی کـه در این نقشه هـا موجود هستند نقش مهمی را در روی هم اندازی اطلاعاتی سایر نقشه هـا و اطلاعـات عکسهای هوایی در GIS ایفـا خواهنـد کـرد لـذا نقشه هـای توپـوگرافی از اهمیـت خاصـی در ایـن مطالعـه برخوردارند؛

٢. هر نقشه ای که به نـوعی بیـانگر ناپایداری هـای موجوددرمنطقـه باشند؛ این نقشه هـا مـی توانـد شامل پهنه بندی انجام شده قبلی در منطقه نیز باشند؛

٣. نقشه های زمین شناسی سازمان زمین شناسی یا شرکت نفت در مقیاس ١:٢٥٠،٠٠٠ ؛

٤. کلیه نقشه هایی که به نحوی منعکس کننده سایر پارامترهـای مورد نظر بـرای پهنـه بنـدی باشند شامل:

- پهنه بندی خطر زلزله(در مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰) طرح کالبدی ملی
- نقشه کاربری اراضی معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها ، مراتع آبخیزداری کشور(در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰)،

۵-۲- سایر منابع اطلاعاتی

۱. اطلاعات موجود در بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور موجود در گروه بررسی زمین لغزشهای معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها ، مراتع آبخیزداری کشور ؛

۲. مقالات، پایان نامه ها و گزارشاتی که به هر نحو اطلاعاتی را در مورد زمین لغزشها و یا پارامترهای آن در منطقه حاصل نماید و یا از نظر تئوری راهنمایی مناسب را فراهم آورد؛

۳. اطلاعات بارندگی سالیانه برای ایستگاههای منطقه برای دوره ۳۰ ساله.

٦- *مراحل تحلیل*

تحلیل شامل پنج مرحله است که هر مرحله به صورت مشروح در زیر خواهد آمد:

۱. رقومی نمودن نقشه های پایه شامل نقشه توپوگرافی (خطوط کنتور، راهها و زهکش ها)، زمین شناسی (واحدهای لیتولوژیکی، گسلها، محورهای تاقدیس) ، کاربری اراضی، نقشه خطر زلزله و نقشه هم باران؛

۲. تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) وتهیه نقشه های شیب و وجه شیب از آن؛

۳. آماده سازی نقشه های عوامل؛

۴. تحلیل اطلاعات

۵. پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش

٦-۱- رقومی نمودن نقشه های پایه

در این مرحله نسبت به رقومی نمودن نقشه های زیر(یا تهیه فایلهای آماده آنها در صورت تهیه شدن توسط مراکز معتبر) اقدام میگردد:

۱. نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰،شامل لایه های لیتولوژی، تاقدیس و گسل؛

۲. نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰

۳. نقشه پهنه بندی خطر زلزله (طرح کالبدی ملی ایران، به مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰)

٦-۲- تهیه مدل ارتفاعی رقومی(DEM)

در این مرحله با استفاده از لایه رقومی شده توپوگرافی و نرم افزارهای مرسوم GIS نسبت به تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) اقدام می گردد. سپس با استفاده از این مدل، نسبت به تهیه لایه های زیر اقدام می گردد:

الف: **میزان شیب**: میزان شیب در ۶ گروه زیر تهیه می گردد:

۰-۵ درجه

۵-۱۵ درجه

۱۵- ۳۵ درجه

۳۵- ۴۵ درجه

بیش از ۴۵ درجه

ب- **جهت شیب**: علاوه بر نقشه شیب لازم است لایه وجه شیب نیز با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی تهیه گردد. برای اینکار به ترتیب زیر عمل می گردد:

۱- مناطقی که طبق نقشه شیب میزان شیب آنها کمتر از ۵ درجه است ، مناطق مسطح(بدون وجه شیب) در نظر گرفته می‌شوند

۲- برای سایر مناطق وجه شیب به صورت زیر طبقه بندی می گردد:

شمال: آزیموت بین ۳۱۵ تا ۴۵ درجه؛

شرق: آزیموت بین ۴۵تا ۱۳۵ درجه؛

جنوب: آزیموت بین ۱۳۵ تا ۲۱۵ درجه؛

غرب: آزیموت بین ۲۱۵ تا ۳۱۵ درجه؛

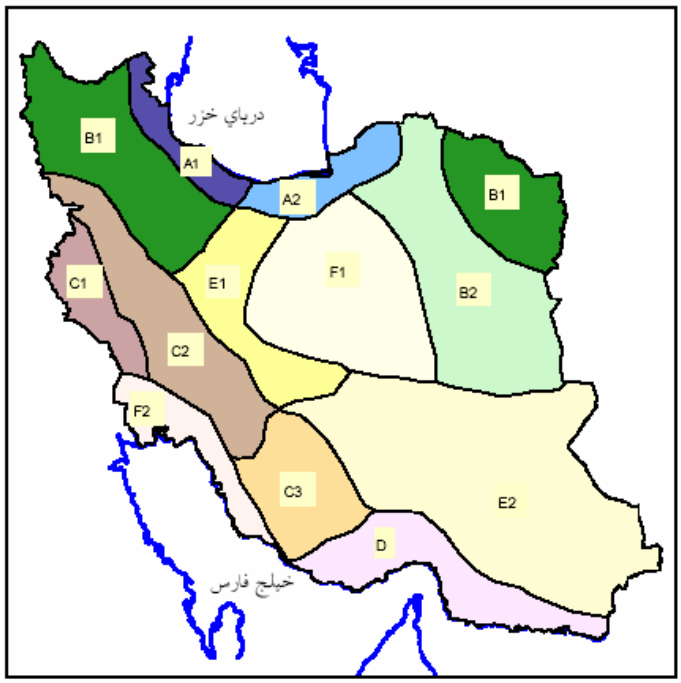
٦-۳- آماده سازی نقشه های عوامل

عوامل در نظر گرفته شده برای پهنه بندی خطر زمین لغزش شامل ۷ لایه زیر می باشد:

۱. لیتولوژی(عارضه پلی گونی): این لایه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی رقومی شده در مرحله قبل آماده می گردد. بدین صورت که کلیه واحدهای لیتولوژیکی نمایش داده شده در راهنمای نقشه با بالاترین دقت ذکر شده در نقشه استخراج می گردد؛ در نتیجه اگر برخی از واحدها در حد سازند و برخی دیگر در حد بخشهای سازند(Member) و برخی دیگر در حد نوع لیتولوژی در نقشه، تفکیک شده باشند بایستی به ترتیب به نام سازند، بخش، و لیتولوژی در نقشه لایه لیتولوژی منعکس گردند.

۲. شیب(عارضه پلی گونی): که قبلاً با استفاده از نقشه DEM در ۶ زیرگروه تهیه شده است؛

۳. متوسط بارندگی سالیانه (عارضه پلی گونی): پارامتر متوسط بارندگی سالیانه از جمله داده های سازمان هواشناسی کشور است که با استفاده از داده های یک دوره اقلیمی(۳۰ ساله) برای ایستگاه های منطقه مورد مطالعه قابل استخراج است. دلیل انتخاب دوره بازگشت ۳۰ ساله آن است که اکثر اقلیم شناسان حداقل زمان برای فعالیت در حیطه اقلیم را ۳۰ ساله در نظر گرفته اند؛ در این مرحله در ابتدا نقشه هم باران با استفاده از داده های مذکور تهیه می گردد. در صورتیکه منطقه مورد مطالعه دارای شیب و ناهمواری زیادی نباشد از روش واسطه یابی جهت ترسیم خطوط همباران استفاده گردد و در صورت تغییر شیب و افزایش ناهمواری نیاز است که تغییرات ارتفاعی و گرادیان حاصل از آن جهت تهیه نقشه متوسط بارندگی سالیانه افزوده گردد. سپس منحنی های هم بارش سالیانه به صورت خطی رقومی گردیده و با توجه به منطقه اقلیمی که محدوده مورد مطالعه در آن واقع شده است(شکل ۱)، محدوده های قرار گرفته در بین منحنی ها به ۵ گروه(یا کمتر) طبق ستون دوم ازجدول ۱ تقسیم میگردند:



شکل ۱: محدوده اقلیمهای مختلف

جدول ۱: زیر گروهها و بارندگی میانگین سالیانه هر یک از مناطق مختلف اقلیمی

منطقه اقلیمی	شماره زیر گروه	میزان بارندگی سالیانه
منطقه A	۱	۳۰۰>
	۲	۷۰۰-۳۰۰
	۳	۱۰۰۰-۷۰۰
	۴	۱۲۰۰-۱۰۰۰
	۵	۱۲۰۰<
منطقه B	۱	۱۵۰>
	۲	۲۵۰-۱۵۰
	۳	۳۵۰-۲۵۰
	۴	۴۵۰-۳۵۰
	۵	۴۵۰<
C	۱	۲۰۰>
	۲	۳۰۰-۲۰۰
	۳	۴۰۰-۳۰۰
	۴	۵۰۰-۴۰۰
	۵	۵۰۰<
E ،D	۱	۱۰۰>
	۲	۲۰۰-۱۰۰
	۳	۲۵۰-۲۰۰
	۴	۳۰۰-۲۵۰
	۵	۳۰۰<
F	۱	۱۰۰>
	۲	۲۰۰-۱۰۰
	۳	۲۵۰-۲۰۰
	۴	۳۰۰-۲۵۰
	۵	۳۰۰<

به عنوان مثال چنانچه منطقه مورد مطالعه در منطقه B واقع شده و منحنی های موجود در نقشه به ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلیمتر باشند مناطق واقع در بین منحنی ها به صورت زیر تقسیم میگردند:

محدوده های کمتر از ۱۵۰ میلیمتر: زیر گروه ۱؛

محدوده بین منحنیهای ۱۵۰ و ۲۵۰ میلیمتر گروه ۲؛

محدوده بین منحنیهای ۲۵۰ و ۳۵۰ میلیمتر گروه ۳؛

محدوده های بیشتر از ۳۵۰ میلیمتر: زیر گروه ۴؛

توجه شود که در این مثال مناطقی با بارندگی بیش از ۴۵۰ میلیمتر(گروه ۵) وجود ندارد.

نکته: چنانچه محدوده منطقه مورد مطالعه در دو اقلیم یا بیشتر قرار گیرد، ملاک اقلیمی خواهد بود که سطح بیشتری را از نقشه را فرا می گیرد.

۴. زلزله(عارضه پلی گونی): این لایه در مرحله قبل با ۴ زیر گروه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، رقومی و آماده گردیده است،

۵. وجه شیب(عارضه پلی گونی): که قبلاً با استفاده از نقشه DEM در ۵ زیر گروه شمال، شرق، جنوب، غرب و مسطح تهیه شده است؛

۶. تاقدیس و گسل (عارضه خطی) : هر دو عوارض از نقشه رقومی شده زمین شناسی جدا و به صورت عارضه های خطی در یک لایه به نام تاقدیس و گسل منعکس می گردند؛

۷. زهکشی و جاده (عارضه خطی): این لایه با استفاده از ترکیب لایه های جاده و زهکشی (استخراج شده از نقشه های توپوگرافی) آماده شده و به صورت عارضه های خطی در یک لایه به نام زهکشی و جاده منعکس می‌گردند؛

٦-٤- تحلیل اطلاعات

تحلیل اطلاعات شامل مراحل زیر می باشد:

۱. تشکیل واحدهای کاری: پنج لایه پلی گونی شامل لیتولوژی، شیب، بارندگی، زلزله و وجه شیب برای ساخت واحدهای کاری روی یکدیگر انداخته میشوند. در نتیجه واحدهای کاری تشکیل شده در این مرحله شامل پلی‌گونهایی است که از نظر پنج عامل مذکور هموژن بوده و واحدهای ترکیبی(Gee,1992) نامیده می شوند؛

۲. فیلتر کردن : در این مرحله واحدهای با شیب کمتر از ۵ درجه، به عنوان واحدهایی با خطر کم زمین لغزش از مراحل بعدی آنالیز حذف می گردد.

۳. بدست آوردن تراکم عوارض خطی در واحدهای کاری: در این مرحله جمع طول تاقدیس و گسل در هر یک از واحدها(برحسب کیلومتر) محاسبه می شود. سپس طول بدست آمده بر مساحت واحد مربوطه (برحسب کیلومتر مربع)تقسیم میگردد. بدین ترتیب تراکم سطحی تاقدیس و گسل برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع محاسبه می گردد. همین مراحل عیناً برای جمع زهکشی و جاده انجام می شود. درنتیجه تراکم تاقدیس و گسل و تراکم زهکشی و جاده به عنوان دو خصوصیت جدید به جدول اطلاعاتی واحدهای کاری اضافه می شود.

۴. محاسبه اندکس پتانسیل لغزش [22](LPI): در این بخش طبق جدول ۲ و رابطه ۱ عدد خطر برای کلیه واحدها محاسبه می گردد.

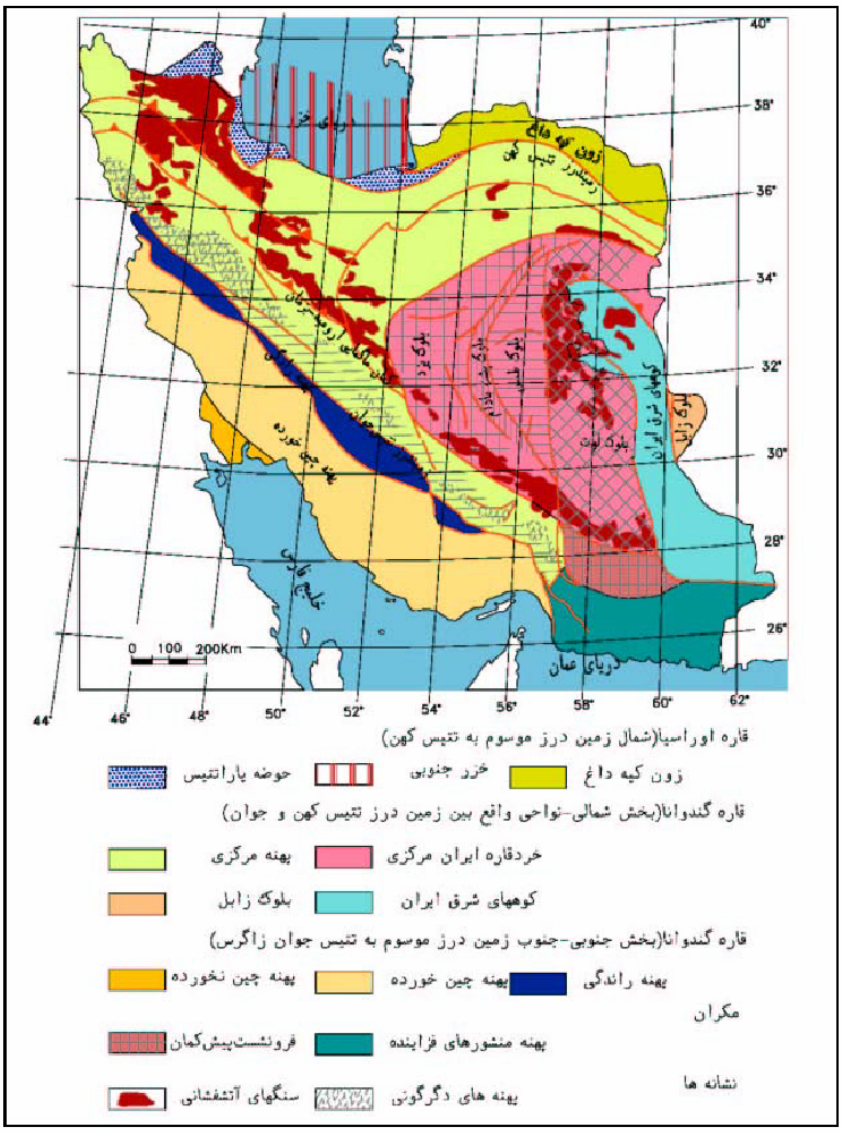
$$LPI = \frac{\sum_{i=1}^{7}(W_i \times R_i)}{\sum_{i=1}^{7} W_i} \qquad (۱)$$

جدول ۲: وزن هر لایه اطلاعاتی (W) و امتیاز زیر گروههای مختلف (R)

[22] Landslide Potential Index

نوع عامل	عامل	وزن لایه	زیر گروه	امتیاز زیر گروه	امتیاز کل
عوامل مستعد کننده	زمین شناسی	۸	طبق زیر گروههای مذکور در مطالعات حائری(۱۳۷۵)	۱-۱۰	۸-۸۰
	شیب	۶	<۵	فیلتر می شوند	فیلتر می شوند
			۵-۱۵	۴	۲۴
			۱۶-۳۵	۶	۳۶
			۳۶-۴۵	۸	۴۸
			۴۵<	۱۰	۶۰
	تاقدیس و گسل (Km/Km2)	۴	‹۰,۱۱	۱	۴
			۰,۱۱_۰,۳۴	۳	۱۲
			۰,۳۴_۰,۵۶	۵	۲۰
			۰,۵۶_۰,۷۸	۷	۲۸
			›۰,۷۸	۹	۳۶
	وجه شیب	۲	شمال	۱۰	۲۰
			غرب	۸	۱۶
			شرق	۶	۱۲
			جنوب	۴	۸
			مسطح	فیلتر می شوند	فیلتر می شوند
	متوسط بارندگی سالیانه	۵	گروه ۱	۱	۵
			گروه ۲	۳	۱۵
			گروه ۳	۵	۲۵
			گروه ۴	۷	۳۵
			گروه ۵	۹	۴۵
عوامل تحریک کننده	راه و رودخانه (Km/Km2)	۳	< ۰,۱۱۲	۱	۳
			۰,۱۱۲ – ۰,۳۳۶	۳	۹
			۰,۳۳۶ – ۰,۵۶	۵	۱۵
			۰,۵۶ – ۰,۷۸۴	۷	۲۱
			۰,۷۸۴>	۹	۲۷
	خطر زلزله	۲	کم	۳	۶
			متوسط	۶	۱۲
			زیاد	۷	۱۴
			خیلی زیاد	۸	۱۶

نکته: وزن دهی لایه های زمین شناسی بر طبق مطالعات حائری (۱۳۷۵) انجام می شود. این مطالعه برای پهنه بندی خطر زمین لغزش استان مازندران انجام شده است. در این مطالعه بر اساس شباهت لیتولوژیکی سازندهای مذکور توسط حائری با سایر سازندهای ایران، به سازندهای مذکورامتیاز داده شده و به تفکیک مناطق مختلف ساختاری (آقانباتی، ۱۳۷۹)، در پیوست آورده شده است. در نتیجه برای امتیاز دهی به زیر گروههای زمین شناسی در ابتدا بایستی زون ساختاری نقشه مورد مطالعه طبق شکل ۲ مشخص گردد و سپس بر اساس امتیازات مشخص شده در پیوست به واحدهای لیتولوژیکی امتیاز داده شود.



شکل ۲: تقسیم بندی اساس ساختاری ایران بر شرایط (آقانباتی، ۱۳۷۹)

مثال: فرض شود در پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش نقشه ۱:۲۵۰،۰۰۰ منطقه‌ای فرضی که از نظر ساختاری در زون کپه داغ، و از نظر اقلیمی در منطقه A واقع شده است طبق مراحل فوق واحدی تشکیل شده است که دارای خصوصیات زیر است:

مساحت: ۲ کیلومتر مربع

واحد لیتولوژی (R_1): شیست های گرگان: امتیاز طبق پیوست ۵، چهار خواهد بود؛

شیب: ۲۰ درجه(R_2): امتیاز طبق جدول ۲، شش خواهد بود؛

بارندگی(R_3) : ۷۰۰ میلیمتر : طبق جدول ۱ شماره زیر گروه ۲ و طبق جدول ۲ امتیاز مربوطه ۳ خواهد بود؛

زلزله(R_4): طبق نقشه های طرح کالبدی ملی ایران واحد در خطر زیاد قرار گرفته است لذا از این نظر طبق جدول ۲، امتیاز ۷ خواهد گرفت؛

وجه شیب(R_5): وجه شیب به سمت شمال است در نتیجه طبق جدول ۲، برای وجه شیب امتیاز ۱۰ خواهد گرفت؛

تاقدیس و گسل(R_6): ۱ کیلومتر ؛ در نتیجه تراکم این عامل با توجه به مساحت آن ۲ : ۱ یعنی ۰,۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع و امتیاز آن طبق جدول ۲، ۵ خواهد بود؛

زهکشی و جاده(R_7) : ۰/ ۵کیلومتر ؛ در نتیجه تراکم این عامل با توجه به مساحت آن ۰/۰۲ : ۰/۵ یعنی ۰/۲۵ کیلومتر بر کیلومتر مربع و امتیاز آن طبق جدول ۲ ، ۳خواهد بود؛

در نتیجه با توجه به وزنهای هر لایه(ستون دوم از جدول ۲) و رابطه ۱، اندکس پتانسیل زمین لغزش(HPI) واحد مربوطه به صورت زیر محاسبه می گردد:

LPI= [(۴×۸)+(۶×۶)+ (۳×۵)+ (۷×۲)+(۱۰×۲)+(۵×۴)+(۳×۳)] / (۸+۶+۵+۲+۲+۴+۳)= ۴/۸۷

٦-٥- پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش

در این مرحله با توجه به اندکس های محاسبه شده برای واحدها، طبق مراحل زیر به هر واحد معادل توصیفی آن تخصیص داده می شود.

- به کلیه واحدهایی که شیب آنها از ۵ درجه کمتر بوده و در آنالیز وارد نشده بودند معادل کیفی "خطر خیلی کم" تخصیص داده می شود؛
- به سایر واحدها طبق جدول زیر خطر معادل تعریف می گردد:

جدول ۳: معادلات توصیفی هر یک از بازه های LPI

	مقدار LPI	معدل توصیفی خطر
مناطق با شیب کمتر از ۵ درجه	-	خیلی کم
مناطق با شیب بیش از ۵ درجه	۴-۲,۵	کم
	۶-۴	متوسط
	۸-۶	زیاد
	۹,۴-۸	خیلی زیاد

طبق دستورالعمل فوق معادل توصیفی خطر برای مثال فوق (با LPI =۴/۸۷) متوسط خواهد بود.

بعد از اختصاص معادلات توصیفی به پلی گونهای منطقه، نقشه پهنه بندی خطر با طیف رنگی "ترجیحاً زرد برای خطر کم تا قرمز برای خطر خیلی زیاد" تهیه می گردد. نقشه تهیه شده علاوه بر گروههای مختلف خطر بایستی حاوی محدوده های زمین‌لغزشهای موجود (در صورت موجود بودن در نقشه های زمین شناسی یا شناسایی شده توسط مجری)، محل و نام شهرها و روستاها و مسیر راهها باشد.

۷- خروجی ها

خروجی مطالعه پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس منطقه ای، یک نقشه(هم به صورت چاپی و هم رقومی) و یک گزارش خواهد بود؛ گزارش حاوی شرایط محلی از نظر عوامل زمین لغزش، استعدادمنطقه به زمین لغزش، زمین لغزشهای مهم (در صورت موجود بودن در منابع اولیه یا مطالعات مجری)، چگونگی تحلیلها، نحوه تهیه نقشه و پیشنهادها برای مطالعات آتی خواهد بود.

پیوست ۳: راهنمای پهنه بندی خطر زمین لغزش در ایران در مقیاس متوسط(۱:۵۰،۰۰۰)

فهرست مطالب

۱- سوابق و کاربردها

۲- سوالات اساسی

۳- فرضیات

۴- مروری بر روشها ونتایج

۵- مدارک و منابع مورد نیاز

۶- مراحل تحلیل

۷- خروجی ها

۱- سوابق و کاربردها

وقوع زمین‌لغزشهای متعدد و گسترش روزافزون آنها در بسیاری از نقاط کشور ایران در سالهای اخیر و ظهور اثرات مخرب آنها موجب گشته که نظر مسئولین و بویژه کارشناسان ذیربط به این بلای طبیعی بیش از پیش معطوف گردد؛ شکی نیست که خسارات و پیامدهای ناشی از این پدیده که بطور 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 دو دهه 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).

این راهنما به منظور پیشنهاد روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس متوسط(۱:۵۰،۰۰۰) تهیه شده است. اجرای این روش در انجام مطالعات آتی موجب یکسان سازی روشها و فراهم نمودن قابلیت مقایسه نقشه های پهنه بندی تهیه شده در نقاط مختلف کشور خواهد شد.

اتخاذ روشهایی که در این راهنما پیشنهاد شده است برای انجام پهنه بندی هایی که در مقیاس مذکور به سفارش ریر کمیته زلزله و لغزش لایه های زمین انجام خواهد گرفت ضروری خواهد بود. تغییر روشها و یا وزنهای پیشنهادی تنها در صورتی میسر است که مشاوری که تمام یا بخشی از پهنه بندی های مورد نظر به وی واگذار گردیده ، عدم امکان روشهای پیشنهادی را با ذکر دلایل کافی به زیر کمیته اعلام و زیر کمیته با بررسی و تصویب پیشنهادات، مجوز تغییر را صادر نماید.

تمامی مجریان این راهنما بایستی با اصول اولیه پهنه بندی خطر زمین لغزش آشنا و دارای کارشناسانی از رشته های مرتبط مانند زمین شناسی مهندسی و ژئومورفولوژی و متخصصین GIS باشند.

خروجی این راهنما نقشه ای خواهد بود که منطقه مورد مطالعه را از نظر خطر زمین لغزش به مناطقی با درجات متفاوت تقسیم می نماید.

۲- سوالات اساسی

پهنه بندی خطر زمین لغزش با هدف پاسخ به سوال زیر انجام میگیرد:

- ✓ پتانسیل وقوع زمین لغزش در منطقه چه میزان است؟
- ✓ جواب به سوالات زیر ، پاسخ گویی به سوال فوق را ساده تر می سازد:
  - عوامل وقوع زمین لغزش در منطقه کدامند؟
  - زیر گروههای هر عامل به چه میزان در وقوع زمین لغزش موثرند؟

۳- فرضیات

تعدادی فرضیات اساسی در اینجا در نظر گرفته شده است. فرضیات اولیه عبارتند از:

- بر اساس اصل "گذشته کلیدی برای آینده است" زمین لغزشهای موجود نیز می توانند کلیدی برای پیش بینی رخداد زمین لغزشهای آتی باشند. بنابر این می توان با تهیه نقشه فهرست زمین لغزش و بررسی شرایط رخداد آنها از نظر نوع عوامل ، پتانسیل ایجاد زمین لغزش را در آینده ، بر اساس شرایط موجود از نظر عوامل بررسی نمود

- نتـایج بدسـت آمـده از میـزان تـاثیر عوامـل در وقـوع زمـین لغـزش در یـک بخـش، بـر اسـاس خصوصیات آن، قابل تعمیم بـه بخشهای دیگر است. این خصوصیات مـی توانـد شـامل تمـامی موارد مربوط به علل زمین لغزش مانند سنگ شناسی، توپوگرافی و ... باشد؛

- کلیـه اطلاعـات لازم بـرای ارزیـابی پتانسیل زمـین لغـزش از قبیل عکسهای هوایی، نقشه هـای توپوگرافی، نقشه های کاربری اراضی و ...، موجود و یا امکان تهیـه آن در مطالعـات مربوطـه وجود دارد

- کلیه مشاورانی که قصد انجام پهنه بندی خطر زمین لغزش را در قالب این راهنمـا دارنـد دارای کارشناسانی از رشته های زمین شناسـی مهندسـی، ژئومورفولوژی یـا دیگر رشته هـای مرتبط هستند کـه در زمینـه مطالعـات زمـین لغزش و پهنـه بندی خطر زمین لغزش تجربـه داشته و بـا مفاهیم اولیه آن آشنایی دارند.

- کلیه مشاورانی که قصد انجام پهنه بندی خطر زمین لغزش را در قالب این راهنمـا دارنـد دارای امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و کارشناسان متبحر در استفاده از آن هستند.

٤- مروری بر روشها و نتایج

این پهنه بندی شامل شناسایی عوامل وقوع زمین لغزش بـه همراه اطلاعـات حاصـله از GIS است. طـی آنالیز در ابتدا عکسهای هوایی منطقه بـرای شناسـایی زمین لغزشـهای رخ داده قبلـی مطالعـه و نقشه فهرست زمین لغزشها تهیه می شود. در مرحله بعد نقشه عوامل تهیه و با روی هم اندازی آنها، واحدهای کـاری (کـه واحدهای ترکیبی نامیده می شوند) تشکیل می گردند. سپس بر اسـاس وزنهـا و امتیـازات مسـتخرج از تحلیـل اطلاعـات، بـه لایـه هـا اعداد مربوطـه اختصـاص داده شـده و بـا اسـتفاده از روابـط پیشنهادی در این راهنمـا، میزان پتانسیل زمین لغزش برای هر واحد محاسبه میگردد.

خروجی این مرحله دو نقشه پهنـه بنـدی پتانسیل زمـین لغـزش و نقشه فهرسـت زمـین لغزشـها (کـه هم بـه صورت چاپی و هم رقومی تهیه خواهند شد) و یـک گـزارش خواهد بـود؛ گـزارش حـاوی شـرایط محلـی از نظر عوامل زمین لغزش، استعداد منطقـه از نظر وقـوع زمـین لغـزش، نحـوه پـراکنش زمـین لغزشـها، زمـین لغزشهای مهم، چگونگی تحلیلها و نحوه بدست آوردن خروجی ها خواهد بود.

٥- مدارک و منابع مورد نیاز

٥-١- عکسهای هوایی

از آنجاییکه تحلیل‌هـا در مقیـاس متوسـط بـر اسـاس زمـین‌لغزش‌هـای موجـود انجـام مـی‌گیـرد، مطالعـه کلیـه عکس‌های‌هوایی برای تهیه نقشه فهرست زمین‌لغزش‌هـا اجتنـاب ناپـذیر اسـت. انـواع عکس‌هـاي‌هوايي شـامل موارد زیر می‌باشند:

١. عکس‌های با مقیاس ١:٥٠،٠٠٠ (کـه پوشش سراسری آن در دهه ١٣٣٠ برای کل کشور تهیـه شده است): این عکس‌ها به منظور شناسایی زمین‌لغزش‌هـای بـزرگ موجـود در منطقـه و بدسـت آوردن دیدی کلی از استعداد منطقه نسبت به وقوع زمین‌لغزش مطالعه می‌گردد؛

٢. عکس‌هـای بـا مقیـاس ١:٤٠٠٠٠ (کـه در دهـه ١٣٧٠ بـرای بخش عظیمـی از کشور تهیـه شـده است) برای شناسایی لغزشهای بزرگ اتفاق افتـاده بین دهـه‌هـای ١٣٣٠ و ١٣٧٠ مـورد اسـتفاده قرار مي‌گيرد؛

٣. عکس‌های با مقیـاس ١:٢٠،٠٠٠(کـه پوشش سراسری آن بین دهـه‌هـای ١٣٤٠ و ١٣٧٠ تهیـه شده است) بـرای شناسـایی لغزش‌هـای محـدوده و زمـین‌لغزش‌هـايي کـه در عکس‌هـای بـا مقیـاس کوچکتر قابل برداشت نمي‌باشد؛

۴. عکس‌های با مقیاس بزرگتر یا برداشت شده در زمان‌های جدیدتر (در صورت موجود بودن) برای شناسایی زمین‌لغزش‌های جدید و درک سرعت رخداد زمین‌لغزش در منطقه؛

از سری عکس‌های فوق، مطالعه عکس‌های ۱:۲۰،۰۰۰(بند ۳) ضروری و بقیه موارد در صورت وجود یا دسترسی، لازم خواهد بود.

۵-۲- نقشه ها

تیم مجری علاوه بر عکس های هوایی، بایستی نسبت به جمع آوری نقشه های مورد نیاز به شرح زیر اقدام نماید:

۱. نقشه توپوگرافی در مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰ که در این مطالعه به عنوان نقشه مبنا در نظر گرفته می شوند. در این نقشه منحنی های ارتفاعی، جاده ها، رودخانه ها ، موقعیت چشمه ها و نشتابها و سایر اطلاعات موجود درنقشه های استاندارد توپوگرافی موجود می باشد؛ نقاط شاخصی که در این نقشه ها موجود هستند نقش مهمی را در روی هم اندازی اطلاعاتی سایر نقشه ها و اطلاعات عکسهای هوایی در GIS ایفا خواهند کرد لذا نقشه های توپوگرافی از اهمیت خاصی در این مطالعه برخوردارند؛

۲. هر نقشه ای که به نوعی بیانگر ناپایداری های موجود درمنطقه باشند؛ این نقشه ها می تواند شامل پهنه بندی انجام شده قبلی در منطقه نیز باشند؛

۳. نقشه های زمین شناسی سازمان زمین شناسی یا شرکت نفت در مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰ و در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰ در صورت عدم تهیه شدن نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ برای منطقه؛

۴. کلیه نقشه هایی که به نحوی منعکس کننده سایر پارامترهای مورد نظر برای پهنه بندی باشند شامل

- ✓ پهنه بندی خطر زلزله(در مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰) طرح کالبدی ملی؛
- ✓ نقشه کاربری اراضی معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها ، مراتع و آبخیزداری کشور(در مقیاس ۱:۲۵۰،۰۰۰)،

۵-۳- سایر منابع اطلاعاتی

۱. تصاویر ماهواره ای Landsat یا COSMOS و یا سایر ماهواره هایی که اطلاعات آنها در دسترس می باشد، در مقیاس مورد نظر و در بازه های زمانی لازم؛

۲. اطلاعات موجود در بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور موجود در گروه بررسی زمین لغزشهای وزارت جهاد کشاورزی؛

۳. اطلاعات هواشناسی منطقه شامل متوسط بارندگی سالیانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته

۴. مقالات، پایان نامه ها و گزارشاتی که به هر نحو در مورد زمین لغزشها و یا پارامترهای آن در منطقه اطلاعاتی را حاصل نماید و یا از نظر تئوری راهنمایی مناسب را فراهم آورد؛

۶- *مراحل تحلیل*

تحلیل شامل نه مرحله است که هر مرحله به صورت مشروح در زیر خواهد آمد:

۱. تهیه نقشه فهرست زمین لغزشها؛

۲. رقومی نمودن نقشه های پایه شامل نقشه توپوگرافی (خطوط کنتور، راهها ، محل نشتابها و چشمه ها)، زمین شناسی (واحدهای لیتولوژیکی، گسلها، محورهای تاقدیس) ، نقشه خطر زلزله و نقشه هم باران؛

۳. تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) وتهیه نقشه های شیب و وجه شیب ؛

۴. تهیه نقشه متوسط بارندگی سالیانه و هم شدت بارندگی با استفاده از داده های سازمان هواشناسی؛

۵. درزه نگاری و تهیه لایه ساختارها؛

۶. آماده سازی نقشه های عوامل؛

۷. تحلیل اطلاعات ؛

۸. پهنه بندی پتانسیل زمین لغزش؛

۹. آزمایش نقشه پهنه بندی.

٦-١- تهیه نقشه فهرست زمین لغزشها

هدف از این مرحله جمع آوری اطلاعاتی است که در یافتن پراکنش، زمان، و اندازه نسبی زمین لغزشها در منطقه کمک می‌نمایند. با توجه به اینکه روش مورد استفاده در آنالیز زمین لغزشها مبتنی بر موقعیت زمین لغزشهای اتفاق افتاده است، این مرحله می تواند تاثیر مهمی در نقشه پهنه بندی داشته باشد.

عکسهای هوایی بایستی بصورت زوجی برای ایجاد حالت سه بعدی مطالعه گردیده و در صورت وجود چند سری عکس ، برای درک تغییرات، از قدیم به جدید مورد بررسی قرار گیرند. در صورتی که عکسهای سری جدیدتر منطقه (مانند عکسهای ۱:۴۰،۰۰۰) موجود نباشد از تصاویر ماهواره ای به منظور درک وضعیت منطقه بهره برده می شود. هر زمین لغزش بایستی طوری در نقشه پایه(نقشه توپوگرافی) کد گذاری گردد که بتواند براحتی در نقشه A-1 بوسیله GIS وارد گردد. بایستی به خاطر داشت که هدف به نقشه در آوردن و طبقه بندی زمین لغزشهای رخ داده است، طوری که نقشه مذکور بتواند منجر به تهیه نقشه پتانسیل زمین لغزش گردد. در این مرحله پرسشنامة تك‌صفحه‌اي (شکل ۲) تکمیل می گردد.

نوع اطلاعاتی که برای هر زمین لغزش در نقشه فهرست زمین لغزش بایستی آورده شود در زیر آمده است:

- اطلاعات عمومي زمين‌لغزش(شماره و مشخصات محل حرکت و مشخصات تکمیل کنندة پرسشنامه و کد زمین‌لغزش). برای کد دهی به زمین لغزش بایستی نقشه توپوگرافی را در ابتدا به ۹ بخش ۵ در ۵ دقیقه ای تقسیم نمود. در نتیجه این کار نقشه توسط یک شبکه مربعی ۳ در ۳ تقسیم می شود. واحدهای این شبکه به صورت شکل ۲ نامگذاری می گردند.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

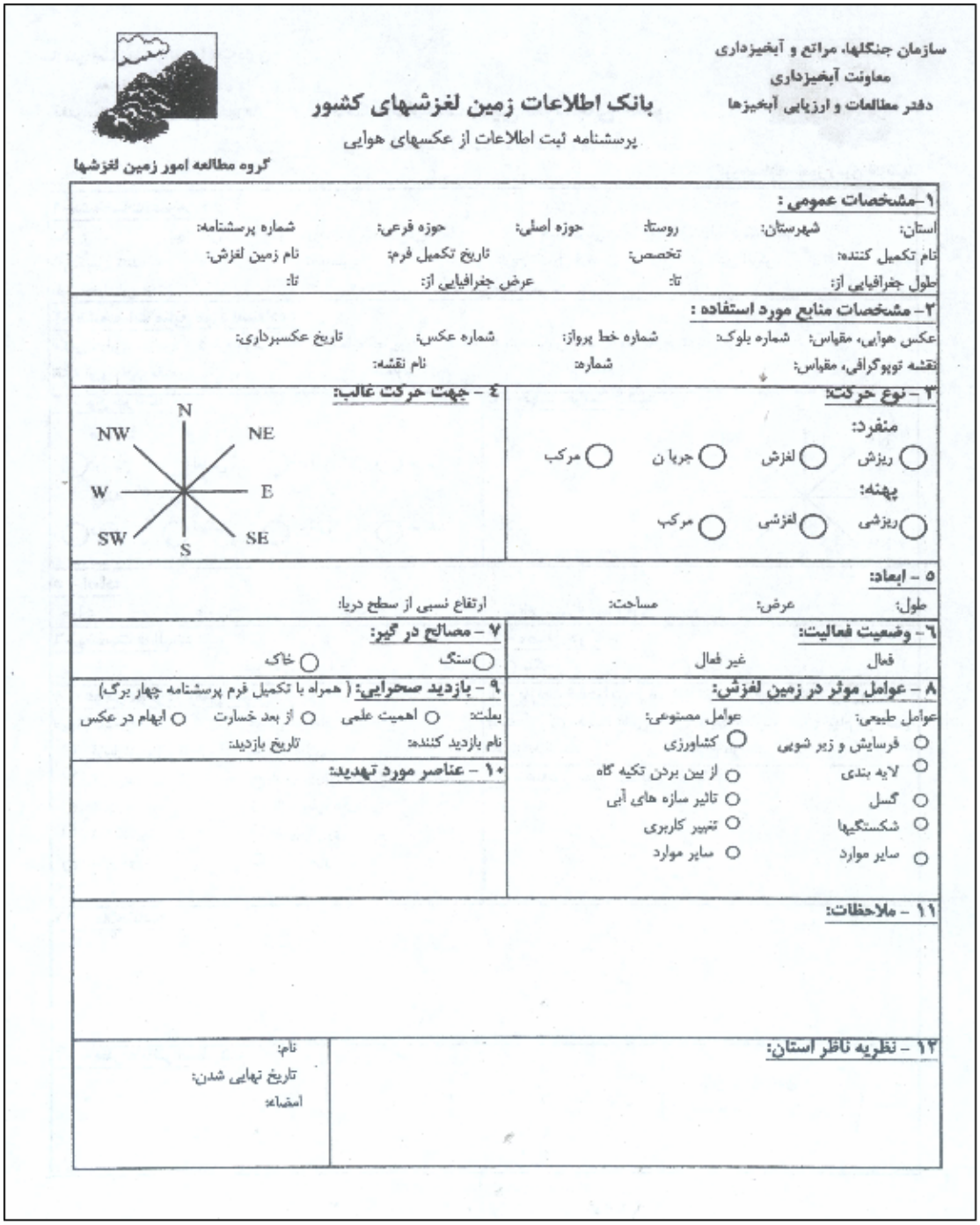
شکل ۱: نحوه کدگذاری لغزشها

در مرحله بعد لغزشهایی که در هر یک از واحدهای نقشه توپوگرافی واقع می‌شوند با توجه به نوع آنها (S یرای لغزشهای منفرد و Z برای پهنه ها) از یک به بالا شماره می‌گیرند. به عنوان مثال کد AS13 بیانگر سیزدهمین لغزش منفردی است که در واحد A ثبت شده است.

- مشخصات منابع مورد استفاده(مشخصات عکس هوایی و نقشة توپوگرافي)؛

نوع حرکت(الف:منفرد ۱= ریزش ۲= لغزش(انتقالی و چرخشی) ۳= جریان ۴= مرکب ب: پهنه ۱- ریزشي ۲- لغزشي ۳- مرکب)

- جهت حرکت غالب؛
- ابعاد حرکت؛
- وضعیت فعالیت(فعال و غیرفعال)؛
- مصالح درگیر(سنگ- خاك- یا هر دو)؛
- عوامل مؤثر بر زمین‌لغزش(عوامل طبیعي و عوامل مصنوعي)؛
- بازدید صحرایی(برای زمین‌لغزش در صورت اهمیت علمی یا خسارتی یا ابهام در عکس به صحرا رفته و مورد بررسی دقیق‌تر قرار می‌گیرد)؛



سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری
معاونت آبخیزداری
دفتر مطالعات و ارزیابی آبخیزها

بانک اطلاعات زمین لغزشهای کشور

پرسشنامه ثبت اطلاعات از عکسهای هوایی

گروه مطالعه امور زمین لغزشها

۱-مشخصات عمومی :

استان: شهرستان: روستا: حوزه اصلی: حوزه فرعی: شماره پرسشنامه:
نام تکمیل کننده: تخصص: تاریخ تکمیل فرم: نام زمین لغزش:
طول جغرافیایی از: تا: عرض جغرافیایی از: تا:

۲- مشخصات منابع مورد استفاده :

عکس هوایی، مقیاس: شماره بلوک: شماره خط پرواز: شماره عکس: تاریخ عکسبرداری:
نقشه توپوگرافی، مقیاس: شماره: نام نقشه:

۳ - نوع حرکت:

منفرد:
○ ریزش ○ لغزش ○ جریان ○ مرکب

پهنه:
○ ریزشی ○ لغزشی ○ مرکب

٤ - جهت حرکت غالب:

N, NE, E, SE, S, SW, W, NW

۵ - ابعاد:

طول: عرض: مساحت: ارتفاع نسبی از سطح دریا:

٦- وضعیت فعالیت:

فعال غیر فعال

۷ - مصالح در گیر:

○ سنگ ○ خاک

۸ - عوامل موثر در زمین لغزش:

عوامل طبیعی:
○ فرسایش و زیر شویی
○ لایه بندی
○ گسل
○ شکستگیها
○ سایر موارد

عوامل مصنوعی:
○ کشاورزی
○ از بین بردن تکیه گاه
○ تاثیر سازه های آبی
○ تغییر کاربری
○ سایر موارد

۹ - بازدید صحرایی: (همراه با تکمیل فرم پرسشنامه چهار برگ)

بعلت: ○ اهمیت علمی ○ از بعد خسارت ○ ابهام در عکس
نام بازدید کننده: تاریخ بازدید:

۱۰ - عناصر مورد تهدید:

۱۱ - ملاحظات:

۱۲ - نظریه ناظر استان:

نام:
تاریخ نهایی شدن:
امضاء:

شکل ۲: فرم مشخصات لغزشها

٦-۲- رقومی نمودن نقشه های پایه

در این مرحله نسبت به تهیه و رقومی نمودن نقشه های زیر(یا تهیه فایلهای آماده آنها در صورت تهیه شدن توسط مراکز معتبر) اقدام میگردد:

۱. نقشه زمین شناسی به مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰(یا ۱:۲۵۰،۰۰۰ در صورت عدم وجود نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰) شامل لایه های لیتولوژی، تاقدیس و گسل؛

۲. نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰،۰۰۰؛ شامل خطوط کنتور(شامل منحنی های ۲۰ و ۱۰۰ متری)، نقاط ارتفاعی ، مسیر راهها(به تفکیک نوع جاده)، شبکه آبراهه ها،محل چشمه ها و نشتابها، ومناطق مسکونی؛

۳. نقشه پهنه بندی خطر زلزله (طرح کالبدی ملی ایران، به مقیاس ۱:۱۰۰۰،۰۰۰)

٦-۳- تهیه مدل ارتفاعی رقومی(DEM)

در این مرحله با استفاده از لایه رقومی شده توپوگرافی و نرم افزارهای مرسوم GIS نسبت به تهیه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) اقدام می گردد. سپس با استفاده از این مدل لایه، نسبت به تهیه لایه های زیر اقدام می گردد:

الف: میزان شیب

میزان شیب در ۶ گروه زیر تهیه می گردد:

۰-۵ درجه

۵-۲۰ درجه

۲۰- ۳۵ درجه

۳۵- ۴۵ درجه

بیش از ۴۵ درجه

ب- **جهت شیب:** علاوه بر نقشه شیب لازم است لایه وجه شیب نیز با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی تهیه گردد. برای اینکار به ترتیب زیر عمل می گردد:

۱- مناطقی که طبق نقشه شیب میزان شیب آنها کمتر از ۵ درجه است ، به عنوان مناطق مسطح(بدون وجه شیب) در نظر گرفته شده و از تقسیم بندی جهت شیب کنار گذاشته می شوند؛

۲- برای سایر مناطق وجه شیب به صورت زیر طبقه بندی می گردد:

شمال: آزیموت بین ۳۱۵ تا ۴۵ درجه؛

شرق: آزیموت بین ۴۵تا ۱۳۵ درجه؛

جنوب: آزیموت بین ۱۳۵ تا ۲۱۵ درجه؛

غرب: آزیموت بین ۲۱۵ تا ۳۱۵ درجه؛

٦-٤- نقشه ها ی متوسط بارندگی سالیانه و حداکثر بارش ٢٤ ساعته

پارامترهای متوسط بارندگی سالیانه و حداکثر بارش ۲۴ ساعته (بالاترین بارش روزانه) از جمله داده های سازمان هواشناسی کشور می باشند که با استفاده از داده های یک دوره اقلیمی(۳۰ ساله) و استخراج متوسط بارندگی سالیانه و بالاترین اعداد برای ایستگاه های منطقه مورد مطالعه؛ به ترتیب نقشه متوسط بارندگی سالیانه و نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته با دوره بازگشت ۳۰ ساله تهیه می‌گردند. دلیل انتخاب دوره بازگشت ۳۰ ساله در آن است که اکثر اقلیم شناسان حداقل زمان برای فعالیت در حیطه اقلیم را ۳۰ ساله در

نظر گرفته اند؛ همچنین هر چه دوره بازگشت زیادتر باشد باید انتظار بارانهای شدیدتری داشت و باتوجه به اینکه حداکثر بارش محتمل با دوره بازگشت های ۵۰ و صدساله اعداد بزرگی را تولید می کنند و اکثر ایستگاه های کشور عمر اطلاعاتی حدود ۳۰ سال دارند و برای دوره بازگشت های ۵۰ و ۱۰۰ ساله نیاز به بازسازی اطلاعاتی بیشتر است؛ مبنای دوره اقلیمی ۳۰ ساله در نظر گرفته شود.

در صورتیکه منطقه مورد مطالعه دارای شیب و ناهمواری زیادی نباشد از روش واسط یابی جهت ترسیم خطوط همباران استفاده گردد و در صورت تغییر شیب و افزایش ناهمواری نیاز است که تغییرات ارتفاعی و گرادیان حاصل از آن جهت تهیه نقشه حداکثر بارش ۲۴ ساعته افزوده گردد.

٦-٥- درزه نگاری و تهیه لایه ساختارها

طی مرحله درزه نگاری سیستمهای غالب ناپیوستگی در منطقه شناسایی و تاثیر آنها در ایجاد زمین لغزش بررسی می شود. منظور از ناپیوستگی در اینجا لایه بندی، سیستم درزه های غالب، شیستوزیته و گسل در دامنه می باشد. بدین منظور ابتدا بایستی موقعیت ایستگاهها برای درزه نگاری تعیین و سپس با انجام عملیات درزه نگاری کلیه ناپیوستگی ها برداشت و سپس ناپیوستگی های غالب در هر ایستگاه تعیین و به واحد های مربوطه تعمیم داده شود. سپس با مقایسه جهات ناپیوستگی ها و جهت دامنه ها پارامترهای لازم برای تعیین ناپایداری استخراج و لایه مربوطه به عنوان لایه موثر در لغزش ساخته می شود.

با توجه به موارد فوق عملیات درزه نگاری شامل سه مرحله تعیین محل ایستگاهها، برداشت صحرایی و تحلیل داده ها می‌باشد. در زیر این سه مرحله توضیح داده می شود:

الف) تعیین محل ایستگاهها

محل ایستگاهها با کمک نقشه زمین شناسی و توپوگرافی جهت انجام عملیات درزه برداری مشخص می-گردد. در انتخاب این محلها بایستی نکات زیر مد نظر قرار داده شود

- ایستگاهها تنها درمناطق با برونزد سنگی تعیین محل می گردند

- سیستم ناپیوستگی های برداشت شده در هر ایستگاه باید مبین روند کلی ناپیوستگی ها تا محدوده ایستگاه کناری باشد در نتیجه پراکندگی ایستگاه ها در محدوده های فعال تکتونیکی (مانند مناطق مجاور نزدیک به گسل) بایستی نزدیک به هم و در مناطقی که از نظر تکتونیکی یکنواخت است دورتر در نظر گرفته شوند.

- محل ایستگاهها باید با توجه به نقشه توپوگرافی مناطق قابل دسترس بوده و شیب دامنه نیز امکان برداشت ناپیوستگی‌ها را در اختیار قرار دهد. اگر امکان دسترسی به هیچ نقطه‌ای از محدوده ایستگاه وجود نداشته باشد با قضاوت مهندسی و با استفاده از ایستگاههای همجوار و نقشه زمین شناسی مشخصات ساختاری ایستگاه برآورد می شود. در صورتی که به علت پیچیدگی، امکان این کار وجود نداشته باشد، محدوده مورد نظر به عنوان محدوده بدون اطلاعات ساختاری مشخص می گردد. برای اینگونه واحدها(مناطقی که امکان برداشت یا تخمین جهت ساختارها فراهم نبوده است) در صورتی که تعداد و سطح آنها در مقایسه با تعداد و سطح کل منطقه قابل اغماض باشد، بایستی خصوصیات واحدهای همجوار به آنها تعمیم داده شود، در غیر این صورت لایه ساختار بکلی حذف می گردد

- برای هر ایستگاه محدوده ای به عنوان محدوده تحت تاثیر تعریف می‌گردد، به گونه ای که فرض می شود سیستم ناپیوستگی در ایستگاه، در محدوده تعریف شده تغییر عمده‌ای ندارد.

مناطقی که برونزد سنگی نداشته و در نتیجه فاقد ایستگاه هستند به صورت محدوده هایی جداگانه در نظر گرفته می شوند.

ب) عملیات صحرایی

بـا اسـتفاده از GPS بـه نقـاط تعیـین شـده زمینـی معـادل مراکـز تعیـین شـده بـر روی نقـشه مراجعـه و مشخصات فضایی(شامل امتداد و شیب) ۱۰۰ تا ۵۰۰ ناپیوستگی (بر اساس تراکم ناپیوستگی ها) برداشت می گردد. چگونگی برداشت ناپیوستگی‌ها در فصل یازدهم از "راهنمای بررسی های محلی و تخمین پایداری سطوح شیبدار سنگی به روش تجربی" (هاشمی طباطبایی و توفیق ریحانی، ۱۳۸۲) به صورت مفصل آمده است.

ج) تحلیل داده ها

با استفاده از نرم افزارهای معمول درزه نگاری مانند Rocklab، Dips ، و... جهت یا جهت های غالب ناپیوستگی ها در هر ایستگاه تعیین میگردد. برای ایستگاههایی که بیش از یک سیستم ناپیوستگی غالب دارند بایستی دو سیستم ناپیوستگی که از بقیه سیستمها مهمتر است انتخاب و خصوصیات خط حاصل از تقاطع آنها به عنوان خصوصیات ساختاری ایستگاه در نظر گرفته شود.

چگونگی تحلیل ناپیوستگی‌ها در مرجع فوق (هاشمی طباطبایی و توفیق ریحانی، ۱۳۸۲) به صورت مفصل آمده است.

د) تخصیص داده‌ها به کل منطقه

در این مرحله خصوصیات ساختاری بدست آمده برای هر ایستگاه به محدوده‌های مربوطه تعمیم داده می شود. برای محدوده‌های فاقد ایستگاه(مناطق بدون برونزد سنگی) به جای خصوصیات ساختاری ضخامت تقریبی خاک یا آبرفت، تخمین زده شده و به واحدهای مربوطه اختصاص داده می شود. این تخمین می تواند با استفاده از شواهد زمین شناسی، اطلاعات حاصل از گمانه های حفر شده در منطقه و یا قضاوت مهندسی انجام گیرد.

در انتهای این مرحله لایه ساختار به صورت یک نقشه پلی‌گونی به همراه خصوصیات ساختارها و ضخامت خاک آماده گردیده است.

٦-٦- آماده سازی نقشه های عوامل

عوامل در نظر گرفته شده برای پهنه بندی خطر زمین لغزش شامل ۱۲ لایه زیر می باشد:

۱. لیتولوزی(عارضه پلی گونی): این لایه با استفاده از نقشه زمین شناسی رقومی شده در مرحله قبل آماده می گردد. بدین صورت که کلیه واحدهای لیتولوژیکی نمایش داده شده در راهنمای نقشه با بالاترین دقت ذکر شده در نقشه استخراج می گردد؛ در نتیجه اگر برخی از واحدها در حد سازند و برخی دیگر در حد بخشهای سازند(Member) و برخی دیگر در حد نوع لیتولوژی در نقشه، تفکیک شده باشند بایستی به ترتیب به نام سازند، بخش، و لیتولوژی در نقشه لایه لیتولوژی منعکس گردند.

۲. شیب(عارضه پلی گونی): که قبلاً با استفاده از نقشه DEM در ۶ زیرگروه تهیه شده است؛

۳. وجه شیب(عارضه پلی گونی): که قبلاً با استفاده از نقشه DEM در ۵ زیر گروه شمال، شرق، جنوب، غرب و مسطح تهیه شده است؛

۴. متوسط بارندگی سالیانه(عارضه پلی گونی): منحنی های هم بارش سالیانه در مرحله قبل به صورت خطی رقومی گردیده اند. در این مرحله محدوده های قرار گرفته در بین منحنی ها به ۵ گروه (یا کمتر در صورت اختلاف کم متوسط بارندگی در سطح منطقه)تقسیم میگردند.

۵. شدت بارندگی(لایه پلی گونی): نقشه شدت بارندگی که با استفاده از روش توضیح داده شده در بخش ۶-۴ تهیه شده است اکنون به ۵ بخش(یا کمتر) بر اساس بازه تغییرات شدت تغییرات شدت تقسیم می گردد.

۶. زلزله(عارضه پلی گونی): این لایه در مرحله قبل با ۴ زیر گروه خطر کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد، رقومی و آماده گردیده است،

۷. کاربری اراضی (لایه پلی گونی) : این نقشه توسط معاونت آبخیزداری سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور در طرح سیمای آبخیز کشور از تصاویر ماهواره ETM2002 به صورت رقومی تهیه شده و آماده پردازش می‌باشد. پیشنهاد می شود کاربری های مذکور در منبع فوق(با توجه به تاثیر آنها در زمین لغزش) به شکلی که در جدول ۱ آمده است، در پنج گروه طبقه بندی گردد.

جدول ۱: طبقه بندی کاربری اراضی مذکور در جدول ۳۷ بر اساس استعداد زمین لغزش

ردیف	نوع کاربری اراضی
۱	جنگل های متراکم و نیمه متراکم
۲	جنگل کم تراکم و مراتع متراکم
۳	مراتع نیمه متراکم و زراعت دیم و آیش
۴	مراتع کم تراکم، زمینهای بایر ، کویر و بیابانی
۵	زراعت آبی، باغ، ،تاسیسات مسکونی و تالابها و دریاچه ها

۸. آب زیر زمینی(لایه پلی گونی): از انجاییکه چشمه ها، نشتابها ، باتلاقها و محلهای با تمرکز پوشش گیاهی تا حدی بیانگر میزان آب توده لغزشی هستند از اهمیت خاصی در تخمین پتانسیل زمین لغزش برخوردارند. تمامی موارد فوق در نقشه های توپوگرافی ۱:۵۰،۰۰۰ منعکس گردیده است. لذا با استفاده از جدول ۲ و نقشه توپوگرافی می توان گروه هر واحد را از نظر آب زیر زمینی مشخص نمود

جدول ۲: طبقه بندی وضعیت آب زیر زمینی

گروه ۱	گروه ۲	گروه ۳	گروه ۴	گروه ۵
وجود جریان آب	**غرقاب**	**خیس**	**نمناک**	**خشک**

۹. تاقدیس و گسل (عارضه خطی) : هر دو عوارض از نقشه رقومی شده زمین شناسی جدا و به صورت عارضه های خطی در یک لایه به نام تاقدیس و گسل منعکس می گردند؛

۱۰. زهکشی (عارضه خطی): لایه زهکشی که قبلاً با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه شده است به صورت عارضه های خطی در یک لایه به نام زهکشی منعکس می گردد؛

۱۱. جاده(عارضه خطی): لایه جاده که قبلاً از نقشه توپوگرافی استخراج گردیده است، به صورت عارضه خطی در یک لایه به نام زهکشی و جاده منعکس می گردند؛

۱۲. ساختارها:این لایه به صورتی که در بخش قبل شرح داده شد به صورت یک نقشه پلی‌گونی آماده گردیده است.

٦-۷- تحلیل

تحلیل شامل مراحل زیر می باشد:

تشکیل واحدهای کاری: هفت لایه پلی گونی شامل لیتولوژی، شیب، وجه شیب، متوسط بارندگی سالیانه، شدت بارندگی، زلزله، و کاربری اراضی برای ساخت واحدهای کاری روی یکدیگر انداخته میشوند. در نتیجه، واحدهای کاری تشکیل شده در این مرحله شامل پلی گونهایی است که از نظر هفت عامل مذکور هموژن بوده و واحدهای ترکیبی نامیده می شوند؛

فیلتر کردن : در این مرحله واحدهای با شیب کمتر از ۵ درجه، به عنوان واحدهایی با خطر کم زمین لغزش از مراحل بعدی آنالیز حذف می گردد.

بدست آوردن تراکم عوارض خطی در واحدهای کاری: در این مرحله جمع طول تاقدیس و گسل در هر یک از واحدها(برحسب کیلومتر) محاسبه می شود. سپس طول بدست آمده بر مساحت واحد مربوطه (برحسب کیلومتر مربع)تقسیم میگردد. بدین ترتیب تراکم سطحی تاقدیس و گسل برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع محاسبه می گردد. همین کار عیناً برای زهکشی و جاده به صورت جداگانه محاسبه می شود. درنتیجه تراکم تاقدیس و گسل، تراکم زهکشی و تراکم جاده به عنوان سه خصوصیت جدید به جدول اطلاعاتی واحدهای کاری اضافه می شود.

بدست آوردن خصوصیات ساختاری در واحدهای کاری: در این مرحله با روی هم اندازی نقشه ساختارها و نقشه واحدها، خصوصیات زیر برای هر یک از واحدها با استفاده ازGIS محاسبه می گردد:

الف) واحدهایی با برونزد سنگی: در این واحدها موارد زیر تعیین و با استفاده از جدول ۳ وزن دهی می شوند:

- میزان موازات امتداد ناپیوستگی(یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) با امتداد دامنه؛ که عبارت است از اختلاف بین امتداد ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) و امتداد دامنه
- مقدار شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی)؛
- اختلاف بین میزان شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) و میزان شیب دامنه.

سپس با استفاده از جدول ۳ واحدها از نظر سه عامل فوق طبقه بندی می گردند.

با توجه به جدول فوق مقادیر امتیاز R1, R2,R3 با هم جمع شده(R) و بر طبق جدول ۴ گروه بندی می گردند.

ب) واحدهای بدون برونزد سنگی: گروه ساختارها در این واحدها با توجه به ضخامت نهشته ها که در مرحله قبل تعیین شده است و با استفاده از جدول ۴ تعیین می گردد.

در پایان مراحل فوق تمامی واحدها در یکی از گروههای پنجگانه خصوصیات ساختار (طبق جدول ۴) قرار می‌گیرند.

جدول ۳: گروه بندی و امتیاز دهی به عوامل ساختاری(برگرفته از آنبالاگان، ۱۹۹۲)

گروه	مقدار(درجه)	امتیاز
میزان موازات بین امتداد ناپیوستگی(یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) با امتداد دامنه(R1)؛		
I	>30	0.2
II	21-30	0.25
III	11-20	0.3
IV	6-10	0.4
V	<5	0.5
اختلاف بین میزان شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی)با میزان (R2)		

شیب دامنه		
I	>10	0.3
II	0-10	0.5
III	0	0.7
IV	0-(-10)	0.8
V	(-10)	1.0
مقدار شیب ناپیوستگی (یا خط حاصل از تقاطع دو ناپیوستگی) (R3)		
I	<15	0.2
II	16-25	0.25
III	26-35	0.3
IV	36-45	0.4
V	>45	0.5

جدول ۴ : گروه بندی ساختارها

مجموع امتیاز در برونزد سنگی(R)	ضخامت خاک رویی	گروه بندی
0.75	<5m	I
0.75-1.0	6-10m	II
1.0-1.3	>20m	III
1.3-1.6	11-15m	IV
1.6-2.0	16-20m	V

تحلیل اطلاعات: در این مرحله واحدهای کاری دارای ۱۲ خصوصیت از ۱۲ فاکتور موثر در لغزش است. علاوه بر آن وضعیت هر واحد از نظر دارا بودن زمین لغزش مشخص است. به این ترتیب می توان با استفاده از جدول خصوصیات واحدها ۱۲ خصوصیت مربوطه را به عنوان خصوصیات مستقل (x) و وجود یا عدم وجود زمین لغزش را به عنوان خصوصیت وابسته (y)در نظر گرفت.

نوع تحلیل پیشنهادی اطلاعات در این دستورالعمل ، تحلیل دو متغیره است. در این تحلیل هر فاکتور به صورت مستقل با نقشه زمین لغزش قطع داده شده و بر اساس تراکم سطحی زمین لغزش در هر زیر گروه ، اهمیت نسبی آنها با استفاده از روش ارزش اطلاعاتی تعیین می گردد. سپس با جمع ارزشها در هر واحد خطر زمین لغزش محاسبه و در نهایت نقشه پهنه بندی خطر(پتانسیل زمین لغزش) آماده می گردد.

مثال) یک شیت ۱:۵۰۰۰۰ که مساحتی حدود ۶۲۵ کیلومتر مربع دارد را در نظر می گیریم. حال با استفاده ازGIS نقشه رقومی فهرست زمین لغزشها را که با استفاده از مطالعات عکس هوایی بدست آمده و با انجام عملیات صحرایی نهایی گردیده است بر روی نقشه شیب می اندازیم. اگر ۵۰ زمین لغزش که جمع مساحتهای نقشه ای آنها ۶,۲۵ کیلومتر مربع است در منطقه قرار بگیرند، درصد میانگین سطحی زمین لغزشهای رخداده در منطقه نسبت به مساحت منطقه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

۱۰۰ ×(مساحت منطقه /مساحت زمین لغزشها)= نسبت سطحی میانگین لغزشها

طبق رابطه فوق درصد میانگین زمین لغزشها در این مثال برابر با ۱۰۰×(۶۲۵ /۶۲,۵)یعنی ۱۰ خواهد بود.

در مرحله بعد تراکم لغزشها در زیرگروههای کلیه عوامل محاسبه می گردد. به عنوان مثال فرض شود مساحت اشغال شده توسط لغزشها در نقشه شیب و درمحدوده منطقه الگو به صورت اعداد مذکور در جدول ۵ باشد.

جدول ۵: درصد سطحی و ارزش اطلاعاتی زیر گروههای مختلف شیب

محدوده شیب	۰-۵ درجه	۵-۲۰ درجه	۲۰- ۳۵ درجه	۳۵- ۴۵ درجه	بیش از ۴۵ درجه
مساحت	۲۰۰	۱۵۰	۱۵۰	۱۰۰	۲۵
مساحت لغزشهای رخ	۲,۵	۷,۵	۱۵	۲۵	۱۲,۵

داده در زیر گروه					
تراکم زمین لغزشها	این واحدها فیلتر شده اند	۵	۱۰	۲۵	۵۰
ارزش اطلاعاتی	این واحدها فیلتر شده اند	-۰,۶۹	۰	۰,۹۲	۱,۶۱

چنانچه درصد سطحی هر زیر گروه را به درصد سطحی متوسط منطقه تقسیم نماییم عدد بدست آمده میتواند مبین مقایسه ای بین درصد سطحی زیر گروه و درصد سطحی متوسط منطقه باشد(عدد یک نشان دهنده تراکم برابر با تراکم متوسط منطقه، و اعداد بالا و زیر یک به ترتیب نمایانگر تراکم بالاتر و کمتر از متوسط تراکم متوسط منطقه می باشد). اگر از عدد حاصله لگاریتم طبیعی گرفته شود، عدد حاصله را ارزش اطلاعاتی (information value) تراکم لغزشها می نامند.

$$I= \ln(a/A)$$

که در آن I ارزش اطلاعاتی، a درصد سطحی زیر گروه، و A درصد سطحی متوسط منطقه می باشد.

از آنجاییکه ارزش اطلاعاتی نسبت تراکم یک برابر صفر وارزش اطلاعاتی نسبت تراکم ۲,۷۱ برابر یک است می توان برداشت زیر را از ارزش اطلاعاتی داشت:

ارزش اطلاعاتی کمتر از صفر: به معنای این است که درصد زمین لغزشها در زیر گروه کمتر از درصد متوسط منطقه است.

ارزش اطلاعاتی صفر: به معنای برابر بودن درصد زمین لغزشها در زیر گروه با درصد متوسط منطقه است

ارزش اطلاعاتی بین صفر و یک: به معنای این است که درصد زمین لغزشها در زیر گروه زیادتر از درصد متوسط منطقه است(تا ۲,۷۱ برابر)

ارزش اطلاعاتی بیش از یک: به معنای این است که درصد زمین لغزشها در زیر گروه خیلی زیادتر از درصد متوسط منطقه است(بیش از ۲,۷۱ برابر)

جدول ۵ ارزش اطلاعاتی زیرگروههای مختلف مربوط به شیب را در مثال نشان می دهد

همین مراحل برای زیر گروههای سایر عوامل بدست می آید. (جدول ۶ برای این مثال).

جدول ۶: ارزش اطلاعاتی مربوط به زیر گروهای عوامل مختلف در مثال

نوع عامل	عامل	زیر گروه	ارزش اطلاعاتی
عوامل مستعد کننده	زمین شناسی	سازند آسماری	۰
	آب زیر زمینی	وجود چشمه یا نشتاب	۲
	ساختارها	گروه ۳	۱
	شیب	۳۶-۴۵	۰,۵
	تاقدیس و گسل(۳۹)	۰,۳۴_۰,۵۶	۰,۵
	وجه شیب	شمال	۱
	کاربری اراضی	جنگل	-۱
عوامل تحریک کننده	بارندگی	گروه ۳	۰
	زهکشی (۳۸)	۱-۲	-۱
	جاده(۳۸)	۳-۴	۱
	خطر زلزله	زیاد	۰,۵
	حداکثر بارندگی ۲۴ ساعته (طبق جدول ۲)	گروه ۲	-۰,۵
	جع		۴

٦-٨- پهنه بندی خطر

پس از محاسبه ارزش اطلاعاتی زیر گروههای مربوط به تمامی نقشه های عامل، با توجه به خصوصیات هر واحد از نظر زیر گروههای موجود در آن، ارزش اطلاعاتی آن با جمع نمودن کلیه ارزش های اطلاعاتی مربوطه بدست می آید.

مثال) در ادامه مثال قبل، واحدی را از بخش الگوی نقشه در نظر می گیریم که دارای خواص موجود درجدول ۶ باشد. همانگونه که در این جدول مشاهده می شود طبق جدول ۶ به خواص مختلف این واحد، ارزش اطلاعاتی مربوطه اختصاص داده شده و در نهایت این اعداد با یکدیگر جمع گردیده اند. عدد ۴ حاصل این جمع است. همانطوریکه از جدول ۶ قابل استخراج است، ارزش اطلاعاتی هر واحد می تواند در بازه معینی(که بستگی به شرایط منطقه دارد) متغیر باشد. که برای ارزیابی نهایی خطر واحد می توان بازه اعداد را به چهار گروه تقسیم نمود.فرض می شود بازه ارزشهای اطلاعاتی در این مثال از ۰,۲۵- تا ۶ متغیر باشد. عمل گروه بندی با استفاده از روش non-hierarchical cluster analysis که شرح آن در پیوست ۱ آمده است انجام مي گيرد. چهار گروه مذکور همراه با گروهی از واحدها که شیب کمتر از ۵ درجه داشته اند و از آنالیز حذف شده اند جمعاً ۵ گروه را تشکیل می دهند. در این مثال می توان بازه ارزشهای اطلاعاتی را به شکل جدول ۶ تقسیم بندی نمود. با توجه به جدول ۷ خطر واحد مورد نظر خیلی زیاد خواهد بود.

جدول ۷: تقسیم بندی محدوده های ارزش اطلاعاتی و تخصیص واژه های توصیفی معادل هر یک از آنها

ارزش اطلاعاتی	محاسبه نمی-گردد (واحدهای با شیب کمتر از ۵ درجه)	کمتر از ۰,۵-	۰,۵- تا ۰,۵	۰,۵ تا ۳	بیش از ۳
معادل توصیفی خطر	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

موارد فوق با کمک GIS برای کلیه واحدهای موجود در منطقه محاسبه و واژه های خطر معادل به تمامی آنها تخصیص داده می شود. در نتیجه جدول خصوصیات واحدها در این مرحله دارای ستونی است که خطر نسبی زمین لغزش را در هر یک از واحدها مشخص می سازد.

در مرحله آخر، با استفاده از این خصوصیت نقشه پهنه بندی خطر(پتانسیل زمین لغزش) با اختصاص رنگهای مختلف برای گروههای خطر مختلف (ترجیحاً طیف رنگی زرد برای خطر کم تا قرمز برای خطر خیلی زیاد) تهیه می گردد.

٦-٩- آزمایش نقشه پهنه بندی

از آنجاییکه روش آنالیز در این مطالعه روش آماری دو متغیره است و با توجه به اینکه کلیه وزنها با استفاده از نقشه فهرست زمین لغزشها بدست می آیند، چنانچه نقشه فهرست بر روی نقشه پهنه بندی زمین لغزش انداخته شود، زمین لغزشها بیشتر در مناطقی واقع می گردند که با خطر بالا مشخص شده اند.

برای آزمایش نقشه حاصله و اجتناب از خطاهای انسانی که در بکارگیری فرمولها و وارد نمودن رابطه ها در GIS ممکن است پیش بیاید، لازم است نقشه پهنه بندی از نظر صحت آزمایش گردد. GEE(1992) بدین منظور پارامتری را به نام نسبت تراکم (DR) برای گروههای مختلف خطر در نقشه پهنه بندی نهایی معرفی نموده است که از رابطه زیر بدست می آید:

DR=%Landslide/%Area

که در آن Landslide% درصدی از تعداد (یا سطح)زمین لغزشها است که در رده خطر مربوطه 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.

٦-١٠- تهیه نقشه پهنه بندی نهایی

از آنجاییکه نقشه‌های پهنه بندی در مقیاس متوسط در نهایت جهت استفاده در اختیار مجریان و تصمیم گیریان قرار می‌گیرد مناطق لغزشی در این نقشه ها بایستی با خطر خیلی بالا مشخص گردند. این عمل به علت بالا بودن احتمال وقوع زمین لغزش در مناطقی است که قبلاً حرکت کرده اند. اینکار با روی هم اندازی نقشه فهرست زمین لغزش بر روی نقشه پهنه بندی و اختصاص دادن خطر خیلی بالا به محدوده لغزشها انجام می‌گیرد.

٧- خروجی ها

خروجی مطالعه پهنه بندی خطر زمین لغزش در مقیاس متوسط، دو نقشه فهرست زمین لغزشها و نقشه پهنه بندی خطر(هم به صورت چاپی و هم رقومی) و یک جلد گزارش خواهد بود؛ گزارش حاوی شرایط محلی از نظر عوامل زمین لغزش، استعداد منطقه از نظر وقوع زمین لغزش، زمین لغزشهای مهم (در صورت موجود بودن در منابع اولیه یا مطالعات مجری)، چگونگی تحلیلها ، نحوه تهیه نقشه ها و پیشنهادها برای مطالعات آتی خواهد بود.

پیوست ٤: جدول خصوصیات منابع جمع آوری شده

در این پیوست جدول خصوصیات مقالات جمع آوری شده آورده شده است. در زیر در ابتدا شرح ستونهای مختلف آورده شده و کل جدول بعد از آن آورده شده است.

توضیح جدول:

عنوان: در این ستون عنوان مقاله یا بخش مربوطه در کتاب مرجع آورده شده است.

محقق: برخی از محققین در مطالعات مربوط به پهنه بندی شناخته شده بوده و مقالات آنها در دنیا به عنوان مرجع اصلی آورده میشود؛ بدیهی است مقالات نوشته شده توسط این افراد از امتیاز بیشتری نسبت به مقالات سایرین برخوردار می باشند؛ در این ستون از جدول، نام محقق یا محققین آورده شده است. چنانچه تعداد محققین بیشتر از دو نفر بوده از نام اولین نویسنده باضافه دیگران(.et al) استفاده شده است.

مقیاس: روش پهنه بندی و تعداد و نوع عوامل انتخابی بکارگرفته شده توسط هر محقق ارتباطی تنگاتنگ با مقیاس مطالعات دارد؛ هر چه مقیاس بزرگتر باشد تعداد عوامل در نظر گرفته شده بیشتر است از طرفی در مقیاسهای کوچک معمولا عواملی در نظر گرفته می شوند که در فواصل کم دچار تغییرات زیاد نشوند؛ در این ستون مقیاس مطالعات منعکس شده است. برای اختصار حداکثر سه رقم آورده شده است. به عنوان مثال اعداد ۵۰ و ۲۵۰ نمایش دهنده مقیاسهای ۱:۵۰،۰۰۰ و ۱:۲۵۰،۰۰۰ می باشند.

سال انتشار: منظور سال انتشار کتاب، ژورنال و یا کنفرانسی است که نتایج تحقیق در آن آورده شده است. بدیهی است در صورت برابر بودن سایر شرایط، مقالات جدیدتر دارای امتیاز بیشتری نسبت به مقالات قدیمی تر می باشند؛ برای مقالات موجود در منابع خارجی تاریخ میلادی و برای منابع داخلی تاریخ هجری شمسی آورده شده است.

منبع: نوع منبع با استفاده از کد کاراکتری به شکل زیر آورده شده است: B: کتاب، J: ژورنال، P: مجموعه مقالات کنفرانسها، I: اینترنت و T: پایان نامه؛

کشور: نام کشوری که مطالعه در آن انجام شده است در این ستون آورده شده است؛

شرایط طبیعی منطقه: روش پهنه بندی بستگی زیادی به شرایط طبیعی منطقه مورد مطالعه دارد. در مناطق زلزله خیز، خطرزلزله نقش مهمی در ایجاد زمین لغزشهای منطقه دارد. در مناطق مرطوب میزان بارندگی سالیانه می تواند به عنوان عامل اصلی ایجاد زمین لغزشها مطرح گردد. به همین ترتیب نوع روش پهنه بندی نیز به شرایط طبیعی منطقه وابستگی کامل دارد. به عنوان مثال روش مورا -وارسون (۱۹۹۳)برای مناطق پرباران و روش آن بالاگان (۱۹۹۲) برای مناطق کوهستانی ار اعتبار بیشتری برخوردارند. شرایط طبیعی منطقه در این جدول شامل شکل زمین، نوع اقلیم(بارندگی) و زلزله خیزی است:

شکل زمین: منطقه مورد مطالعه را بر اساس نوع توپوگرافی می توان به دو گروه کوهستانی (با کد M) ، تپه ماهوری(با کد H) و ترکیبی از هر دو نوع مذکور (کد MH) تقسیم نمود.

بارندگی: از میزان متوسط بارندگی سالیانه می توان به عنوان پارامتری جهت درک نوع آب و هوا منطقه مورد مطالعه استفاده نمود. بر این اساس از کدهای زیر استفاده گردیده است:

D: خشک، بارندگی سالیانه کمتر از ۲۵۰ میلی متر در سال؛ SD: نیمه خشک، بارندگی سالیانه بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ میلی متر؛ SH: نیمه مرطوب؛ بارندگی سالیانه بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ میلی متر؛ H: مرطوب، بارندگی سالیانه بیش از ۷۵۰ میلی متر.

زلزله خیزی: مناطق مورد مطالعه را از نظر زلزله خیز بودن می توان به دو گروه زلزله خیز (Q) و غیر زلزله خیز (N) تقسیم نمود.

مشخصات روش پهنه بندی: برای مقایسه روشهای مختلف، لازم است مشخصات آنها تعیین گردد. این مشخصات شامل نوع واحد بندی، اندازه واحدها، روش آنالیز و چگونگی ترکیب لایه ها میباشد. روشهای

پهنه بندی با توجه به هر یک از این موارد می توانند به گروههای مختلف طبقه بندی گردد. این مشخصات بر اساس طبقه بندی ارائه شده توسط گی(۱۹۹۲) است که در بخش ۲-۲-۱ شرح آن آمده است.

واحد بندی: بر اساس اینکه روش واحد بندی یکی از روشهای شبکه ای (G)، دامنه ای(S) یا همگن(U) باشد اطلاعات مربوطه در این ستون آورده شده است.

اندازه واحد: طول واحد به متر(در روشهایی که نوع واحد بندی آنها شبکه ای است) در این ستون منعکس شده است؛

روش آنالیز : بر اساس طبقه بندی گی(۱۹۹۲) روش آنالیز بکار رفته در پهنه بندی در این ستون مشخص شده است؛

تعداد و نوع لایه های اطلاعاتی بکار رفته: در هر مطالعه بر اساس شرایط طبیعی و مصنوعی منطقه مطالعاتی ، ممکن است لایه های اطلاعاتی خاصی در نظر گرفته شده باشند که در این طرح اطلاع از آنها برای تصمیم گیری نهایی پیرامون روش انتخابی ارزش زیادی داشته است؛ از آنجاییکه لایه های در نظر گرفته شده در روشها و مطالعات مختلف بسیار متنوع و زیاد می باشد در ابتدا سعی گردیده روش مناسبی جهت طبقه بندی عوامل زمین لغزش انتخاب گردد. بدین منظور چندین روش مختلف طبقه بندی زمین لغزش مطالعه گردیده است. از جمله این روشها، روش طبقه بندی ابداع شده توسط کوکیس و زیورکاس(۱۹۹۱) است. این روش مبنای طبقه بندی عوامل زمین لغزشها در بانک اطلاعاتی زمین لغزشهای کشور بوده است. در این طبقه بندی عوامل زمین لغزش (۵۵ عامل)در دو گروه بزرگ عوامل موثر در افزایش تنش برشی و عوامل موثر در کاهش مقاومت برشی طبقه بندی گردیده اند(جدول ۱).

روشی دیگر برای طبقه بندی عوامل زمین لغزش توسط سوترز و ون وستن(۱۹۹۶) بیان شده است. در این طبقه بندی عوامل زمین لغزش به پنج گروه ژئومورفولوژی، توپوگرافی، زمین شناسی مهندسی، کاربری اراضی، و هیدرولوژی تقسیم گردیده است. این طبقه بندی به علت فراگیر بودن و تهیه کردن آن به منظور طبقه بندی روشهای پهنه بندی خطر زمین لغزش، در این پروژه به عنوان معیار پهنه بندی، ملاک قرار گرفته است.

عنوان بسیاری از عوامل مذکور در منابع مورد استفاده، دقیقا عناوینی نیست که در جدول ۲ آورده شده است. بنابر این برای طبقه بندی این عوامل در گروههای مذکور ، لازم بوده است که عوامل مشابه در یکدیگر ادغام و در زیر گروه نزدیک به خود طبقه بندی گردند. بدین منظور بیش از ۸۰ عنوان (عامل مختلف) در ۲۴ گروه مذکور در مقاله گروه بندی شده اند، که نحوه طبقه بندی آنها در جدول ۳ آورده شده است.

با توجه به جدول ۳ ، عوامل مورد استفاده در هر مطالعه تعیین وکدهای مربوطه به آنها تخصیص داده شده است.

نحوه ترکیب لایه ها: بر اساس اینکه نحوه انجام عملیات برای رسیدن به عدد مشخصه خطر، جمع ساده جبری یا استفاده از فرمولی خاص بوده است به ترتیب کد ۱ و ۲ در این ستون آورده شده است.

روش های کمی خاص: برخی ازمحققین برای ترکیب لایه ها از روشهای خاص عددی مانند مجموعه های فازی، شبکه های عصبی و ... استفاده کرده اند. اگر محقق از روش خاصی مانند فازی(۱) ، شبکه های عصبی (۲) یا روش های احتمالاتی (۳)استفاده کرده باشد کدهای مربوطه در این ستون منعکس می گردد.

جدول ۱ : طبقه بندی علل موثر در وقوع حرکتهای دامنه ای (Koukis and Ziourkas, 1991)

الف)عوامل موثر در افزایش تنش برشی	IV- افزایش شیب دامنه در اثر کج‌شدگی ناحیه‌ای و بالاآمدگی
I- تنش‌های زودگذر زمین	V- اعمال فشارهای جانبی
۱. زلزله	۲۸- فشار آب در شکافها و حفره‌ها
۲. ارتعاش ناشی از انفجار	۲۹- یخزدن آب در شکافها
۳. ارتعاش ناشی از کار ماشین‌آلات ساختمانی	۳۰- تورم رس یا آنهیدریت
۴. ارتعاش ناشی از ترافیک	۳۱- تحریک تنش باقی‌مانده

۵. گسیختگیهای ایجاد شده در دامنه‌های مجاور II- از بین رفتن تکیه‌گاه جانبی ۱- فرسایش و زیرشویی ۶- نهرها و رودخانه‌ها ۷- امواج ۸- جریان‌های جزر و مدی ۹- بارش ۱۰- هوازدگی، مرطوب شدن و خشک شدن و عمل یخ ۱۱- انحلال و انتقال مواد ۲- ایجاد یک شیب جدید در اثر عوامل طبیعی ۱۲- حرکتهای قبلی ۱۳- فرونشست ۱۴- گسلش بزرگ مقیاس ۳- عمل عوامل انسانی ۱۵- ترانشه‌ها، گودالها، معادن، کانالها و غیره ۱۶- از بین رفتن دیوارهای حایل و دیگر تکنیک‌های نگهدارنده ۱۷- ایجاد دریاچه‌های مصنوعی و مخازن و نوسانات سطح آب آنها III- افزایش روباره ۱- عوامل طبیعی ۱۸- وزن باران، برف، تگرگ و آب چشمه‌ها ۱۹- انباشت واریزه ۲۰- پوشش گیاهی ۲- عوامل انسانی ۲۱- خاکریزها ۲۲- دپو کردن مواد معدنی یا سنگ ۲۳- انباشت زباله ۲۴- ساختمان‌سازی و سازه‌های دیگر ۲۵- وزن آب ناشی از نشت لوله‌های آب و فاضلابها ۲۶- کانال‌ها و مخازن ۲۷- کشاورزی و آبیاری بر روی دامنه‌ها	**ب) عواملی که باعث کاهش مقاومت برشی می‌شوند** I- تغییرات ناشی از هوازدگی و دیگر واکنشهای فیزیکو-شیمیایی ۳۲- نرم شدن رس‌های شکاف‌خورده ۳۳- تخریب فیزیکی سنگهای دانه‌ای تحت تاثیر عمل یخ یا انبساط ۳۴- آبگیری کانیهای رسی ۳۵- تاثیر تبادلات یونی بر روی خصوصیات فیزیکی رس‌ها ۳۶- خشک شدن رس‌ها و ایجاد شکاف در آنها ۳۷- از بین رفتن سیمان بین ذرات در اثر انحلال II- شرایط ذاتی و اولیه ۳۸- ترکیب کانی‌شناسی و شیمیایی مصالح دامنه ۳۹- بافت III- ساختهای عمده و وضعیت هندسی دامنه ۴۰- شکستگی‌ها ۴۱- گسل‌ها ۴۲- سطوح طبقه‌بندی ۴۳- فولیشن در شیست‌ها ۴۴- رخ ۴۵- زون‌های برشی ۴۶- طبقات ضخیم و توده‌ای بر روی مصالح پلاستیک ۴۷- تناوب طبقات تراوا و ناتراوا ۴۸- جهت شیب دامنه IV- عوامل موثر در تغییر نیروهای بین دانه‌ای در اثر فشار آب در منافذ و شکستگیها ۴۹- باران ۵۰- ذوب برف ۵۱- انحراف نهرها ۵۲- استخرها ۵۳- مخازن آب ۵۴- آبیاری ۵۵- از بین بردن پوشش گیاهی و جنگل‌زدایی

سه ستون آخر امکان جمع‌آوری داده‌ها را برای سه مقیاس آنالیز مشخص می‌سازند: ۳= خوب ۲= متوسط و ۱= ضعیف. علائم اختصاری: SII: تفسیر تصویر ماهواره‌ای، API: تفسیر عکس هوایی، DIM: مدل ارتفاعی رقومی، GIS : سیستم اطلاعات جغرافیایی، K_{sat}= آزمایش جریان پذیری اشباع.

جدول ۲: داده‌های ورودی برای پهنه‌بندی خطر زمین لغزش توسط سوترز و ون وستن(۱۹۹۶) (برگرفته از مهدویفر و منتظرالقائم، ۱۳۸۲)

لایه‌های ورودی		داده‌های مرتبط در جدول	روش مورد استفاده	مقیاس آنالیز		
				ناحیه‌ای	متوسط	بزرگ
ژئومورفولوژی						
Terrain mapping	۱	واحدهای Terrain mapping	SII+ پیمایش زمینی	۳	۳	۳
واحدهای ژئومورفولوژی	۲	توصیف ژئومورفولوژیکی	API + عملیات صحرایی	۲	۳	۳
زمین‌لغزش‌ها (جدید)	۳	نوع، فعالیت، عمق، ابعاد و غیره	API +چک لیست API +عملیات صحرایی+ چک‌لیست صحرایی	۱	۳	۳
زمین‌لغزش‌ها (قدیمی)	۴	نوع، فعالیت، عمق، ابعاد،تاریخ و غیره	API+چک لیست API + آرشیو زمین لغزش	۱	۳	۳
توپوگرافی						
مدل ارتفاعی رقومی	۵	گروههای ارتفاعی	بوسیله نقشه توپوگرافی وارد شده در GIS	۲	۳	۳
نقشه شیب	۶	گروههای زاویه شیب	بوسیلهDTM بدست آمده در GIS	۲	۳	۳
نقشه جهت شیب	۷	گروههای جهت شیب	بوسیلهDTM بدست آمده در GIS	۲	۳	۳
طول شیب	۸	گروههای طول شیب	بوسیلهDTM بدست آمده در GIS	۲	۳	۳
تحدب / تقعر	۹	تحدب یا تقعر بودن شیب	بوسیلهDTM بدست آمده در GIS	۱	۱	۳
زمین‌شناسی مهندسی						
سنگ‌شناسی	۱۰	سنگ‌شناسی، مقاومت سنگ، فاصله ناپیوستگی‌ها	نقشه‌های موجود + API + عملیات صحرایی + آزمایشات صحرایی و ... آزمایشگاهی	۲	۳	۳
توالی مواد	۱۱	نوع مواد، عمق، طبقه‌بندی USCS، توزیع اندازه دانه‌ها، چگالی، φ, C	مدل حاصل از نقشه سنگ‌شناسی + نقشه ژئومورفولوژی+ نقشه شیب توصیف صحرایی و آزمایشات صحرایی و آزمایشگاهی	۱	۲	۳
نقشه‌زمین‌شناسی ساختمانی	۱۲	نوع گسل، طول، شیب، جهت شیب، محورچین و...	API +SII+ کارهای صحرایی	۳	۳	۳
شتاب لرزه‌ای	۱۳	حداکثر شتاب لرزه‌ای	داده‌های لرزه‌ای + داده‌های زمین شناسی مهندسی + مدل کردن	۳	۳	۳
کاربری اراضی						
سازه‌های جدید	۱۴	انواع جاده، خطوط راه‌آهن، جهت توسعه شهرها و...	API+ نقشه توپوگرافی + عملیات صحرایی+تصویر ماهواره‌ای	۳	۳	۳
سازه‌های قدیمی‌تر	۱۵	انواع جاده، خطوط راه‌آهن، جهت توسعه شهرها و...	API + نقشه توپوگرافی	۳	۳	۳
نقشه کاربری اراضی (جدید)	۱۶	انواع کاربری‌ها، تراکم درختان، عمق‌ریشه‌ها	API + طبقه‌بندی تصویری ماهواره‌ای + عملیات صحرایی	۲	۳	۳
کاربری اراضی (قدیمی‌تر)	۱۷	انواع کاربری	API	۲	۳	۳
هیدرولوژی						
زهکشی	۱۸	نوع، رتبه، طول	API + نقشه‌های توپوگرافی	۳	۳	۳
مناطق آبگیر	۱۹	رتبه، اندازه	API + نقشه‌های توپوگرافی	۲	۳	۳
بارندگی	۲۰	بارندگی در واحد زمان	با استفاده از ایستگاههای هواشناسی	۲	۳	۳
درجه حرارت	۲۱	درجه حرارت در واحد زمان	با استفاده از ایستگاههای هواشناسی	۲	۳	۳
تبخیر	۲۲	تبخیر در واحد زمان	با استفاده از ایستگاههای‌هواشناسی +مدل نمودن	۲	۳	۳
نقشه‌های سطح آب	۲۳	عمق سطح آب	اندازه‌گیری صحرایی K_{sat} + مدل هیدرولوژیکی	۱	۱	۲

جدول ۳: گروه بندی عناوین مذکور در منابع مختلف در طبقه بندی انجام شده توسط سوترز و ون وستن

لایه هاي ورودي		عناوین مربوطه در منابع	لایه هاي ورودي		عناوین مربوطه در منابع	لایه هاي ورودي		عناوین مربوطه در منابع
ژئومورفولوژی			۱۰	سنگ‌شناسی	ضخامت خاک	۱۷	نقشه کاربری ا راضی	
۱	Terrain Units	تیپ(واحد) اراضی			بافت خاک	هیدرولوژی		
۲	واحدهای ژئومورفولوژی	واحدهای ژئومورفولوژی	۱۱	توالی مواد	شرایط لیتولوژی	۱۸	زهکشی	زیر شویی توسط رودخانه
		توپوگرافی خاک	۱۲	نقشه‌زمین‌شناسی ساختمانی	شرایط ساختاری			طول رودخانه در واحد
۳	زمین‌لغزش‌ها (جدید)	لغزشهای موجود			باز شدگی درزه ها			فاصله تا آبراهه
		وضعیت فعالیت			زاویه بین شیب و ناپیوستگی			درصد آبراهه
		زمین لغزش ها			درصد پر شدگی درزه			زهکشی خاک
۴	زمین‌لغزش‌ها (قدیمی)				شیب درزه			رژیم آب
توپوگرافی					ضخامت لایه			رژیم آب
۵	مدل ارتفاعی رقومی (DTM)	اختلاف ارتفاع نسبی			شیب لایه			نیروی رودخانه
		ارتفاع شیب			تراکم ناپیوستگیها	۱۹	مناطق آبگیر	نواحی جزر و مدی
		مساحت دامنه			نقشه تکتونیک	۲۰	بارندگی	اقلیم
		فاصله تا خط الراس			فاصله از گسل			بارندگی
۶	نقشه شیب	میزان شیب			طول گسل در واحد			تعدد بارندگی
۷	جهت شیب	جهت شیب			تراکم گسل			شدت بارندگی
۸	طول شیب	طول دامنه	۱۳	شتاب لرزه‌ای	خطر(شتاب) زلزله	۲۱	درجه حرارت	متوسط دمای سالیانه
۹	تحدب / تقعر	شکل دامنه	کاربری اراضی					تعداد روزهای با دمای صفر درجه
		نسبت سطحی(زبری دامنه)	۱۴	سازه‌های جدید	طول جاده در واحد	۲۲	تبخیر	شاخص سبزینگی؟
زمین‌شناسی مهندسی					فاصله از جاده	۲۳	نقشه‌های سطح آب	آبهای زیر زمینی
۱۰	سنگ‌شناسی	لیتولوژی			خاکریزی و بار گذاری			رطوبت دامنه
		وجود لس			ترانشه			رطوبت دامنه
		نفوذ پذیری			سن شیبهای پر شده			زیست محیطی
		ترکیب کانی شناسی	۱۵	سازه‌های قدیمی‌تر				شرایط ژئومکانیکی
		قطر سینک هولها	۱۶	نقشه کاربری اراضی (جدید)	کاربری	۲۴	متفرقه	ترک های ریزش های سنگی
		ناحیه Catchment			نوع جنگل			منحنی سنگ
		مواد خاک			تراکم جنگل			آب و هوای بیولوژیکی
		عمق هوازدگی			پوشش گیاهی			
		اشکال فرسایشی			سن جنگل؟			
		اندازه خندق ها			قطر درختان؟			

پیوست ۵: جدول خصوصیات و استعداد سازندهای زمین شناسی در ایران از نظر وقوع زمین لغزش

پیوست ٦: شرح مختصر برخی از روشهای آماری مورد استفاده در پهنه بندی خطر زمین لغزش

۱- روش آنالیز دو متغیره

در این بخش چند روش برای آنالیز دو متغیره (که در برخی منابع مانند van Westen(1993) با عنوان Univariate و در برخی دیگر از منابع مانند Soeters & van Westen (1996) با عنوان Bivariate بدان اشاره شده است) آورده شده است. در این روش با یک متغیر وابسته(وقوع زمین لغزش) و یک متغیر غیر وابسته (مانند لیتولوژی، شیب، و غیره) سر و کار داریم؛ در نتیجه اهمیت هر فاکتور بصورت جداگانه بررسی می شود. روش دو متغیره بر این فرضیه استوار است که عوامل مهمی که موجب زمین لغزش می شوند بوسیله تراکم زمین لغزشهای واقع در زیر گروههایشان قابل کمی شدن هستند. آنالیز دو متغیره در پهنه بندی خطر زمین لغزش بوسیله یکی از روشهای زیر انجام میگیرد:

۱-۱- روش آنالیز حساسیت زمین لغزش

روشی ساده و موثر در تحلیلهای آماری برای تعیین اهمیت عوامل مختلف وقوع زمین لغزش با استفاده از قطع دوبه‌دوی نقشه زمین لغزش با عوامل [۲۳] می باشد. در این روش تراکم زمین لغزشها در هر یک از زیر گروهها به راحتی قابل محاسبه است. بدین منظور دو نوع تراکم مد نظر قرارمی گیرد:

۱- تراکم سطحی: که در آن تراکم، به معنای درصدی از سطح زیر گروه است که درگیر لغزش شده است و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$D_{area} = 100 \times \frac{ASX_i}{AX_i} \qquad (۱)$$

که در آن ASX_i سطح درگیر زمین لغزش در زیر گروه و AX_i سطح زیر گروه خواهد بود.

۲- تراکم تعداد: که در آن تراکم، به معنای تعداد لغزش رخ داده در هر کیلومتر مربع از زیر گروه خواهد بود و به صورت زیر محاسبه می شود:

$$D_{number} = NS_i \times \frac{1 \times 10^6}{AX_i} \qquad (۲)$$

که در آن D_{number} تراکم تعداد(تعداد در کیلومتر مربع)، NS_i تعداد لغزش روی داده در زیر گروه و و AX_i سطح زیر گروه (به متر مربع) خواهد بود. عدد $۱۰^۶$ برای تبدیل واحد سطح از متر مربع به کیلومتر مربع بکار رفته است. مشکلی که در ارتباط با استفاده از تراکم تعداد پیش می آید این است که هر گاه زمین لغزشی در دو واحد واقع شود هم می توان آنرا برای یکی از واحدها در نظر گرفت و هم دو واحد را میتوان واجد زمین لغزش فرض نمود و این در نتیجه تحلیل تاثیر می گذارد.

حال برای محاسبه امتیاز هر زیر گروه بایستی تراکم سطحی (یا تراکم تعداد) هر یک از آنها با تراکم متوسط لغزش در کل منطقه مقایسه گردد. برای اینکار تراکم سطحی (یا تراکم تعداد) از تراکم متوسط منطقه کم می گردد:

[23] Pairwise map crossing

برای تراکم سطح: (۳)

$$R_{area} = 100 \times \frac{ASX_i}{AX_i} - 100 \times \frac{AS}{A}$$

برای تراکم تعداد: (۴)

$$R_{number} = NS_i \times \frac{1 \times 10^6}{AX_i} - NS \times \frac{1 \times 10^6}{A}$$

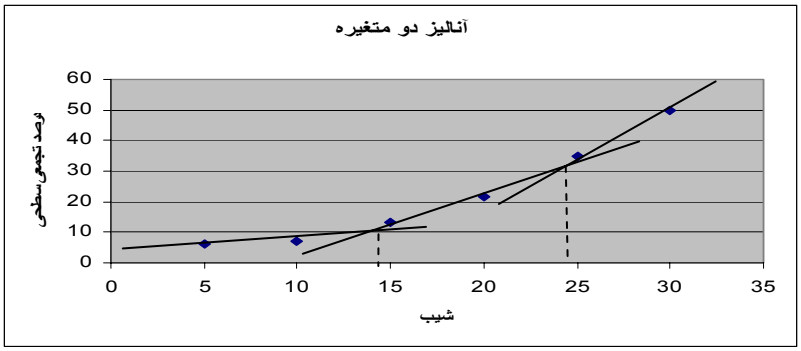
که در آن R_{area} و R_{number} به ترتیب امتیاز زیر گروه محاسبه شده در هر یک از روشهای تراکم سطح و تراکم تعداد می‌باشد.

مقادیر امتیازات و وزنهایی که برای زیرگروههای مختلف بدست آمده است در این مرحله قابل جمع کردن برای بدست آوردن عدد خطر است. اما مسئله مهم در اینجا این است که اگر بخواهیم کلیه نقشه های انتخاب شده را به عنوان عوامل زمین لغزش، روی همدیگر بیاندازیم ترکیبات بسیار متنوعی از عوامل را خواهیم داشت که عملا آنالیز را مشکل و در برخی موارد غیر ممکن می سازد. در نتیجه بایستی عواملی انتخاب گردند که در ایجاد زمین لغزش سهم بیشتری ایفا نموده اند. برای انتخاب عوامل دو روش موجود است(vanWesten, 1993):

۱. انتخاب نقشه ها بر اساس تجربه صحرایی: در این حالت نقشه هایی که بر اساس تجارب بدست آمده از مطالعات صحرایی بیشترین نقش را در لغزش داشته اند انتخاب و امتیازات محاسبه شده برای آنها در هر واحد با یکدیگر جمع می گردد؛ سپس برای آندسته از واحدهایی که جمع امتیازات آنها بزرگتر از صفر است نمودار امتیازات بر اساس درصد تجمعی سطح درگیر لغزش در هر یک از آنها محاسبه می گردد. سپس نقاطی که شیب منحنی عوض می شود به عنوان مرزهای محدوده در نظر گرفته می شود.

۲. ترکیب مرحله به مرحله نقشه ها: در این روش نقشه های عامل یکی یکی به هم اضافه می شوند. بعد از اضافه کردن هر نقشه امتیازات حاصله با قطع نقشه زمین لغزشها آنالیز می شوند. بدین صورت که ابتدا امتیازات حاصل از قطع دو نقشه (که مهمترین لایه های موثر در لغزش محسوب می شوند) محاسبه می شود و سپس درصد زمین لغزشهایی که در واحدهایی با امتیاز بالای صفر قرارگرفته اند محاسبه می گردد. در مرحله بعد نقشه بعدی به این دو نقشه اضافه شده و مجددا درصد زمین لغزشهای رخ داده در واحدهای با امتیاز بالای صفر محاسبه می گردد. اگر این درصد نسبت به درصد قبلی کم شده باشد لایه سوم (به عنوان لایه غیر موثر در لغزش) حذف و کار با اضافه کردن لایه چهارم تکرار میشود درغیر اینصورت لایه مذکور حفظ و لایه چهارم جهت انجام مراحل فوق روی سه لایه قبلی انداخته میشود. اینکار تا اتمام لایه های انتخابی ادامه می یابد.

۲جدول ۱ مثالی از این روش تحلیل است. همانطور که در این جدول مشاهده می شود لایه های کاربری اراضی، جاده و خطر زلزله از تحلیل حذف شده اند.



شیب(یک متغیر پیوسته)	درصد تجمعی سطحی
<5	6
5-15	7
15-25	13
25-35	21
30-45	35
>45	50

شکل ۱: درصد تجمعی سطحی در آنالیز دو متغیره

.جدول ۱: مثالی از تحلیل دو متغیره

نقشه های عوامل										طبقه بندی تصحیح شده	اضافه شد/ حذف شد
زمین شناسی										۶۴	اضافه شد
زمین شناسی	شیب									۹۰	اضافه شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب								۹۱	اضافه شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب	کاربری اراضی							۸۴	حذف شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب	-	تاقدیس و گسل						۹۱	اضافه شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب	-	تاقدیس و گسل	زهکشی					۹۲	اضافه شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب	-	تاقدیس و گسل	زهکشی	جاده				۸۹	حذف شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب	-	تاقدیس و گسل	زهکشی	-	خطر زلزله			۸۴	حذف شد
زمین شناسی	شیب	وجه شیب	-	تاقدیس و گسل	زهکشی	-	-	آب زیر زمینی		۹۳	اضافه شد

.

۱-۲- روش ارزش اطلاعاتی

۱-۲-۱- مقدمه

استفاده از ترکیب متغیرهای عددی (مانند زاویه شیب) و متغیرهای توصیفی(مانند لیتولوژی) در آنالیزهای آماری معمولاً مشکل ساز است. این مشکل می تواند بوسیله در نظر گرفتن هر زیر گروه از عوامل به عنوان متغیری مجزا که تنها دو حالت وجود(۱) یا عدم وجود (۰) دارد، برطرف گردد. روش ارزش اطلاعاتی که توسط Yin & Yan(1988) ابداع شد بر اساس فرمول ساده زیر است:

$$I_i = \log \frac{S_i / N_i}{S / N} \qquad (۵)$$

که در آن : S_i سطح زمین لغزشهای واقع در زیرگروه، N_i سطح زیر گروه، S سطح زمین لغزشهای کل منطقه و N سطح کل منطقه می باشد.

درجه خطر هر واحد با استفاده از جمع ارزشهای اطلاعاتی در آن محاسبه می شود:

$$I_j = \sum_{i=0}^{m} X_{ij} I_i \qquad (۶)$$

که در آن: m تعداد متغیرها و X_{ij} برابر صفر است اگر متغیر X_i در واحد وجود نداشته باشد و برابر یک است اگر متغیر وجود داشته باشد.

Yin & Yan(1988) برای ارزیابی نقشه حاصله از فرمول زیر استفاده کرده اند:

$$A = \frac{M_i}{N_i} \sqrt[3]{(1 - \frac{M - M_i}{N - N_i})} \qquad (۷)$$

که در آن: A دقت نتایج، N سطح کل منطقه،N_i سطح لغزشهای منطقه، M سطح منطقه با خطر بالا، و M_i سطحی از زمین لغزشهاست که در گروه یا گروههای با خطر بالا طبقه بندی شده است.

۱-۳- روش وزن مشاهدات

این روش یک روش احتمالاتی است که بدلیل مشروح بودن و عدم استفاده از آن در دستورالعمل، در این گزارش آورده نمیشود. برای اطلاع از چگونگی این روش میتوان به Sabto(1991) و van Westen(1993) مراجعه نمود.

۲- روش آنالیز چند متغیره

روشهای آماری چند متغیره، اهمیت نسبی هر یک از عوامل را در وقوع زمین لغزش را با استفاده از قطع مجموع عوامل با زمین لغزش تعیین می‌سازند. در زیر به دو روش از انواع آنالیز چند متغیره که در پهنه بندی خطر زمین لغزش بیشتر بکار می‌روند اشاره می‌گردد:

۲-۱- روش رگرسیون چندگانه

متداولترین روش آماری چند متغیره روش رگرسیون چندگانه است. این روش در اینجا برای برقراری ارتباط زمین لغزش با عوامل آن طبق رابطه زیر بکار می رود:

$$Y=b_0+b_1X_1+ b_2 X_2+ b_3 X_3+\dots b_n X_n \qquad (۸)$$

متغیر وابسته Y حضور(۱) و یا عدم حضور(۰) زمین لغزش را نشان می دهد که می تواند به صورت درصدی از واحد که درگیر لغزش شده است نیز نمایش داده شود. متغیرهای X_1 تا X_n نیز نمایانگر متغیرهای غیر وابسته مانند شیب و زمین لغزش هستند. ضرائب b_0 الی b_n ضرایب رگرسیون بخشی هستند که میزان مشارکت هر متغیر غیر وابسته را در ایجاد متغیر وابسته نشان می دهند. آماره های زیر برای ارزیابی نتایج محاسبات این آنالیز بکار می روند:

R^2: مقدار واریانس که برای مدل در نظر گرفته می شود. این مقدار برای تعداد متغیرهای غیر وابسته در رگرسیون تنظیم میگردد.

SE: خطای استاندارد تخمین یا ریشه مجذور باقیمانده مقادیر از میزان متوسط. این مقدار، میزان تغییرات توضیح داده نشده متغیر وابسته را اندازه گیری می کند؛

MEA: قدر مطلق خطای میانگین. متوسط قدر مطلق اختلاف مقادیر با میانگین که خطای متوسطی است که شخص می‌تواند در پیش بینی انتظار داشته باشد.

۲-۲- روش آنالیز Discriminant

هدف از این آنالیز یافتن بهترین روش جدایش بین دو گروه است: واحدهای دارای لغزش و فاقد لغزش.این تحلیل یک تابع Discriminant به شکل زیر حاصل می سازد:

$$D_S=B_0+B_1X_1+ B_2 X_2+ B_3 X_3+\dots B_n X_n \qquad (۹)$$

که در آن X_i مقادیر متغیرها و B_i ضرایب محاسبه شده است.قبل از هر کاری در این روش بایستی امکان جدایش دو گروه آزمایش گردد. برای اینکار سه آزمایش صورت می گیرد:

۱. تغییر پذیری بین دو گروه و داخل گروهها و تغییرپذیری کل داده ها محاسبه می گردد. نسبت تغیرپذیری بین دو گروه و تغییر پذیری داخل گروه eigenvalue نامیده می شود(Statgraphics, 1991). این مقدار برای تابع Discriminant خوب بایستی به میزان حداکثر خود برسد.

۲. نسبت تغییر پذیری بین دو گروه و تغییر پذیری کل Wilk(λ) نامیده می شود. مقادیر کوچک این نسبت نشاندهنده این است که تغییر پذیری خیلی بیشتری بین گروهها در مقایسه با تغییر پذیری دو گروه وجود دارد.

۳. آزمایش χ^2 (مربع Chi) برای اینکه دو گروه خیلی با هم متفاوتند صورت می پذیرد.

۳- *نتیجه گیری*

نتایجی که از برخی مطالعات (مانند van Westen,1993) در ارتباط با بکارگیری روش آماری چند متغیره انجام شده است بیانگر نتیجه گیری ضعیفتر این روش در مقایسه با روش آماری دو متغیره بوده است که ممکن است بدلیل شرایط ویژه ای باشد که بایستی برای این نوع تحلیل مد نظر قرار گیرد(Davis,1986). با توجه به این موضوع گرچه روش آنالیز چند متغیره به دلیل در نظر گرفتن ارتباط داخلی عوامل در ایجاد زمین لغزش (در مقایسه با روش آنالیز دو متغیره)، روشی مهم محسوب می‌گردد

ولی به دلیل مشکلات مذکور، در ارتباط با پهنه بندی خطر زمین لغزش بهتر است از روش آماری دو متغیره استفاده گردد(van Westen,1993).